

Maatwerkoplossingen voor het normtraject Zwolle - Olst

De inventarisatie van knelpunten en het ontwerp van maatwerkoplossingen voor deze knelpuntlocaties op het normtraject Zwolle - Olst



Auteur

Rob Wildeman

Datum

6 Juli 2018

Onderwijsinstelling

Universiteit Twente (UT)

Opdrachtgever

Waterschap Drents Overijsselse Delta



**UNIVERSITY
OF TWENTE.**

Colofon

Titel: Maatwerkoplossingen voor normtraject Zwolle-Olst
Ondertitel: De inventarisatie van knelpunten rond de dijk op normtraject Zwolle-Olst en het ontwerp van maatwerkoplossingen voor deze knelpuntlocaties.
Versie: Concept versie
Rapporttype: Bachelor eindverslag
Afstudeerperiode: 6 April – 6 Juli
Plaats & Datum: Zwolle, 6 Juli 2018

Auteur

Rob Wildeman
Frederikastraat 61
7543 CT Enschede
T: +31 640405351
E: r.wildeman@student.utwente.nl
Studentnummer: s1694030

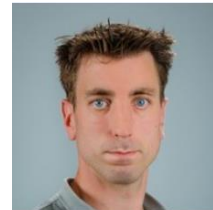


Opdrachtgever

Waterschap Drents Overijsselse Delta (WDOD)
Dokter van Deenweg 186
8025 BM Zwolle

Bedrijfsbegeleider

M. (Maurits) van Dijk
Technisch Manager Waterschap Drents Overijsselse Delta
Afdeling Project realisatie
T: +31 882332042 (vast)
T: +31 652591744 (mobiel)
E: MauritsvanDijk@wdodelta.nl



Onderwijsinstelling

Universiteit Twente
Drienerlolaan 5
7522 NB Enschede
Faculteit: Engineering Technology
Opleiding: Bachelor Civiele Techniek

Begeleider onderwijsinstelling

Dr. M.S. (Maarten) Krol
Associate Professor, Faculty of Engineering Technology
De Horst 2 – Ring W214
7522LW Enschede
T: +31 534892615 (vast)
E: m.s.krol@utwente.nl



Voorwoord

Voor u ligt het eindrapport van mijn onderzoek, als afsluiting van een twee maanden durende afstudeerperiode bij het Waterschap Drents Overijsselse Delta (WDOD) te Zwolle. Dit onderzoek is verricht ter afronding van de bachelor opleiding Civiele Techniek aan de Universiteit Twente in Enschede. Het onderzoek maakt deel uit van het project “Dijkversterking Zwolle-Olst” en is binnen dit project een specifiek onderzoek naar de maatwerkoplossingen voor knelpuntlocaties op het normtraject Zwolle-Olst. Dit onderzoek is uitgevoerd om het projectteam Zwolle-Olst binnen Waterschap Drents Overijsselse Delta te ondersteunen met een inventarisatie van alle knelpunten in, op en rond dijk op het normtraject Zwolle-Olst en inzicht te geven in de mogelijkheden en kansrijke maatwerkoplossingen op enkele knelpuntlocaties binnen dit dijktraject.

Ondanks de civiele voorkennis van mijn bachelor studiejaren bleek het schrijven van dit verslag een goede uitdaging. Deze uitdaging lag vooral bij het bekijken van specifieke locaties in plaats van het algemeen en hierbij diep in detail te treden. Dankzij dit onderzoek heb ik veel geleerd over dijkversterkingen, maatwerkoplossingen en de technieken achter deze oplossingen en heb ik veel mogen leren over de kijk van een waterschap projectteam op deze veel voorkomende problemen in het veld van dijkversterkingen en waterveiligheid, daarom wil ik het gehele projectteam Zwolle-Olst en experts van de afdeling Projectrealisatie bedanken voor het delen van zowel kennis als materiaal.

Graag wil ik een bijzonder woord van dank richten aan Maurits van Dijk voor zijn goede begeleiding met enthousiasme over de uitvoering van mijn bachelor eindopdracht. Tevens bedank ik hem voor het feit dat hij mij heeft betrokken bij locatiebezoeken naar het normtraject en mij betrokken heeft bij onder andere vergaderingen en bespreekmomenten die buiten mijn onderzoeksscope vielen, waardoor ik meer kennis op deed over de gang van zaken bij andere projecten en het algemeen beeld van veiligheid binnen het bedrijf. Daarnaast wil ik het gehele projectteam van Zwolle-Olst en andere medewerkers op de afdeling Projectrealisatie bedanken voor de interesse in mijn onderzoek, het delen van zowel kennis als materiaal en de prettige tijd hier bij WDOD.

Verder wil ik dhr. Maarten Krol en dhr. Joran van Kesselen bedanken, de heer Krol voor zijn hulp met het voorbereiden van mijn onderzoek en de nuttige feedback tijdens de uitvoering van mijn bachelor eindopdracht en de heer van Kesselen voor de nuttige feedback op het conceptverslag.

Ik wens u veel leesplezier bij het lezen van dit verslag!

Rob Wildeman

Zwolle, Juli 2018.

Samenvatting

Een veelbesproken onderwerp in de civieltechnische wereld van deze tijd is het effect van de klimaatverandering op de waterstanden. De verhoogde en langer aanhoudende waterstanden in de rivieren hebben op termijn een grote impact op de huidige dijken rond de Nederlandse rivieren. Door de klimaatverandering, maar ook de economische groei, die de impact van een overstroming groter maakt, en de nieuwe blik op de sterkte van dijken (sinds de oude normen uit de jaren 60) zijn de veiligheidsnormen van de dijken opgeschroefd door het Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Het dijktraject Zwolle – Olst voldoet onder meer door deze normverhoging niet meer aan de eisen en moet versterkt worden. Dit project is opgepakt door Waterschap Drents Overijsselse Delta (WDOD).

Dit onderzoek is een onderdeel van het overkoepelende dijkversterking project “Ijsseldijk Zwolle – Olst”. Door het projectteam zijn een aantal kansrijke alternatieven ontworpen op het dijktraject Zwolle – Olst die het uitgangspunt zijn voor dit onderzoek. Het doel van dit onderzoek is om op het dijktraject Zwolle – Olst alle objecten te vinden die in, op of rond de dijk staan en te analyseren of deze objecten in de weg zullen staan voor de ontworpen dijkversterkingsoplossingen. Daarnaast is een ander doel van dit onderzoek om enkele maatwerkoplossingen te verzinnen voor drie knelpuntlocaties uit deze opgestelde lijst. Voor het onderzoek is de volgende hoofdvraag opgesteld: *Wat is de haalbaarheid van de kansrijke alternatieven op het normtraject Zwolle-Olst en hoe kunnen enkele typische knelpuntlocaties worden opgelost met behulp van maatwerkoplossingen?*

Om antwoord te kunnen geven op het eerste deel van de onderzoeksvraag is een inventarisatie gemaakt van alle objecten rond de dijk en op de lijst van alle dijkobjecten zijn een aantal analyses losgelaten zoals een faalmechanisme-analyse en ruimte-analyse. Om het tweede deel van de hoofdvraag te beantwoorden zijn uit de inventarisatie, met dijkobjecten die een knelpunt veroorzaakten, drie locaties van veel voorkomende types knelpunten gekozen. Met deze drie locaties is een locatie / omgevingsrapport gemaakt en is er per locatie een afweging gemaakt uit alle mogelijke oplossingen, waarna de oplossingen verder zijn uitgewerkt.

Alternatief	Hm	Haalbaarheid
A	2570	96%
B	930	35%
C	1450	54%
D	1740	65%
E	2680	100%
ABCDE	660	25%
Totale traject	2680	

Tabel 1 Haalbaarheid alternatieven

Uit deze analyses blijkt dat er op het traject 144 dijkobjecten knelpunten veroorzaken met de ontworpen kansrijke alternatieven. Verder is het meest voorkomende knelpunt afkomstig van huizen in, op en rond de dijk en is het meest voorkomende maar ook meest knellende alternatief, alternatief B. Voor de haalbaarheid van de alternatieven op het totale traject is Tabel 1 weergegeven. De drie gekozen knelpuntlocaties staan samen met de mogelijke oplossing na de afweging weergegeven in Tabel 2.

Deze resultaten samen vormen een advies voor het WDOD en zullen hiermee inzicht geven in de locatie en de eigenschappen van alle dijkobjecten, de mogelijke bouwstenen in het dijktraject Zwolle – Olst, de afweging, de mogelijkheden bij de drie locaties (en gelijkwaardige locaties) en de uitwerking van deze locaties met afmetingsberekeningen.

Op basis van deze resultaten wordt aanbevolen bij de uitwerking van deze locaties in verder onderzoek gebruik te maken van precieze detailberekeningen. Daarnaast wordt aanbevolen om de in GIS getekende dijkobjecten en kansrijke alternatieven in verdere ontwerpstadia en verdere onderzoeken preciezer te tekenen voor minder fouten in de analyses en een duidelijker beeld van overgangsgebieden tussen oplossingen van de kansrijke alternatieven.

Locatie	Bouwsteen
"Het Surfgat"	Damwand
	Verticaal Zanddicht Geotextiel (VZG)
	Grofzand barrière
"De Oude Ijsselgeul"	Damwand
	Cutter Soil Mix wand (CSM)
	Verzwaren waterbodem & horizontaal geotextiel filter
"Nilantweg 90"	Klei-ingraving + Kleibekleding + Diepwand baretten + Diepwand kop
	Taludverflauwing + binnendijks ophogen + damwand in het binnentalud
	Cutter Soil Mix wand + extra grond ophogen
	Asverschuiving + talud verflauwen + damwand

Tabel 2 Deelresultaten maatwerkoplossingen

Inhoudsopgave

<i>Voorwoord</i>	2
<i>Samenvatting</i>	3
1. <i>Introductie</i>	7
2. <i>Case study</i>	8
2.1. Leeswijzer	8
2.2. Opdrachtgever	8
2.3. Achtergrond informatie	9
2.4. Doelstelling	10
2.5. Onderzoeksdoel en onderzoeksvragen	11
2.6. Stroomschema onderzoek	12
3. <i>Haalbaarheidsstudie</i>	14
3.1. <i>Introductie</i>	14
3.2. <i>Verkenning</i>	14
3.2.1. Kansrijke Alternatieven	14
3.2.2. Inventarisatie Dijkobjecten	17
3.3. <i>Analyses</i>	18
3.3.1. Intersectie	18
3.3.2. Beschikbare ruimte	19
3.3.3. Detaillering	19
3.3.4. Faalmechanisme vergelijking	20
3.4. <i>Resultaten</i>	20
4. <i>Keuze Dijkobjecten</i>	23
4.1. <i>Criteria</i>	23
4.1.1. Eisen	23
4.1.2. Wens opdrachtgever (1) en afstudeerder (2)	23
4.2. <i>Keuze</i>	24
4.2.1. Type Vervoerspad	24
4.2.2. Type Waterlichaam	24
4.2.3. Type Leef- en werkomgeving	24

5.	<i>Maatwerklocatie-rapport</i>	25
5.1.	<i>Maatwerklocatie “Surfgat”</i>	25
5.1.1.	Mogelijke bouwstenen	26
5.1.2.	Uitwerking oplossingen	26
5.2.	<i>Maatwerklocatie “Oude IJsselgeul”</i>	27
5.2.1.	Mogelijke bouwstenen	28
5.2.2.	Uitwerking oplossingen	29
5.3.	<i>Maatwerklocatie “Nilantsweg 90”</i>	30
5.3.1.	Mogelijke bouwstenen	31
5.3.2.	Uitwerking oplossingen	32
6.	<i>Conclusie</i>	34
7.	<i>Discussie</i>	35
8.	<i>Aanbevelingen</i>	36
9.	<i>Verwijzingen</i>	37
10.	<i>Bijlagen (met inhoudsopgave)</i>	42

Begrippenlijst

In het verslag worden een aantal afkortingen en begrippen gebruikt. In dit hoofdstuk wordt een lijst weergegeven met alle afkortingen en begrippen. Als vakjargon niet is uitgelegd in de tekst of tijdens het lezen wordt vergeten kan er teruggebladerd worden naar deze lijst.

ArcGIS = Geografisch Informatie Systeem voor het analyseren en creëren van data en kaarten op visueel niveau.

Asverschuiving = het proces waar de as (het midden) van de dijk naar het binnen- of buitendijkse land verschuift.

Bouwsteen = een mogelijke oplossing op een faalmechanisme bij een dijk.

Civiele Techniek = een toegepaste wetenschap die zich bezighoudt met het ontwerpen, realiseren en onderhouden van objecten in het gebied van Water, Verkeer of Infrastructuur.

Contextobjecten = alle niet-waterkerende objecten die in, op of rond de dijk liggen.

Complexe situatie = Een kort traject met een samen clustering van veel knelpunten.

Coupure = een onderbreking in een waterkering, meestal te sluiten met een bewegende kering.

Debiet = een natuurkundige grootheid (m^3/s) voor een doorstromend medium (in dit verslag: water).

Dijk verleggen = de dijk een significante afstand verplaatsen ten opzichte van zijn originele positie.

Dijklichaam = de volledige dijk exclusief de ondergrond (van het einde van het buitentalud tot het einde van het binnentalud).

Dijkobjecten = objecten in, op of rond de dijk die mogelijke aanpassingen aan de dijk in de weg zouden kunnen zitten.

Dijkkring = alle dijken die een bepaald gebied omsluiten (oude vorm van overstromingskans normering)

Dijksectie = een deeltraject op het volledige dijktraject van Zwolle-Olst.

Dijktraject = een aaneengesloten keten dijken.

Duiker = een koker die watergangen met elkaar verbindt, vaak gelegen in wegen en toegangsdammen

Dwarsprofiel = Een doorsnede van de dijk in de breedte.

Extraheren = uittrekken/onttrekken, iets uit een groter geheel halen.

Faalmechanisme = De vlakken waarop een dijk kan falen (overslag, stabiliteit, erosie, etc.)

GIS = afkorting ArcGIS, (Geographical Information System).

Haalbaarheid = De mate waarin kansrijke alternatieven wel of niet in het dijktraject geplaatst kunnen worden (afhankelijk van objecten in, op of rond de dijk, ruimte rond de dijk en aanwezig faalmechanismen).

Heave = het verticaal uittreden van grondwater, ook wel opbarsting genoemd.

Hellingsgetal = de steilheid (verhouding tussen hoogte en breedte) van het talud van een dijk

Hinterland = het land achter een waterkering dat beschermt wordt door de waterkering

HWBP = Hoogwaterbeschermingsprogramma, samenwerking tussen de overheid en waterschappen voor de versterking van waterkeringen.

Inpassing = Het aanpassen van een oplossing, zodat deze tussen het object en de dijk past.

Inventariseren = het verzamelen van gegevens / het ordenen en beschrijven van bestanddelen.

Kansrijke alternatieven = **KA** = Mogelijke en veelbelovende grootschalige oplossingen voor traject Zwolle-Olst.

Klei-ingraving = het implementeren van klei in het voorland voor het tegengaan van piping

Knelpunt = locatie waar een of meerdere dijkobjecten de inpasbaarheid van een kansrijk alternatief blokkeert.

Kruin = de top van de dijk / het hoogstliggende deel van een dijk.

Kunstwerk = een door mensenhanden gemaakt bouwwerk, dat water kan keren.

Kwelsloot = een sloot binnendijks die het water ontvangt dat onder de dijk door stroomt.

Maatwerkoplossing = een mogelijk oplossing van bouwstenen buiten de kansrijke alternatieven om.

MCA = Multicriteria analyse, een analyse van meerdere objecten waar met behulp van criteria en gewichten aan deze criteria een afweging wordt gemaakt.

Meekoppelkansen = Andere ontwikkelingen die meegenomen kunnen worden in de projectuitvoering.

NAP = Normaal Amsterdams Peil

Natura 2000 gebied = Een bepaald soort natuurgebied (veel gesitueerd in de uiterwaarden).

Piping = Het proces van water dat onder de dijk doorloopt, zand meeneemt, en de dijk instabiel maakt.

Relevantie = Hoe belangrijk een bepaald dijkobject type is in vergelijking met de andere dijkobject types

Ruimtebeslag = De hoeveelheid ruimte die een object nodig heeft.

Scope = De reikwijdte / het bereik van dit verslag (geeft aan hoe ver de invloed van iets zich uitstrekt).

Talud = de schuine zijdes / de hellingen van een dijk.

Trechtersproces = het proces waarbij objecten gefilterd worden zodat een specifiekere set objecten overblijft.

Type = Een classificatie waar dijkobjecten met een bepaald karakter binnenvallen (bijv.: Een huis valt binnen Leef- en werkomgeving)

Werkruimte = Het ruimtebeslag bij het uitvoeren van de werkzaamheden voor het implementeren van een object.

Zelfkerende constructie = een constructie die op zichzelf water kan keren (zonder de hulp van een dijk).

1. Introductie

Nederlands

Al jaren lang strijdt Nederland tegen het gevaar dat water met zich meebrengt. Met behulp van revolutionaire technieken, die nog nergens anders in de wereld zijn toegepast, worden de kust en de rivieren tegen het water beschermd. De Nederlandse civiele ingenieurs houden zich constant bezig met dit onderwerp om zo de veiligheid van de Nederlandse bevolking hoog te houden. Dit rapport zal hierop inspringen en houdt zich voornamelijk bezig met het onderwerp dijkversterking. Het rapport bevat een verslag van het onderzoek naar een rivierbeschermingsprobleem en het vinden van een oplossing voor dit probleem in een systematische aanpak.

Vele landen worden beïnvloed door de klimaatverandering, waaronder Nederland. Nederland is een goed voorbeeld van een land dat kwetsbaar is voor klimaatverandering en vooral de stijging van het water in de zee en de rivieren, aangezien 26% van het land onder het zeeniveau ligt en 59% van het land kwetsbaar is voor overstromingen (PBL, 2010). Door de toenemende dreiging van hoogwater als gevolg van de klimaatverandering, is er een verhoogd risico in overstromingen. Het Ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft mede als antwoord hierop de veiligheidsnormen opgeschroefd, zodat dijken ontworpen worden voor grotere belastingen. Dit betekent dat de dijk een grotere hoeveelheid water kan weerstaan voordat deze bezwijkt. Een aantal bestaande dijken in Nederland voldoen niet aan de eisen van de nieuwe veiligheidsnormen en moeten daarom versterkt worden. Dit veel voorkomende probleem met de Nederlandse dijken, speelt ook bij het dijktraject van Zwolle tot Olst. Dit onderzoek zal zich richten op dit dijktraject en zal specifieke oplossingen bedenken om de dijk te versterken en zo de dijk te laten voldoen aan de opgestelde eisen.

English

For many years the Netherlands has fought back against growing threat of flooding. Protecting coastal and riverine areas using a variety of (revolutionary) techniques used nowhere else on the world before. Dutch Civil engineers are constantly engaged with these topics in order to secure the safety of the Dutch population. This report is also engaged in these topics and contains the progress from a riverine protection problem to a solution in a systematic approach.

The danger of global warming affects a lot of countries, including the Netherlands. The Netherlands is a perfect example of a country highly susceptible to both sea-level rise and river flooding because 26% of its land surface is below sea level and 59% of its land surface is vulnerable to flooding (PBL, 2010). Due to the increased risks of flooding, the Ministry of Infrastructure and Environment has increased the safety standards, meaning that dikes have to be able to withstand a larger amount of water. A series of existing dikes in the Netherlands do not meet the requirements of these new safety standards and therefore need to be strengthened. This wide-spread problem in the Netherlands also involves the dike from Zwolle to Olst and therefore specific solutions to increase the flood standards of the dikes in this dike section have to be developed. This thesis will aim at the development of these solutions.

2. Case study

Om de normverandering en dijkversterkingen op traject Zwolle - Olst beter te begrijpen en meer in detail weer te geven, is een gestructureerd inzicht in de context nodig. Dit hoofdstuk geeft een korte beschrijving over de opdrachtgever, een introductie tot het onderzoek, achtergrondinformatie en een doelstelling om zo duidelijk het doel van dit onderzoek te formuleren.

2.1. Leeswijzer

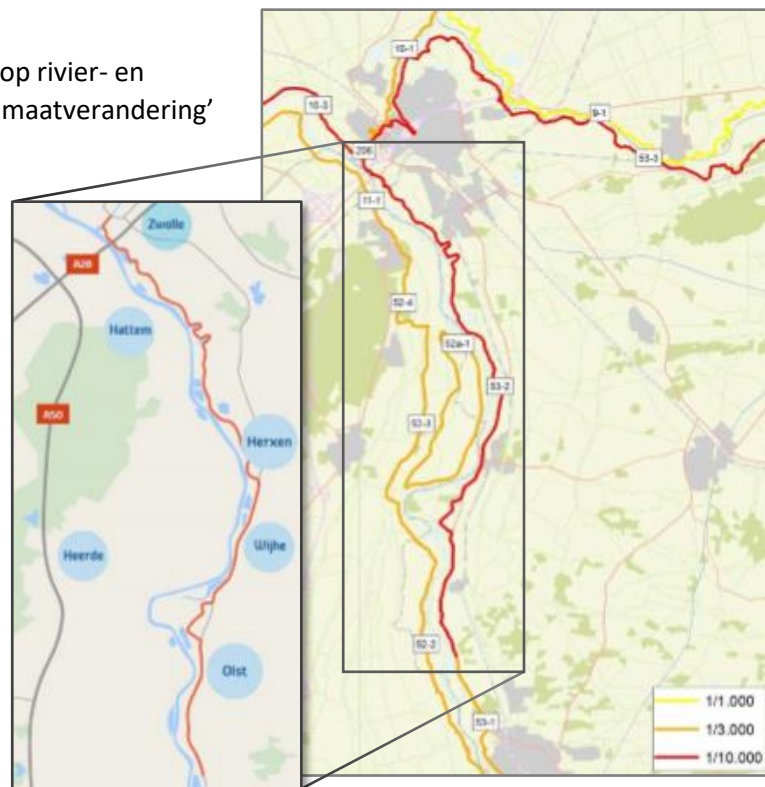
Dit hoofdstuk wordt ingeluid met een korte beschrijving over de opdrachtgever, Waterschap Drents Overijsselse Delta (WDODelta), waarna de achtergrond van dit project wordt beschreven. De aanleiding van het project, de herkomst van de nieuwe overstromingskans risico's en het onderwerp van dijk aanpassingen worden in de achtergrond in het licht gezet. Verder zal dit hoofdstuk de uitdagingen voor de opdrachtgever beschrijven, tezamen met het specifieke probleem en de individuele uitdagingen van dit project. Dit onderzoek bestaat uit meerdere delen waarvan de relatie niet altijd meteen duidelijk wordt in de tekst, daarom is aan het eind van dit hoofdstuk een stroomschema gemaakt die de opbouw van het onderzoek weergeeft. Dit schema geeft daarnaast ook aan waar de data en kennis vandaan komt en welke delen zijn aangeleverd en welke delen bij mijn onderzoek horen. Hoofdstuk 4 is het eerste deel van het onderzoeksrapport, de haalbaarheidsstudie. Deze studie bevat veel info over het traject en de objecten rond de dijk. Het resultaat geeft de haalbaarheid van de aangeleverde alternatieven weer in tekst en schema's. Hoofdstuk 5 is een verslagdeel dat hoofdstuk 4 en hoofdstuk 6 aan elkaar verbindt. Het is de keuze van drie knelpuntlocaties uit het eindschema dat is opgesteld in de haalbaarheidsstudie in Hoofdstuk 4 en deze drie zogenoemde knelpuntlocaties worden verder uitgewerkt in Hoofdstuk 6. Het uitwerken van deze locaties omvat een gedetailleerd rapport over de locatiedetails en de mogelijke oplossingen, een afweging van deze mogelijke oplossingen en de vormgeving van deze oplossingen door middel van tekeningen en berekeningen. Hoofdstuk 7, 8 en 9 bevatten de conclusie, aanbevelingen en de discussie, waarbij hoofdstuk 7 het verslag samenvat en de eindresultaten weergeeft, hoofdstuk 8 aanbevelingen over de uitgewerkte locaties aan het projectteam presenteert en een algemeen beeld geeft van alle andere knelpuntlocaties en hoofdstuk 9 alle aannames, versimpelingen, moeilijkheden en alles wat de resultaten of het algemene verslag negatief of positief heeft beïnvloed bespreekt. In Hoofdstuk 10 vindt u alle geciteerde werken die zijn gebruikt in dit onderzoek en in hoofdstuk 11 vindt u de bijlage waar de hoofdtekst naar verwijst. Deze bijlagen bevatten onder andere Excel-sheets voor de haalbaarheidsstudie, bouwsteen uitleg, detailrapporten van de drie locaties, bouwsteen keuzes, gedetailleerde dijkdoorsnedes, grond onderzoeken en schetsen van mogelijke oplossingen per locatie.

2.2. Opdrachtgever

Het Waterschap Drents Overijsselse Delta (WDODelta) is de opdrachtgever van het onderzoek dat verricht wordt in deze bachelor eindopdracht en heeft mij voorzien van een supervisor, een werkplek en experts op verscheidene onderwerpen, die mij kunnen helpen op bepaalde technische vlakken indien ik hier veel moeite mee ga hebben. Het Waterschap Drents Overijsselse Delta is een regionaal bestuursorgaan dat administratief verantwoordelijk is voor het belangrijkste waterbeheer in de regio's Drenthe en Overijssel. Het gaat om alles wat met water in deze regio's te maken heeft, zoals waterbescherming, natuur, afvalwater, enz. De afdeling waar mijn proefschrift zal worden uitgevoerd, is de afdeling Projectrealisatie.

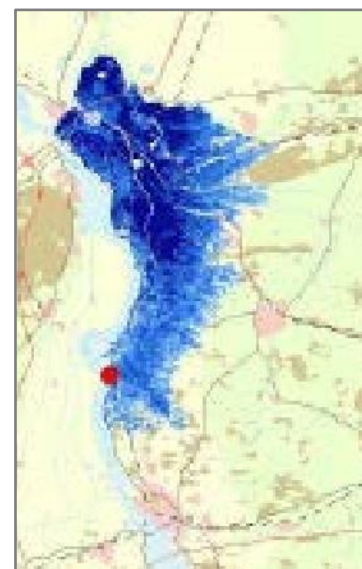
2.3. Achtergrond informatie

De laatste paar jaar zijn een aantal onderwerpen op rivier- en kustbescherming aan het licht gekomen, zoals 'klimaatverandering' en 'een verhoogd waterdebiet uit Duitsland' (Baede, 2003). Deze onderwerpen zijn veel in het nieuws geweest en beïnvloeden nu al de manier hoe we denken over water management. Deze onderwerpen zijn met elkaar verweven en leiden tot een grotere kans op overstromingen van rivier- en waterafvoer (als gevolg van hevige neerslag) in Nederland (Franken, Minnen, & Ligtvoet, 2012). Klimaatverandering wordt gedefinieerd als een continu proces dat deze risico's alleen maar verhoogd in de komende decennia. (Franken, Minnen, & Ligtvoet, 2012). Hierdoor zullen hoge waterstanden vaker voorkomen in vergelijking met de huidige situatie. Deze hoge en langer aanhoudende waterniveaus hebben een grote impact op de dijken rond de Nederlandse rivieren en hun stand zekerheid is in gevaar. De dijken zouden verzwakken en zelfs doorbreken, wat zou leiden tot een massale overstroming in het achterland. Door nieuwe ontdekkingen over de dreiging van klimaatverandering op het gebied van rivieroverstromingen, de grotere economische impact van een overstroming en de nieuwe blik op de sterkte van dijk (sinds de normen uit de jaren 60) zijn de normen op overstromingskansen van dijken aangescherpt.



Figuur 1 Verschillende normtrajecten en uitvergroot normtraject 52-2
Bron: (Maurits van Dijk, 2018)

Voor 2017 werd er bij de normering van waterkeringen gebruik gemaakt van dijkringen, echter is dit niet meer van toepassing en nu worden er normtrajecten gehanteerd. Een normtraject is een deel van een verdeelde dijkkring opgedeeld in 1 Januari 2017 (Kok, Jongejan, Nieuwjaar, & Tanczos, Grondslagen voor hoogwaterbescherming, 2017). Hoewel al deze dijken een hinterland hebben met verschillende functies en steden met een verschillende mate van belang in veiligheid, is de overstromingsnorm voor het hele normtraject hetzelfde. De reden hiervoor is dat de overstromingspatronen en de waterstroomontwikkeling na een doorbraak, en dus het risico van het hinterland, vergelijkbaar zijn binnen één normtraject. Één van deze dijken is de dijk van Zwolle tot Olst, het hoofdonderwerp van dit onderzoek. Deze dijk bevindt zich in Overijssel en bestrijkt het volledige normtraject 53-2. Het normtraject 53-2 tussen Zwolle en Olst is weergegeven in Figuur 1 en loopt van de Spooldersluis in het Zwolle-IJsselkanaal tot aan het landgoed De Haere ten zuiden van Olst. Het traject is 28,9 kilometers lang en bestaat uit een serie dijken met verschillende eigenschappen en kenmerken.



Figuur 2 Waterdiepte achter normtraject 52-2 na een doorbraak bij Olst
Bron: (Maurits van Dijk, 2018)

Een overstromingskansnorm van een normtraject wordt bepaald door een combinatie van individueel risico, schade-risico en essentiële infrastructuur. Individueel risico is de kans dat een persoon komt te overlijden in het bedreigde gebied, schade-risico is de verwachte economische schade door de overstroming en de essentiële infrastructuur bestaat uit het risico van het uitvallen of het falen van een vitaal onderdeel van de infrastructuur, zoals drinkwater of het elektriciteitsnet. Het gebied achter het dijktraject dat overstromingsgevoelig is, wordt getoond in Figuur 2, waar de waterdiepte na een mogelijke doorbraak bij Olst wordt weergegeven voor het norm traject 53-2. Als deze doorbraak ergens anders langs het normtraject plaatsvindt zal het resultaat van de combinatie van risico's vergelijkbaar zijn.

De overstromingskansnormen worden als volgt in het algemeen beschreven in “Grondslagen voor hoogwaterbescherming” (Kok, Jongejan, Nieuwjaar, & Tanczos, Grondslagen voor hoogwaterbescherming, 2017): de dijk kan grote debieten en hoge waterstanden keren tot een bepaald debiet dat eens in de zoveel jaar wordt verwacht, met een bereik van 1 / 300 per jaar tot 1 / 100.000 per jaar. De nieuwe aangescherpte normen zorgen ervoor dat sommige dijken in Nederland niet langer aan de eisen voldoen. De dijken die niet aan de eisen voldoen, moeten aangepast worden om de vereiste zekerheid van overstromingsbescherming te krijgen.

De overstromingskansnorm van het normtraject 53-2 heeft een signaleringswaarde van 1 / 10.000 per jaar, Dit betekent dat zodra het overstromingsrisico van een normtraject groter is dan de hierboven vermelde waarde, het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat geïnformeerd moet worden (dit is een van de voorwaarden voor subsidiëring van maatregelen). Daarnaast heeft deze norm een ondergrens van 1 / 3.000 per jaar, dit is het overstromings- of faalrisico waarop de waterkerende constructie “minimaal berekend moet zijn”, art. 2.2. lid 4 Waterwet (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2018) . De dijk van dit onderzoek voldoet niet aan de nieuwe eisen en om hier wel aan te voldoen en de toekomstige hoge debieten te kunnen keren moet de dijk aangepast en versterkt worden.

Met de oude normen op dit traject voldeed de dijk op enkele locaties niet, echter is de vergelijking met de nieuwe normering lastig door de verschillende veiligheidsfilosofieën. De nieuwe overstromingskansbenadering gaat uit van de kans op verlies van waterkerend vermogen (met een overstroming tot gevolg) en verschilt van de oude veiligheidsfilosofie waarbij het uitgangspunt is dat de ontwerpwaterstand veilig gekeerd dient te worden. De ontwerpregels in de oude systematiek zijn dan ook beduidend anders. (Kok, Jongejan, Nieuwjaar, & Tanczos, Grondslagen voor hoogwaterbescherming, 2017).

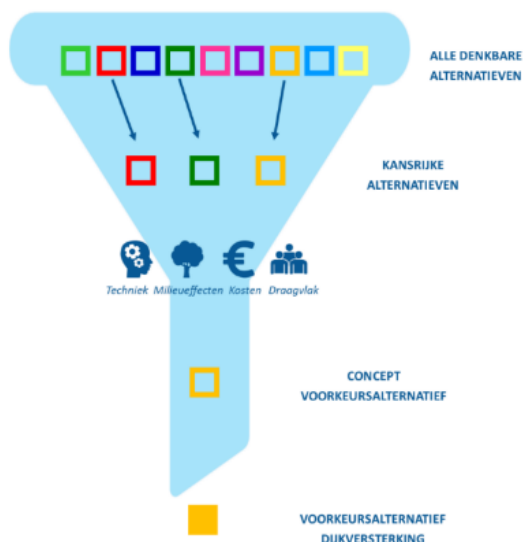
Dit heeft een nieuwe uitdaging voor het Waterschap Drents Overijsselse Delta gecreëerd. Het bedenken, ontwerpen en berekenen van oplossingen voor alle dijksecties in het dijktraject Zwolle – Olst, om zo een dijk te bouwen die voldoet aan de eisen van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, rekening houdend met en omarmen van de huidige omliggende dijkobjecten en andere milieu elementen.

2.4. Doelstelling

Deze uitdaging voor het waterschap is gegeven aan de projectafdeling van het Waterschap Drents Overijsselse Delta en het probleem is omgevormd naar een duidelijk project. Het project is onderverdeeld in de verkenningsfase, de planuitwerkingfase en



Figuur 3 Projectplanning IJsseldijk Zwolle-Olst
Bron: (Willemsen, 2018)



Figuur 4 Trechteringsproces IJsseldijk Zwolle-Olst
Bron: (Willemsen, 2018)

de uitvoering. Elke fase wordt afgesloten met een besluit: hoe verder te gaan in de volgende fase. Op dit moment bevindt het project IJsseldijk Zwolle-Olst zich in de verkenningsfase (zie Figuur 3).

“In de eerste fase, de verkenningsfase, wordt onderzocht welke maatregelen (alternatieven) er zijn voor het versterken van de dijk. Deze mogelijke maatregelen worden, samen met betrokken partijen, beoordeeld en onderling vergeleken. Aan het einde van de verkenningsfase wordt een keuze gemaakt over welke maatregelen de voorkeur hebben: het voorkeursalternatief. Om tot dit voorkeursalternatief te komen doorgaat het project een trechteringsproces” (Waterschap Rivierenland, 2015), weergegeven in Figuur 4. Het project bevindt zich binnen de verkenningsfase op het eind van de “Kansrijke alternatieven”-fase (Figuur 4).

Deze bachelor scriptie zal op dit werk voortborduren en zit in het trechteringsproces tussen de kansrijke alternatieven en het concept voorkeursalternatieven. Het project en de scriptie zullen daardoor parallel lopen, wat resulteert in een volledige betrokkenheid van mij bij het project. Hierdoor zal ik in grote mate kunnen bijdragen aan deze fase in het project.

De “Kansrijke alternatieven”-fase heeft geresulteerd in kansrijke alternatieven. Het implementeren van enkele van deze kansrijke alternatieven kost veel ruimte, wat mogelijk is als er alleen weiden rond de dijk waren. Nederland heeft zich echter ontwikkeld tot een zeer dichtbevolkt land (Bergsma, Busher, & Schalkwijk, 2016) met hoge eisen aan de leefomgeving (gebouwen, infrastructuur, basisvoorzieningen), behoud van de natuur (met name bomen, waterlopen, natuurgebieden zoals N2000-gebieden (Rijksoverheid)). Dit zorgt voor mogelijke knelpunten bij de dijken in het normtraject Zwolle-Olst, deze worden omringd door gebouwen, wegen en natuurgebieden (die niet verstoord mogen worden), evenals gebouwen aan de dijk, basisvoorzieningen door de dijken, vijvers en natuurlijke en cultuurhistorische waarde. Om rekening te houden met al deze milieu-elementen, de ruimte schaarste en het overstromingsrisico zelf, moeten er maatwerkoplossingen worden ontworpen. Een maatwerkoplossing is een combinatie van een gekozen techniek voor faalmechanismen en een innovatief idee om deze techniek in de beschikbare ruimte in te passen en/of een andere techniek te gebruiken en om de omgevingselementen, door de mens gemaakte objecten en andere locatiefactoren te behouden. Het eindrapport zal de haalbaarheid van een kansrijk alternatief in een deeltraject bepalen en bijdragen aan het proces van het bedenken, ontwerpen en berekenen van de maatwerkoplossingen op de locaties waar de huidige kansrijke alternatieven als niet haalbaar worden gezien.

2.5. Onderzoeksdoel en onderzoeksvragen

Het onderzoeksdoel of de doelstelling, zoals reeds uitgelegd in hoofdstuk 3.4, is samengevat in één zin als volgt:

Het bepalen van de haalbaarheid van kansrijke alternatieven op het normtraject Zwolle-Olst en het inpassen en ontwerpen van maatwerkoplossingen op de knelpuntlocaties (geëxtraheerd uit de

haalbaarheidsstudie) gebaseerd op de omliggende dijkobjecten, de bouwstenen en de beschikbare ruimte.

De hoofdvraag is direct gerelateerd aan het onderzoeksdoel:

Wat is de haalbaarheid van en waar zijn de knelpunten met de kansrijke alternatieven op het normtraject Zwolle-Olst en hoe kunnen sommige van deze knelpuntlocaties worden opgelost met behulp van maatwerkoplossingen?

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden zijn drie deelvragen geformuleerd. Met elke deelvraag wordt er een deel van de hoofdvraag beantwoordt:

1. Wat zijn de belangrijkste factoren voor haalbaarheid van kansrijke alternatieven op het normtraject Zwolle-Olst?

- 1.1. Hoe zijn de kansrijke alternatieven vormgegeven?
- 1.2. Waar bevinden zich alle dijkobjecten in het normtraject Zwolle – Olst?
- 1.3. Wat zijn de specifieke karakteristieken van de dijkobjecten die de haalbaarheid van kansrijke alternatieven kunnen belemmeren?

2. Wat is de haalbaarheid van de kansrijke alternatieven op de verschillende deeltrajecten en dijkobjectlocatie?

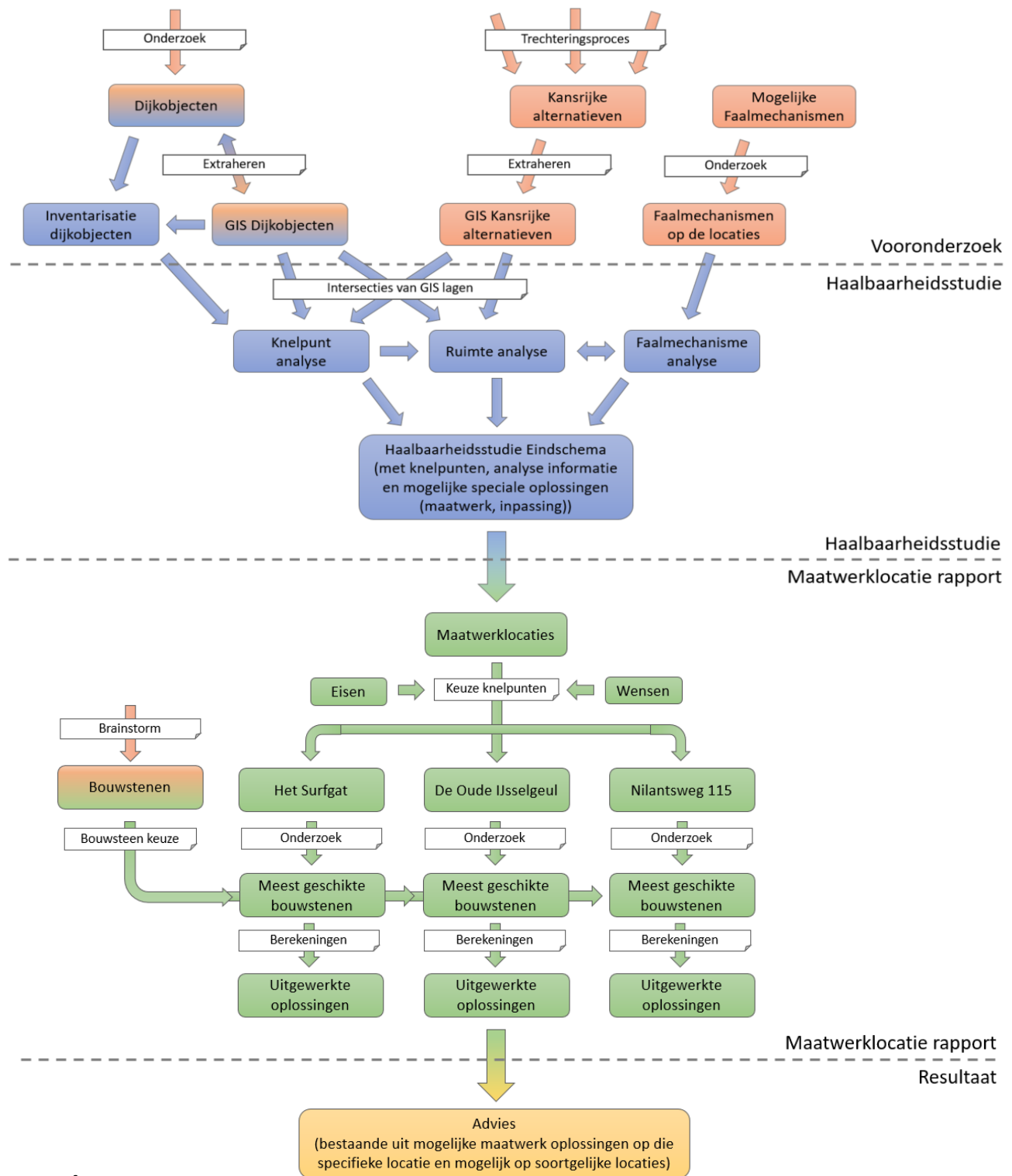
- 2.1. Op welke manier bepalen de faalmechanismen de haalbaarheid van kansrijke alternatieven bij een dijkobjectlocatie?
- 2.2. Hoeveel ruimte is beschikbaar voor het alternatief en/of het dijkobject?
- 2.3. Op welke locaties verhinderen dijkobjecten de haalbaarheid van de kansrijke alternatieven?

3. Hoe kunnen knelpuntlocaties opgelost worden met behulp van maatwerkoplossingen?

- 3.1. Welke specifieke dijkobjectlocaties komen in aanmerking voor maatwerkoplossingen?
- 3.2. Welke mogelijke oplossingen (bouwstenen) zijn effectief op deze locaties?
- 3.3. Waar bevinden zich deze mogelijke oplossingen in de dijk?
- 3.4. Wat zijn de afmetingen en/of verhoudingen van deze mogelijke oplossing?

2.6. Stroomschema onderzoek

Dit onderzoek bestaat uit twee delen, de haalbaarheidsstudie en het maatwerklocatie-rapport. Om duidelijk weer te geven wat de relatie is tussen deze twee delen en hoe de data en informatie van het projectteam van het waterschap is toegepast en aangevuld in dit onderzoek is er een stroomschema / onderzoeksoverzicht gemaakt. Zoals weergegeven in het stroomschema (Figuur 5, op de volgende pagina) is een deel van de informatie afkomstig uit het bestaande project (oranje), echter is een deel van deze data en informatie niet volledig en is deze aangevuld (oranje kleurovergang). De dijkobjecten waren voor de helft bepaald en deze zijn aangevuld en ingetekend in ArcGis tijdens dit onderzoek. Daarnaast waren de bouwstenen als een compacte Exceltabel weergegeven (met de financierbaarheid, beheerbaarheid en betrouwbaarheid), deze zijn tijdens dit onderzoek aangevuld met het ruimtebeslag en natuuraantasting en zijn gedetailleerd uitgelegd. Onderzoeksvraag 1 is de overgang tussen vooronderzoek en haalbaarheidsstudie en komt naar voren als de Inventarisatie van dijkobjecten tezamen met het gebruik van de kansrijke alternatieven en de faalmechanismen die zijn overgenomen uit het onderzoeksrapport van het waterschap (Willemsen, 2018). Onderzoeksvraag 2 is weergegeven als de haalbaarheidsstudie en onderzoeksvraag 3 komt naar voren als het maatwerklocatie rapport.



Figuur 5 Stroomschema onderzoek "Maatwerkoplossingen voor het traject Zwolle-Olst:"

3. Haalbaarheidsstudie

3.1. Introductie

Dit rapport is één stap in het ontwerpproces om de dijken op het normtraject Zwolle – Olst (53-2) te versterken zodat deze voldoen aan de nieuwe normen. De verschillende dijksecties in het normtraject Zwolle – Olst zijn onderzocht en verscheidene technieken om faalmechanismen tegen te gaan zijn ontworpen voor de desbetreffende stukken dijk (Willemsen, 2018). Op sommige plekken zijn echter objecten (zoals huizen, bomen, etc.), beschermde natuurgebieden, oude civieltechnische objecten in de dijk (duikers, coupures, etc.) of andere locatie gebonden elementen gesitueerd (samengevat in één term: dijkobjecten). Op zulke locaties kunnen knelpunten ontstaan voor de kansrijke alternatieven, waardoor deze niet passen. Om deze locaties te onderzoeken en te bepalen of er wel of geen kansrijke alternatieven gerealiseerd kunnen worden, is een haalbaarheidsstudie uitgevoerd. De haalbaarheidsstudie bestaat uit het analyseren van de bestaande alternatieven, het inventariseren van de objecten rond de dijk die mogelijk een knelpunt kunnen veroorzaken, het analyseren van de ruimte tussen de alternatieven en de objecten, een trechteringsproces (waarbij eerdere dijkobjecten weg gefilterd worden indien het toch geen knelpunt blijkt te veroorzaken (voorbeeld: Figuur 4)), een vergelijking van de overige dijkobjecten met de aanwezige faalmechanismen, een tweede trechteringsproces en het uiteindelijk vaststellen van de haalbaarheid op basis van de informatie uit de verschillende analyses.

3.2. Verkenning

Voor de verkenning zal gebruik gemaakt worden van de twee aangeleverde GIS bestanden die de kansrijke alternatieven op elke dijksectie weergeven en die de objecten rond alle dijksecties laat zien. Dit hoofdstuk zal de kansrijke alternatieven uit het onderzoektraject van dit project, de objecten rond de dijk en hun onderlinge relatie bespreken.

3.2.1. Kansrijke Alternatieven

In de verkenningsperiode van dit project zijn er een aantal alternatieven gemaakt op basis van de meest voorkomende faalmechanismen in het dijktraject Zwolle-Olst. Het waterveiligheidsprobleem van de dijk is een combinatie van verschillende faalmechanismen. Daarom zijn er verschillende maatregelen nodig op dezelfde plek om het waterveiligheidsprobleem in zijn geheel op te lossen. Een mogelijk alternatief is een combinatie van bouwstenen die het waterveiligheidsprobleem in zijn geheel oplost. Uit de bouwstenen zijn zes mogelijke alternatieven, A t/m F, samengesteld. Voor elk van deze alternatieven is hieronder beschreven hoe de maatregelen er samen voor zorgen dat de dijk weer voldoende veilig wordt. Dit zijn zes alternatieven die elk een verschillend karakter hebben, oplossingen buitendijks, oplossingen binnendijks, een combinatie tussen die twee en zelfs een zelfkerende constructie waarbij geen verdere dijkaanpassingen nodig zijn. Deze verschillende karakters zorgen ervoor dat er naar elk aspect van een dijk en naar elke mogelijke oplossing wordt gekeken. In deze beschrijving wordt ervan uitgegaan dat alle problemen overal voorkomen en dus opgelost moeten worden.

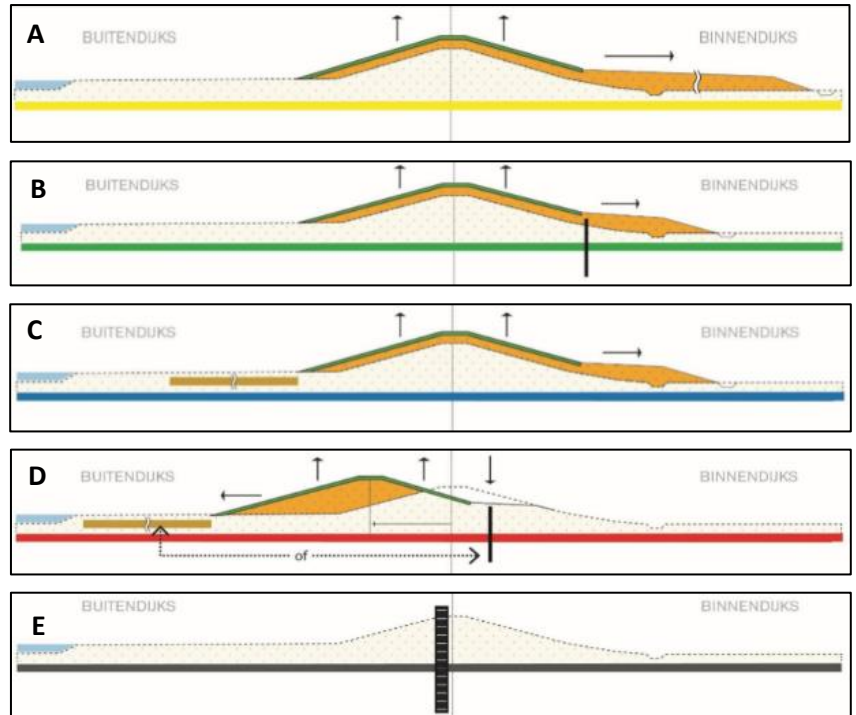
A. Binnendijkse grondoplossing met pipingberm. Dit is een alternatief waar de maatregelen met name aan de binnendijkse zijde (landzijde) zijn gesitueerd. Het pipingprobleem wordt aan de landzijde opgelost door middel van een lange grondberm, ook wel een pipingberm genoemd. Deze grondberm zorgt er tevens voor dat het stabiliteitsprobleem van de dijk wordt opgelost. De bekleding van de dijk wordt erosiebestendig gemaakt. Door de dijk te verhogen wordt voorkomen dat er teveel water over de dijk heen stroomt.

B. Binnendijkse grondoplossing met verticale pipingvoorziening. Dit is een alternatief waar de maatregelen met name aan de binnendijkse zijde (landzijde) zijn gesitueerd, maar met een kleiner ruimtebeslag dan alternatief A. Het stabiliteitsprobleem wordt aan de landzijde opgelost door middel van een korte grondberm, ook wel stabiliteitsberm genoemd. Door middel van een verticale pipingvoorziening onder de stabiliteitsberm wordt piping voorkomen. De bekleding van de dijk wordt erosiebestendig gemaakt. Door de dijk te verhogen wordt voorkomen dat er teveel water over de dijk heen stroomt.

C. Binnendijkse grondoplossing met buitendijkse klei-ingraving. Dit alternatief heeft gedeeltelijke maatregelen binnendijs (landzijde) en gedeeltelijk buitendijs (rivierzijde). Het stabiliteitsprobleem wordt aan de landzijde opgelost door middel van een korte grondberm, ook wel stabiliteitsberm genoemd. Het pipingprobleem wordt aan de rivierzijde opgelost door het ingraven van klei. De bekleding van de dijk wordt erosiebestendig gemaakt. Door de dijk te verhogen wordt voorkomen dat er teveel water over de dijk heen stroomt.

D. Asverschuiving in buitendijkse richting met buitendijkse klei-ingraving of verticale pipingvoorziening Bij dit alternatief worden de maatregelen volledig buitendijs (rivierzijde) gesitueerd. De kruin van het dijklichaam wordt verplaatst in buitendijkse richting, waarbij het oude dijklichaam als berm benut wordt om het stabiliteitsprobleem op te lossen. Hierdoor is er binnendijs geen ruimtebeslag. De bekleding van de dijk wordt erosiebestendig gemaakt. Het pipingprobleem kan opgelost worden door het ingraven van klei óf door het aanbrengen van een verticale pipingvoorziening onder het oude dijklichaam.

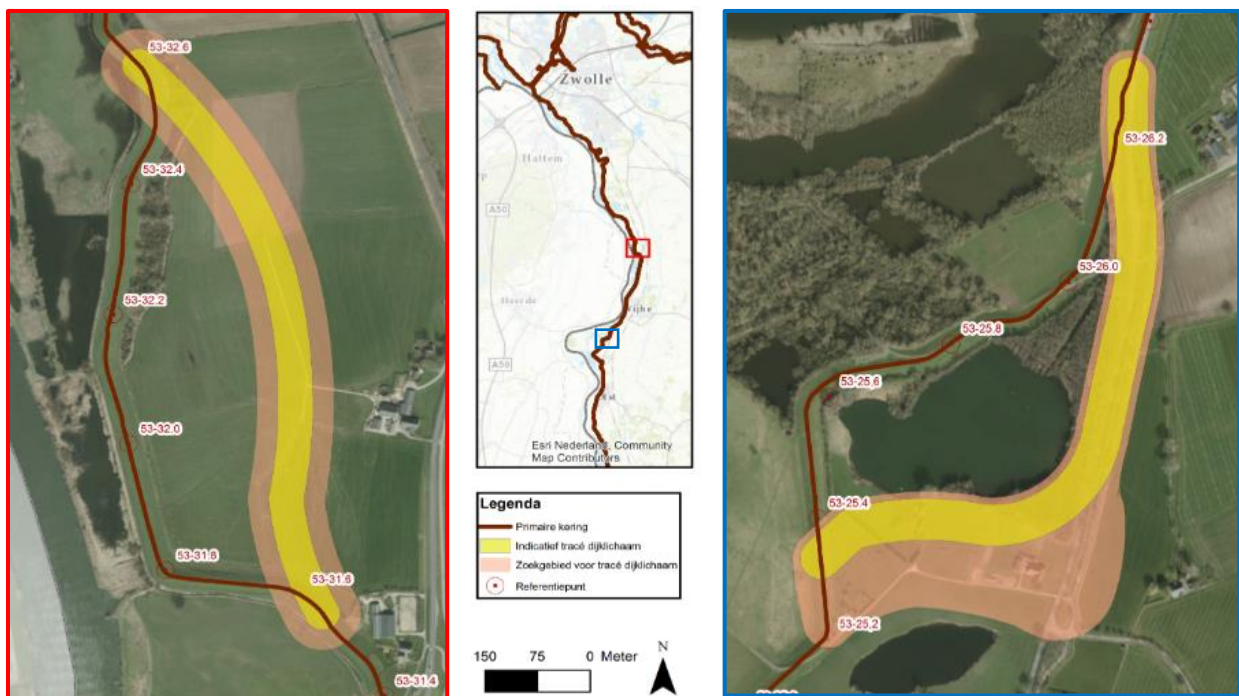
E. Zelfstandig kerende constructie Bij dit alternatief wordt dijk versterkt door middel van het plaatsen van een constructie die in de huidige dijk wordt geplaatst. Deze constructie moet de waterkerende functie vervullen en lost alle dijkproblemen in een keer op. Dit betekent dat er geen steun nodig is van een binnen- of buitentalud. Voorbeelden van zelfstandig kerende constructies zijn een betonnen wand (diepwand) of twee aan elkaar verbonden stalen damwanden (kistdam). Voor trajecten waar de dijk



Figuur 6 Kansrijke alternatieven
Bron: (Zundert, Sedee, & Bijvank, 2018)

moet worden verhoogd, steekt de constructie boven de huidige dijkhoogte uit. Een zelfstandig kerende constructie kan ook op maatwerklocaties (bijvoorbeeld ter hoogte van woningen) toegepast worden om de dijk te versterken en woningen te behouden.

F. Kleinschalige dijkverlegging. Naast het versterken van de huidige dijk, is ook onderzocht waar kleinschalige dijkverlegging een mogelijk alternatief is voor versterking van de huidige dijk. Een kleinschalige dijkverlegging levert nauwelijks voordelen op met betrekking tot waterstandsdaling en daarmee de hoogteopgave van de dijk. Het kan wel uitkomst bieden indien het versterken van de huidige dijk grote negatieve effecten heeft op bepaalde functies op en om de dijk of als compensatiemaatregel voor de waterstanden bij buitendijkse ingrepen. Er zijn twee locaties waar een dijkverlegging als mogelijk alternatief is beschouwd: Traject 5, Den Nul en Traject 9, Paddenpol-Herxen (Zundert, Sedee, & Bijvank, 2018). Deze mogelijke dijkverleggingen zijn weergegeven in Figuur 7.



Figuur 7 Mogelijke kleinschalige dijkverlegging
Bron: (Zundert, Sedee, & Bijvank, 2018)

De volgende stap was het trechteren van deze alternatieven voor de verschillende dijktrajecten in het project. Hierbij is een grove afweging gemaakt op basis van het het/de meest dominante faalmechanisme(n) op elk traject, de geschiktheid van een alternatief, het ruimtebeslag (in algemene zin), de prijs van het te ontwerpen alternatief en de hoeveelheid negatieve effecten het alternatief heeft op de natuur en leefbaarheid. Er is een afweging gemaakt tussen de zes alternatieven en gekeken welke alternatieven logische oplossingen zouden zijn voor de specifieke dijktrajecten. Hierbij is rekening gehouden met de faalmechanismen die lokaal een rol spelen en zodra hier niet een faalmechanisme optreedt is het alternatief, wat alleen dit faalmechanisme tegengaat, niet meegenomen. De alternatieven zijn per dijktraject verder uitgewerkt en visueel gemaakt in GIS in een bovenaanzicht en laat het originele dijklichaam zien tezamen met de uitbreiding door de alternatief implementatie met alle dimensies van de uitbreiding inbegrepen. Een voorbeeld van alternatief C, een buitendijkse klei-

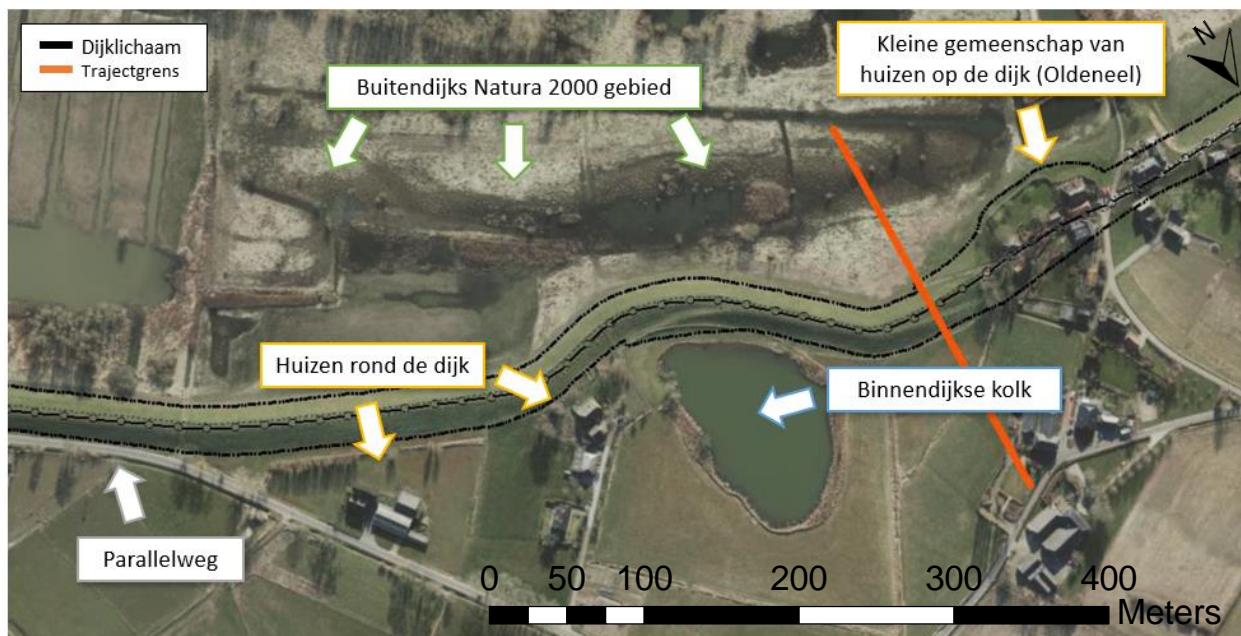
ingraving en, indien nodig (als er een stabiliteitsprobleem is), een binnendijkse grondoplossing, is weergegeven in Figuur 8.



Figuur 8 Alternatief C op het eind van deeltraject De Haere 2 (in een GIS-bestand)
Bron: (Oosting, 2018)

3.2.2. Inventarisatie Dijkobjecten

Het normtraject Zwolle – Olst is 28,9 km lang en is opgedeeld in 15 trajecten en 29 deeltrajecten van verschillende lengte. In dit complete normtraject bevinden zich veel verschillende objecten met verschillende functies en karakters, in, op, en rond de dijklichamen. Een groot aantal van deze dijkobjecten worden geraakt door de ontwerpen van de alternatieven. Om erachter te komen welke objecten snijden met de kansrijke alternatieven is er eerst een lijst gemaakt met alle dijkobjecten in, op en rond de dijk die op het eerste oog in de weg lijken te zitten voor het realiseren van de kansrijke alternatieven. Deze lijst is opgezet met behulp van aangeleverde GIS bestanden en informatie over een deel van de dijkobjecten. De GIS bestanden zijn aangevuld (bijgetekend in GIS) tijdens het maken van de dijkobjecten lijst. De inventarisatie van de dijkobjecten bevat alle relevante informatie over de dijkobjecten voor verdere analyses (zoals locatiegegevens (deeltraject, coördinaten, etc.) en mogelijke faalmechanismen op de locatie waar het dijkobject zich bevindt), weergegeven in de Excel-sheet in Bijlage I.2. De dijkobjecten bestaan uit contextobjecten die onderverdeeld kunnen worden in waterbouwkundige objecten (zoals duikers, coupures, leidingen, etc.) en niet-waterbouwkundige objecten, (zoals bebouwing, wegen, waterlichamen, natuurgebieden, etc.) en aangewezen objecten met een niet-fysieke grens (zoals natuurgebieden en bosjes). In het traject Zwolle – Olst zijn 215 dijkobjecten gesitueerd waarbij in elk deeltraject zich in ieder geval één dijkobject bevindt. In Figuur 9 zijn een aantal verschillende dijkobjecten rond de dijk weergegeven die kansrijke alternatieven in de weg zouden kunnen zitten.



Figuur 9 Verschillende dijkobject (in verschillende kleuren aangegeven) rond de dijk in deeltraject Schellerdijk

3.3. Analyses

De analyse omvat het onderzoek naar de relatie tussen hiervoor geïnterviewde alternatieven en dijkobjecten door middel van kruisingen en inpassingsafstanden.

3.3.1. Intersectie

Door het loslaten van een analyse op de uitgewerkte alternatieven in GIS en de verschillende dijkobjecten (ook uitgewerkt in GIS) kan er worden gekeken naar welke dijkobjecten een knelpunt vormen voor welk alternatief. Hierbij is belangrijk dat een “dijkobject” een “knelpunt” wordt als het één of meerdere kansrijke alternatieven in de weg zit. Door het snijden van deze twee lagen en het uitrekenen van hoe groot het snijvlak is in vergelijking met de oppervlakte van het object, wordt er grof gekeken naar welk object daadwerkelijk snijdt met een alternatief, welk object absoluut niet snijdt en welk object nader onderzoek nodig heeft, door bijvoorbeeld een te klein snijvlak, wat kan duiden op een tekenfout of een terrein dat geraakt wordt maar de bebouwing zelf onaangetaast blijft. Zodra een terrein geraakt wordt, terwijl de bebouwing op dit terrein niet geraakt wordt, wordt dit wel als een dijkobject gezien in de eerste inventarisatie maar niet als knelpunt in deze analyses. De reden hierachter is de mate van relevantie en belang. Het raken van historisch object, woonadres of kantoorpand is veel belangrijker en heeft meer kosten dan het raken van een tuin of een stuk landbouwgrond. Het veranderen van functie van een landbouwgrond heeft echter wel gevolgen aangezien de hoeveelheid landbouw in dit gebied enigszins verminderd en dit schaadt de landbouwsector in een klein percentage.

Alle snijvlakken zijn weergegeven in een Excel-file in Bijlage I.3. Hierbij zijn afgewezen alternatieven per dijkobject door een te klein snijvlak (tekenfout of anders) nog aanwezig in de gescheiden tabel maar weggelaten in het eindresultaat en vermeldt in de opmerkingen.

De intersecties tussen de dijkobjecten en de kansrijke alternatieven geven een duidelijk beeld per dijkobject met welke kansrijke alternatieven deze wel of niet een knelpunt vormen. Dat een dijkobject in combinatie met een kansrijk alternatief nu een knelpunt vormt hoeft niet te betekenen dat deze direct

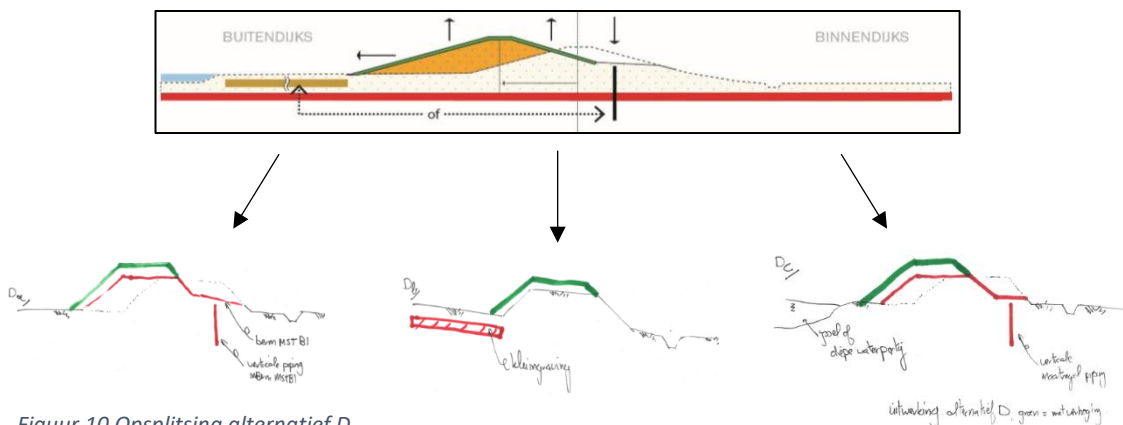
maatwerk of grote aanpassing dient te ondergaan. De interpretatie van de uitkomst van deze kruising is belangrijk omdat op sommige kruisende stukken, nog steeds de originele kansrijke alternatieven gebruikt kunnen worden, een simpele adaptatie van een van de kansrijke alternatieven geïmplementeerd kan worden of duidelijk maatwerk nodig is.

3.3.2. Beschikbare ruimte

De knelpunten waar een alternatief mee botst, zijn uit de enorme inventarisatie gefilterd in een aparte groep. Deze dijkobjecten, staan een bepaalde afstand van het originele dijkprofiel af. Daarnaast vallen deze dijkobjecten binnen een of meerdere kansrijke alternatieven, die een bepaalde hoeveelheid ruimte nodig hebben voor de uitbreiding die hoort bij dat alternatief. De hoeveelheid ruimte die het alternatief nodig heeft en de kleinere beschikbare ruimte door obstakels/relevante dijkobjecten zijn opgesteld voor elk dijkobject en het desbetreffende alternatief. Het ruimte tekort door het dijkobject dat knelt met een alternatief is cruciaal in een latere analyses en keuzes in het verslag. Bij deze ruimte opgave zijn nog enkele opmerkingen, namelijk dat sommige alternatieven in het Excel bestand (Bijlage I.3) een grotere beschikbare ruimte hebben dan de benodigde ruimte van het alternatief, wat zou betekenen dat er eigenlijk geen knelpunt ontstaat hier. Echter zijn deze punten wel belangrijk, bijvoorbeeld als de beschikbare ruimte maar één meter groter is dan de benodigde ruimte en het alternatief bijna tegen het huis wordt gezet. Daarnaast zijn er ook objecten waarbij de beschikbare ruimte 0 meter is en de benodigde ruimte van een alternatief ook 0 meter is. Dit betekent dat er geen horizontale uitbreiding van de dijk is, van bovenaf gezien maar het object wel binnen het originele dijkprofiel staat, bijvoorbeeld een huis op de kruin van een dijk. Deze objecten worden meegenomen omdat in de verdere analyse ook gekeken wordt naar de verticale aanpassingen en uitbreidingen aan de dijk (zoals een simpele dijkophoging met grond).

3.3.3. Detaillering

De detaillering is een vervolg op de vorige twee subhoofdstukken en gebruikt ook informatie van deze analyses als startpunt. Deze detaillering geeft de specifieke reden waarom het alternatief niet past op die locatie door het/de aanwezige knelpunt(en). Er wordt hierbij precies aangegeven welk deel van het alternatief botst en met welk deel van het dijkobject. Daarnaast heeft de detaillering ook een specifiekere aanduiding van alternatief D, deze aanduiding is nog niet eerder gebruikt om de eerste analyse zo simpel mogelijk te houden. Alternatief D is opgesplitst in een aantal verschillende alternatieven (Da, Db en Dc) weergegeven in Figuur 10. Samengevat zorgt de detaillering voor een



Figuur 10 Opsplitsing alternatief D
Source: (Zundert, Sedee, & Bijvank, 2018)

duidelijk beeld waarom oplossingen nodig zijn op deze locaties, als input voor volgende analyses. Deze detaillering beschrijft ook de slootverleggingen en wegen die opnieuw geconstrueerd moeten worden.

3.3.4. Faalmechanisme vergelijking

Met behulp van de informatie verkregen uit en de indeling van de detaillering wordt een tweede grote analyse op de data uitgevoerd. De 2^e analyse, ook wel de faalmechanisme vergelijking genoemd, gebruikt de kaarten en GIS data van de verschillende faalmechanismen (uitgelegd in Bijlage II) en vergelijkt de locaties waar deze optreden met de kansrijke alternatieven (weergegeven in Bijlage I.4). Er wordt gekeken naar hoe de verschillende overgebleven kansrijke alternatieven overlappende functies hebben en welke wel en niet passen op basis van deze functies en de aanwezige faalmechanismen. Tijdens deze analyse zijn er nog geringe veranderingen in de scope van deze scriptie. De leidingen in de dijk worden binnen het projectteam onderzocht door één van de experts. Dit blijkt nog vrij lastig te zijn en hierom zullen leidingen, kabels en andere vergelijkbare dijkobjecten niet worden meegenomen in deze scriptie, met uitzondering van de twee leidingen “effluentleiding Olst” en “riooloverstort Wijhe”, die beide zichtbare obstakels vormen in de dijk (benoemd als kunstwerk). Daarnaast zal de Katerveersluis ook buiten de scope van deze scriptie vallen doordat deze vanwege de monumentale status erg ingewikkeld is en wordt gezien als een opgave op zichzelf, deze sluis wordt door het waterschap uitbesteed aan een ingenieursbureau. De faalmechanismen vergelijkinganalyse heeft als uitkomst een duidelijk beeld welke kansrijke alternatieven zijn:

1. Niet kansrijk omdat ze slecht inpasbaar zijn;
2. Passen niet maar zijn enigszins aan te passen om ze wel passend te maken;
3. Passen wel maar differentiëren met het kansrijke alternatief dat eromheen wordt gebruikt voor een lang traject (inpasbaar);
4. Passen op de locatie;

Deze analyse geeft ook een beeld op welke locaties compleet nieuwe maatwerkoplossingen bedacht moeten worden, indien kansrijke alternatieven niet passen, of moeilijk inpasbaar zijn. Met deze informatie kan gekeken worden welke en hoe alternatieven op welke manier aangepast moeten worden en kan er onderzoek verricht worden naar de verschillende mogelijkheden op de locaties waar complete nieuwe oplossingen bedacht moeten worden.

3.4. Resultaten

De resultaten uit de analyses zijn samengevat als een schema in een compacter Excelsheet (Bijlage I.4), met een indeling op basis van de verschillende deeltrajecten voor een duidelijker overzicht. Hierbij is de haalbaarheid van de knelpunten onderverdeeld in een specifieke classificatie van de volgende begrippen (tevens uitgelegd in Bijlage I.1):

- **Mogelijk**

Het kansrijke alternatief in zijn geheel, zoals deze staat weergegeven in (Willemsen, 2018) en Figuur 6, kan op deze locatie geïmplementeerd worden.

- **Verleggen**

Het kansrijke alternatief in zijn geheel kan op de locatie geplaatst worden, mits een verlegging van een klein object plaatsvindt.

- **Aansluitings-opgave**

Het kansrijke alternatief wordt onderbroken door een object in de dijk of aan de dijk vast, die zorgt voor de benodigde sterkte die het kansrijke alternatief anders zou moeten leveren. Aansluiten op dit dijkobject zal goed

genoeg zijn, hierbij moet de aansluiting wel nauwkeurig worden uitgevoerd.

- Niet mogelijk

Het kansrijke alternatief in zijn geheel, zonder enige aanpassingen of verplaatsingen, kan op de locatie niet geplaatst worden.

- Inpassing

Het kansrijke alternatief in zijn geheel kan op deze locatie geïmplementeerd worden, mits deze kleine aanpassingen ondergaat waardoor het alternatief hetzelfde karakter behoudt maar andere dimensies krijgt.

- Maatwerk

1. Op deze locatie kunnen alle kansrijke alternatieven in hun geheel niet geïmplementeerd worden. ("Ja")
2. Op deze locatie kan een of meerdere kansrijke alternatieven geïmplementeerd worden, mits er inpassing plaatsvindt, echter is dit mogelijk niet wenselijk ("Kansrijk", inpassing niet wenselijk)
3. Op deze locatie kunnen kansrijke alternatieven in hun geheel geïmplementeerd worden maar het traject waarover dit zal plaatsvinden is kort en er is een grote kans dat (met logische blik kijkend) het traject eromheen een andere oplossing zal krijgen. ("Kansrijk", kort traject)
4. Op deze locatie kunnen kansrijke alternatieven in hun geheel geïmplementeerd worden maar er is een niet veel voorkomend faalmechanisme aanwezig (stabiliteit of hoogte) waar de alternatieven nog niet op geanalyseerd zijn, die de locatie omtoveren in een lastig punt. ("Kansrijk", ...-opgave)

- Complexe situatie

Dit is een locatie waar zich veel verschillende dijkobjecten bevinden, zowel binnen- als buitendijks, die conflicteren in mogelijk te implementeren of in te passen kansrijke alternatieven, waardoor in dit bestand elk object "Maatwerk" toegewezen krijgt en het volledige gebied een lastige opgave wordt.

Deze opmaak en terminologie aaneensluit met de methodes die het project Zwolle-Olst gebruikt. Daarnaast is de typeaanduiding van de dijkobjecten ontbonden tot een gedetailleerdere aanduiding, dit zorgt voor een duidelijkere categorisering van het dijkobject. Van enkel "Contextobject" en "Kunstwerk" zijn er nu negen verschillende categorieën (weergegeven in Tabel 4) om een dijkobject te omschrijven. Al deze aanpassingen zorgen voor een duidelijkere indeling van de dijkobjecten om zo ook de keus van slechts een paar dijkobjecten voor de volgende onderzoekstap te vereenvoudigen.

Met behulp van het eindschema is te zien dat op het onderzoekstraject van Zwolle-Olst zich 144 dijkobjecten bevinden waarbij knelpunten ontstaan met de kansrijke alternatieven. Deze dijkobjecten zijn wijd verspreid over het gehele traject en in bijna elk deeltraject bevindt zich in ieder geval één knelpunt veroorzakend dijkobject. Uit de resultaten van de analyses van alle knelpunten blijkt dat er voornamelijk dijkobjecten met het type "Leef- en werkomgeving", "Vervoerspad" en "Waterlichaam" in dit traject de knelpunten veroorzaken. Het type Leef- en werkomgeving komt het vaakst voor (38,2% uit het totaal), dit zijn huizen en bedrijventerreinen, waarbij voornamelijk huizen het grootste percentage van dit type omvatten (87,3%). De andere dijkobjecten die het vaakst voorkomen in dit traject zijn weergegeven in Tabel 3. Naast de meest voorkomende dijkobjecten en hun knelpunten is de mate van relevantie van een dijkobject en zijn knelpunt belangrijk. De mate van relevantie heeft vaak te maken met vergunningen die aangevraagd moet worden om een aanpassing of wijziging uit te voeren bij een dijkobject. Sommige dijkobjecten hebben veel historische of landschappelijke waarde of bevatten een verblijfsgebied en zullen hierom strengere regels hebben rond het ontwerpen van oplossingen (beperken overlast (voor verblijfsgebieden of

Objecttype	% in totaal	Subtype	% in objecttype	% in totaal
Leef- en werkomgeving	38	Huis	87	33
		anders...	13	5
Vervoerspad	20	Parallelweg	41	8
		Toegangsweg	31	6
		anders...	28	6
Waterlichaam	15	Kolk	81	12
		anders...	19	3

Tabel 3 Meest voorkomende dijkobjecten die knelpunten veroorzaken (in %)

natuurgebieden), behouden uitzicht (voor huizen op de dijk), etc.), in tegenstelling tot lege graslanden of delen van landbouwgronden waarbij deze regels een stuk soepeler zullen zijn. Dit kenmerk van een dijkobject is in een 5-punts-schaal gecategoriseerd als relevantie van het object. In Tabel 4 is de mate van relevantie per type dijkobject weergegeven met behulp van de 5-punts-schaal en de reden achter de keuze. Deze aanduiding geldt over het algemeen voor alle dijkobjecten met dit type, met uitzondering van de aangegeven dijkobjecten in Tabel 4.

Type	Relevantie	Reden
Historisch object	Hoog	Heeft veel historische waarde, vergunning zal niet snel verleent worden en aantasten van een historisch object geeft geen goed beeld.
Leef- en werkomgeving	Hoog	Eigenaar moet het mee eens zijn het slopen van een huis, zal door emotionele en financiële waarde meestal tot uitkopen leiden, wat een enorme geldsom is.
Natuurgebied	Middelhoog	Het verstoren van een natuurgebied is lastig vergunbaar, kan meestal alleen als de natuur het verplaatst word, wat voor extra kosten zorgt
Engelse werk	Hoog	Het Engelse Werk is naast een natuurgebied/natuurpark ook een historisch object door de leeftijd en de geschiedenis van dit park
Waterlichaam	Middelhoog	Over het algemeen worden waterlichamen beschermd aangezien het enige historische waarde heeft, echter is er wel een mogelijkheid een vergunning te krijgen indien andere dijkversterkingsoplossingen niet kunnen
Natuurgebied & Waterlichaam	Middelhoog	Een combinatie tussen Natuurgebied en Waterlichaam, met dezelfde relevantie
Vervoerspad	Middel	Een vervoerspad tijdelijk verleggen is enigszins vergunbaar, de verlegging heeft wel overlast tot gevolg en het heeft een redelijke geldsom
Spoor naar het westen	Hoog	Dit specifieke vervoerspad is zeer belangrijk doordat Zwolle de verbintenis is tussen het Westen en het Oosten qua openbaar vervoer via de trein, dit tijdelijk stil leggen is nauwelijks vergunbaar
Spoolderbergweg	Hoog	Deze weg is vrij belangrijk, het is de verbinding tussen Zwolle en alle plaatsen direct over de IJssel (zoals Hattem), dit kan omgeleid worden via de snelweg, maar dit levert veel ergernis op
N337	Hoog	Een provinciale weg die veel steden met elkaar verbindt, omleidingen zouden over landweggetjes gaan, erg moeilijk vergunbaar en erg duur
Kering	Middellaag	Er zijn er niet veel, maar de keringen in deze dijk kunnen vrij eenvoudig vervangen worden na het ingevoerde alternatief of andere oplossing
Recreatie	Laag	De recreatie op dit traject is vrij eenvoudig te verleggen of terug te brengen na de dijkversterking, goed vergunbaar
Pier Wijhe	Middellaag	De pier van Wijhe heeft een iets hogere relevantie door het hogere gebruiksniveau vergeleken de andere recreatieobjecten
Kunstwerk	Laag	Kunstwerken kunnen makkelijk verlegd worden met de dijkversterking mee, ze zijn daarnaast voor het grootste deel van het WDOD zelf waardoor de kosten laag blijven

Tabel 4 Mate van relevantie dijkobjecten

Naast de dijkobjecten zelf zijn de realisatiemogelijkheden van de kansrijke alternatieven de reden dat dit onderzoek is in de eerste instantie is uitgevoerd. In Tabel 6 is weergegeven welk alternatief het meest voorkomt als knelpunt en welke het minst. Er is een groot verschil in de hoeveelheid knelpunt locaties bij verschillende alternatieven, de reden voor dit verschil is de mate van voorkomen van een alternatief in de deeltrajecten. Alternatief A en E komen over het algemeen niet veel voor in het traject en zullen hierom weinig locaties in Tabel 6 bevatten. Uit de tabel is duidelijk te concluderen dat alternatief B het vaakst voorkomt, maar hierbij ook erg veel dijkobjecten raakt (73% van alle dijkobjectlocaties waar alternatief B voor kan komen en 68% van de totale hoeveelheid dijkobjectlocaties), wat grotendeels resulteert uit de 10 meter binnendijkse berm (voor stabiliteit of plaatsing piping maatregel) en werkruimte voor deze berm. Deze data kan gebruikt worden als hulpmiddel in het project voor de bepaling van een alternatief, aangezien het project streeft naar zo logisch mogelijk aaneengesloten alternatieven en geen versnipperde alternatieven.

Een analyse op de haalbaarheid van de kansrijke alternatieven heeft als uitkomst dat 25% v.d. kansrijke alternatieven maar haalbaar is. Om die reden zijn de alternatieven uit elkaar gehaald en opnieuw geanalyseerd, de resultaten staan in Tabel 5. Het meest voorkomende maar ook meest knellende alternatief is alternatief B waarbij de haalbaarheid maar 35% blijkt.

Alternatief	A	B	C	D	E
Locaties	12	134	100	121	50
Mogelijk	1	36	37	63	48
% mogelijk	8%	27%	37%	52%	96%
Niet mogelijk	11	98	63	58	2
% knelpunt					
op hoeveelheid knelpunten per "alternatieflocaties"	92%	73%	63%	48%	4%
op totale hoeveelheid knelpunten	8%	68%	44%	40%	1%

Tabel 6 Percentages alternatieven

Alternatief	Hm	Haalbaarheid
A	2570	96%
B	930	35%
C	1450	54%
D	1740	65%
E	2680	100%
ABCDE	660	25%
Totale traject	2680	

Tabel 5 Haalbaarheid alternatieven

Naast al deze data bevat het eindschema ook: een overzicht op welke locaties maatwerk kansrijk is en wat de reden hiervoor is, een variatie aan mogelijke rationele oplossingen die het realiseren van de originele kansrijke alternatieven weer mogelijk maakt en een kolom met welke dijkobjecten samen een complexe situatie vormen, die in de verdere uitwerking van de knelpunten meer aandacht nodig zullen hebben dan simpel gezegd een maatwerkoplossing (weergegeven in Bijlage I.4).

4. Keuze Dijkobjecten

Voordat er nader wordt ingaan op de dijkobjecten, maatwerkoplossingen met behulp van bouwstenen en berekeningen over de effectiviteit van oplossingen, moet er een keuze worden gemaakt uit de dijkobjecten. Voor de nadere detaillering van de dijkobjecten en oplossingen (het tweede deel van dit onderzoek) kunnen er maar een paar objecten uit het eindschema van het eerste deel van dit onderzoek worden meegenomen, gezien de beperkte omvang van het onderzoek. Voor de keuze van de dijkobjecten zijn er een aantal criteria opgesteld en hierna is er gekeken naar de overgebleven keuzes en een afweging gemaakt samen met de opdrachtgever.

4.1. Criteria

De criteria voor de keuze van de dijkobjecten voor verder onderzoek bevatten de algemene eisen (voortgekomen uit overleg) en de wensen van de opdrachtgever en de afstudeerder.

4.1.1. Eisen

- 1.** Er worden drie dijkobjecten gekozen, met een verschillend dijkobject type.
Er is een verhouding tussen de beschikbare tijd en hoever in detail getreden kan worden. Bij deze keuze van drie dijkobjecten wordt gestreefd naar een redelijk detailniveau dat mogelijk is in de beschikbare tijd. De drie dijkobjecten dienen daarnaast een verschillend type (Tabel 4) te hebben zodat het tweede deel van dit onderzoek gevarieerd is in onderzoek en oplossingsmogelijkheden. De verschillende types garanderen dat de dijk- en omgevingsaspecten van de drie dijkobjecten in ieder geval van elkaar verschillen.
- 2.** Complexe situaties vallen buiten de keuze.
Deze situaties zijn erg lastig en hebben erg veel aandacht nodig aangezien er op deze locaties geen enkel kansrijk alternatief mogelijk is, zelfs niet een inpassing of een aangepast alternatief. Er moet een compleet nieuw idee komen (voortkomend uit de bouwstenen). Samengevat zal een complexe situatie teveel tijd kosten om in detail op in te gaan.

4.1.2. Wens opdrachtgever (1) en afstudeerder (2)

- 1.** De drie verschillende dijkobjecten hebben allen een ander type, voor deze keuze zijn de drie types, die het meest voorkomen onder de objecten die een knelpunt vormen voor alle lokaal inpasbare kansrijke alternatieven, het meest gewenst.
De reden hierachter is dat het nader ingaan op de drie meest voorkomende type dijkobjecten zorgt voor een verslag dat het meest bruikbaar is voor het project Zwolle – Olst. Het veelvoorkomende type zorgt er namelijk voor, dat de uiteindelijke berekeningen op een dijkobject van dat type een grote kans hebben ook te passen op een ander dijkobject met hetzelfde veel voorkomende type.
- 2.** De moeilijkheidsgraad van de verschillende dijkobjecten moet verschillend zijn.
De verschillende moeilijkheidsgraden per dijkobject zorgen voor een variatie aan uitdagingen. Door de moeilijkheidsgraad te verschillen tussen makkelijk, gemiddeld en

moeilijk bij de drie dijkobjecten wordt er deels aangesloten op de wens van de opdrachtgever (de makkelijke en gemiddelde knelpunten komen namelijk vaak voor).

3. De drie maatwerklocaties moeten goed verdeeld zijn over het volledige traject zodat de omgevings- en grondeigenschappen erg verschillend zijn. Dit geeft een extra verschil per locatie, waardoor andere karaktereigenschappen van bouwstenen worden aangesproken.

4.2. Keuze

Met behulp van de criteria en wensen vallen er veel dijkobjecten af. Er wordt gekeken naar de meest voorkomende dijkobject types: “Leef- en werkomgeving”, “Vervoerspad” en “Waterlichaam” (in feite was “Kunstwerk” het tweede meest voorkomende type, maar dit type vormt geen uitdaging aangezien deze meestal al verlegt moeten worden en de meeste kunstwerken van het waterschap zelf zijn en daardoor makkelijk verlegd worden). Deze overgebleven dijkobjecten uit de volledige lijst moeten nader worden bekeken op de kaart, tezamen met de faalmechanismen die er spelen en de ruimtetekorten (oftewel de data uit alle vorige analyses).

4.2.1. Type Vervoerspad

Uit de vele inpassingen is gekozen voor “Parallelweg t.h.v. het Surfgat” in traject “Wijhe Noord”, dit binnendijkse object heeft een diepe kolk aan de buitendijkse zijde waardoor er iets minder keus is uit oplossingen en innovatiever nagedacht moet worden. Een voordeel is dat dit type vaak voorkomt en dus erg bruikbaar is voor het project. Deze locatie heeft een moeilijkheidsgraad van “makkelijk”.

4.2.2. Type Waterlichaam

Om een interessant punt te pakken waar de bouwstenen goed tot hun uiting zullen komen is gekozen voor de binnendijkse “Waardevolle kolk” en de buitendijkse tegenovergelegen “Oude IJsselgeul”. Deze twee waterlichamen liggen beide dicht bij de dijk en zijn beide redelijk diep en hebben enige natuurwaarde wat reguliere oplossing lastig maakt en innovatieve ideeën vraagt. De moeilijkheidsgraad ligt relatief gemiddeld tot moeilijk.

4.2.3. Type Leef- en werkomgeving

Eén van de moeilijkste knelpunten binnen dit type (met uitzondering van leef- en werkomgeving dijkobjecten in een complexe situatie) zijn de “Huizen aan Nilantsweg 90”. Deze huizen in Spoolde staan erg dicht op de dijk en met name twee huizen. De moeilijkheidsgraad is voornamelijk afkomstig van de afgekeurde dijk die niet alleen is afgekeurd op één faalmechanisme, maar op alle relevante faalmechanismen (bekleding, piping, overslag en stabiliteit). Dit geeft een interessante uitdaging om bouwstenen en verschillende maatwerkoplossingen te combineren om zo de faalkans van al deze mogelijke faalmechanismen te verkleinen tot de norm. De moeilijkheidsgraad ligt hierdoor vrij hoog.



Figuur 11 Kaart met gekozen maatwerklocaties

5. Maatwerklocatie-rapport

Het maatwerklocatie-rapport gaat dieper in op de gekozen dijkobjecten/knelpunten. Deze dijkobjecten hebben een gemeenschappelijke eigenschap, namelijk het veroorzaken van een knelpunt die niet simpel opgelost kan worden met behulp van een origineel kansrijk alternatief. Op deze locaties moet ingegrepen worden om een andere oplossing te bedenken dan het implementeren van een kansrijke alternatief. Dit kan een kleine aanpassing aan het kansrijke alternatief zijn (een inpassing), een grote aanpassing zijn waarbij sommige functies zullen vervallen, of een compleet nieuw alternatief zijn met innovatieve ideeën. De drie maatwerklocatie worden apart behandeld en zullen in detail worden weergegeven (karaktereigenschappen, waarde, dijkdoorsnedes, omgevingsfactoren, etc.), daarnaast zal per maatwerklocatie de mogelijke oplossingen worden weergegeven (voornamelijk vanuit de bouwstenen beschouwd), de voorkeursmogelijkheden worden getoond (afgewogen mogelijke oplossingen) en de afmetingen worden berekend (faalmechanisme berekeningen, etc.).

In dit hoofdverslag staat de samengevatte versie van deze hoofdstukken. De bijlages bevatten de volledige detailrapporten (Bijlage III), bouwsteenkeuzes (Bijlage VI) en berekeningen (Bijlage VIII).

5.1. Maatwerklocatie "Surfgat"

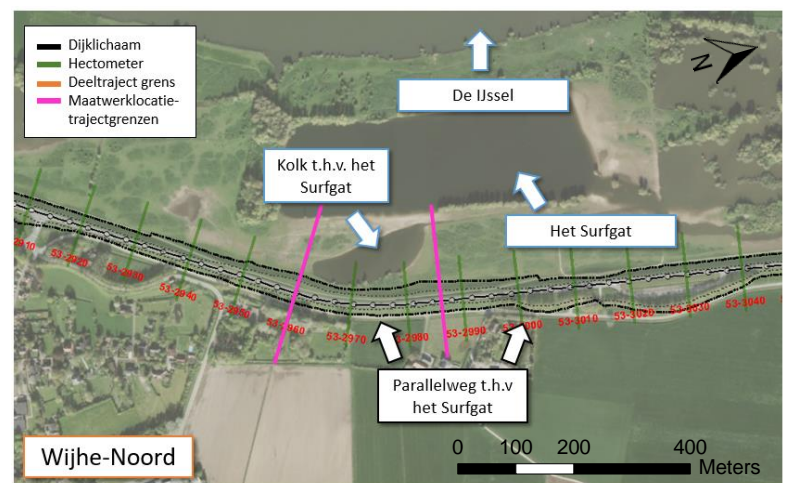
Maatwerklocatie "Het Surfgat" omvat de knelpunten van het binnendijkse vervoerspad: de "Parallelweg t.h.v. Het Surfgat" en het buitendijkse waterlichaam: de "Kolk t.h.v. Het Surfgat". Deze knelpunten zijn weergegeven in Figuur 12.

Rond de dijk waar deze maatwerklocatie zich bevindt bevinden zich buitendijks een kolk, een fietspad en natuur, en binnendijks een parallelweg met een aantal kwel sloten ernaast met daarachter een aantal variërende percelen.

De faalmechanismen die zich voordoen op deze trajecten zijn bekleding en piping zoals weergegeven als een overlay over een referentie luchtfoto in Figuur 13. Voor deze faalmechanismen zijn bouwstenen ontworpen en uitgelegd in Bijlage II.1,4, dit zijn mogelijke binnendijkse of buitendijkse oplossingen.

In dit traject bevindt zich veel natuur in de vorm van natuurgebieden buitendijks (zoals Natura-2000) en beschermde planten naast en op de dijk, daarnaast bevinden zich binnendijks een aantal percelen met verschillende

karakteristieken zoals normale huizen, verenigingen en een oude stortplaats. De effecten van deze



Figuur 12 Locaties objecten "Het Surfgat"



Figuur 13 Aanwezige faalmechanismen "Het Surfgat"
Bron: (Faalmechanismen Ontwerp, 2018)

natuur, de binnendijs objecten en de provinciale weg op de kruin van de dijk staan weergegeven in het detailrapport in Bijlage III.1. In dit rapport wordt ook verwezen naar de desbetreffende grondonderzoeken in Bijlage V.1 en worden de verschillende grondlagen en de effecten hiervan uitgelegd. Samengevat is het dijklichaam een zanddijk met bovenin een aantal lagen klei met als laag onder de dijk een dik pakket zand (van 2 meter). De rest van de ondergrond wisselt af met dunne laagjes klei en dikke zandpakketten. Al deze objecten, waardes en onderzoeken hebben effect op de bouwsteenkeuze en de uitwerking van deze mogelijke oplossingen.

5.1.1. Mogelijke bouwstenen

Met behulp van de bouwstenen kan er een oplossing worden ontworpen voor deze specifieke locatie en indien deze locatie vaker voorkomt (in ongeveer dezelfde vorm), kan deze oplossing vaker ingezet worden. De bouwstenen van bekleding en piping in Bijlage II.1,4 zullen gebruikt worden bij deze afweging van mogelijke bouwstenen, gezien de faalmechanismen die optreden op dit traject. Eerst wordt er een simpele afweging gemaakt, in tabelvorm, met de bouwstenen die duidelijk niet kunnen. Hierna wordt een meer gedetailleerde Multi Criteria Analyse (MCA) opgesteld uit de overige bouwstenen (op basis van de MCA opzet van het waterschap, uitgelegd in Bijlage VI.1). Na de MCA blijven er een aantal bouwstenen over die kansrijk zijn op deze locatie, deze bouwstenen zullen verder uitgewerkt worden op deze maatwerklocatie, met de focus op de afmetingen en berekeningen. Uit de MCA (samengevatte scores weergegeven in Tabel 7, volledig weergegeven in Bijlage VI.2) wordt duidelijk dat op deze maatwerklocatie de drie meest geschikte piping bouwstenen “Damwand”, “VZG” en “Grofzand barrière” zijn en de meest geschikte bekleding bouwsteen “Kleibekleding” is. Deze bouwstenen hebben een duidelijk hogere score waardoor deze mee worden genomen in de verdere berekeningen al de kansrijke maatwerkoplossingen.

Bouwsteen	Totaal
Gewicht	
Piping	
1. DMC, waterontspanner	29
2. Damwand	48
3. VZG	36
4. Kunststof damwand	22
5. Grofzand barrière	34
6. Kwelsloten verleggen	20
7. Peilopzetten kwelsloot	31
Bekleding	
1. Kleibekleding	49
2. Harde bekleding	32
3. Taludverruwing (buitentalud)	29
4. Cementeren buitentalud	30

Tabel 7 Samengevatte MCA "Het Surf gat"

De kwestie van het VZG en de grofzand barrière in het talud of onder de parallelweg leggen is na de score toedeling nader bekeken (voor de score toedeling is “onder de parallelweg” aangehouden). Al zijn er nog geen harde cijfers over de uiteindelijke kosten, het afgraven van het talud zorgt voor meer moeilijkheden. Ten eerste zullen er vergunningen moeten komen voor het weghalen van de beschermde plant: Rapunzelklokje, die zich op dit talud bevindt en ten tweede zal door het vervallen van de stevigheid de provinciale N337 weg afgesloten moeten worden. De parallelweg daarentegen wordt opengebrouwen en er zullen rijplaten worden neergelegd (waarschijnlijk in het weiland ernaast) voor het bestemmingsverkeer en afgesloten worden voor normaal verkeer tot de parallelweg weer terug is gelegd. Met deze afweging wordt de conclusie getrokken dat de VZG en de grofzand barrière onder de parallelweg worden neergelegd. De drie meest geschikte bouwstenen voor deze locatie zijn weergegeven als schets in een dwarsprofiel van de dijk in Bijlage VII.1.

5.1.2. Uitwerking oplossingen

Voor de berekeningen van de oplossingen is gebruik gemaakt van doorsnede 1899 op hectometer 2967, weergegeven in Bijlage IV.1. Uit dit dwarsprofiel zijn de gegevens voor de berekeningen onttrokken.

5.1.2.1. Damwand

De afmetingen van deze damwand worden enkel bepaald door het faalmechanisme piping. Hierbij is gebruik gemaakt van de uitkomsten van de methode van Sellmeijer en deze resultaten zijn ingevoerd in

de formules van Lane waarmee de verticale kwelweglengte is berekend. Met behulp van deze waarde kan de lengte van het kwelscherm bepaald worden. De andere maten zijn gerelateerd aan het gekozen damwandprofiel en zullen in de pipingoplossing niet veel veranderen. De berekeningen zijn weergegeven in Bijlage VIII,1. Bij deze uitzonderlijke situatie waar zand op zand is en er nog steeds piping ontstaat, wordt gebruik gemaakt van het uitgraven van zand en het ingraven van klei om een kunstmatige deklaag te creëren. De damwand wordt 4,32 meter lang en zal zich vestigen van 2,66 m boven NAP (20cm onder de grasmat) tot 1,66 m onder NAP (zandlaag van “Formatie van Bostel”).

5.1.2.2. VZG & Grofzand barrière

Het verticaal zanddicht geotextiel en de grofzand barrière hebben door de meetapparatuur voor monitoring een te groot ruimtebeslag om op de reguliere plek geplaatst te worden, hierom zijn dezen onder de parallelweg geplaatst. Bij het VZG en de grofzand barrière zijn weinig berekeningen uit te voeren. Het zijn beide filters en laten water door en houden zand tegen, hierom is er geen verticale kwelweg en wordt de horizontale kwelweglengte niet aangepast. Het belangrijkste punt bij een VZG en een grofzand barrière is dat ze diep genoeg moeten liggen dat ze het bovenste deel van de grondlaag waar piping optreed doorsnijden. Daarnaast dienen deze oplossingen nog een paar meter lager te liggen zodat, indien de filters verstopt raken, er niet direct onderloopsheid wordt gecreëerd. Het VZG en de grofzand barrière worden 8 m lang en zullen zich vestigen op 2,80 m boven NAP (onder de parallelweg) tot 5,20 m onder NAP (in de klei, veen en zand mixlaag van “Laagpakket van Zutphen”). Zie berekeningen Bijlage VIII,1.

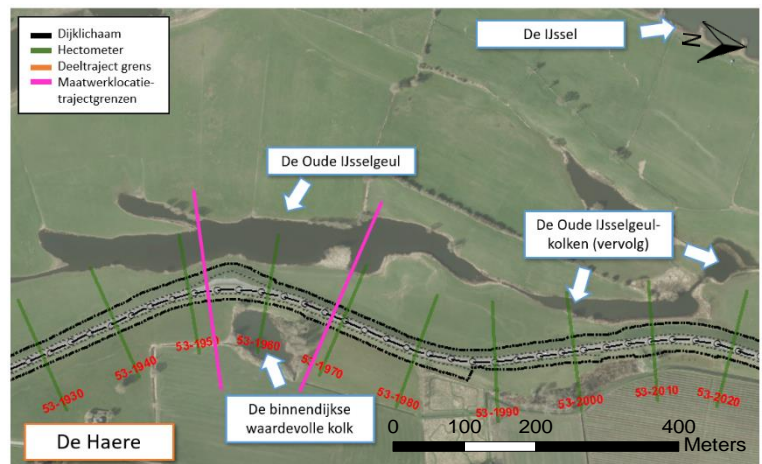
5.1.2.3. Kleibekleding

De kleibekleding als oplossing voor het erosieprobleem wat zich voordoet op dit traject, dat volstaat met zanddijken met een grasbekleding, is een uitermate geschikte oplossing. Echter zijn er met de nieuwe overstromingskansnormen van 2017 nog geen ontwerpregels voor de bekleding versterking. Echter is er een realistische schatting gemaakt van de dikte van de kleibekleding door een expert op dit gebied (Frakking, 2018). In Bijlage VIII,3 is meer informatie over dit onderwerp te vinden. De kleibekleding zal op de kruin 1 meter dik zijn en op de taluds zal het kleipakket aansluiten op de kruin met een 1 meter dik pakket, wat zich richting de dijken verdikt tot een kleipakket dikte van 2 meter in de dijken.

5.2. Maatwerklocatie “Oude IJsselgeul”

Maatwerklocatie “Oude IJsselgeul” omvat de knelpunten van het binnendijks waterlichaam: de “Waardevolle kolk” en het buitendijks waterlichaam: “De Oude IJsselgeul”. Deze knelpunten zijn weergegeven in Figuur 14.

Rond de dijk waar deze maatwerklocatie zich bevindt bevinden zich buitendijks een oude ijsselgeul en natuur. Binnendijks bevindt zich nog een waterlichaam, namelijk een kolk, en natuur zoals gemiddeld hoge bomen tot laag struikgewas en andere lage begroeiing rond deze kolk.



Figuur 14 Locaties objecten "De Oude IJsselgeul"

De faalmechanismen die zich voordoen op deze trajecten zijn bekleding, piping en voor een groot deel ook stabiliteit zoals weergegeven als een overlay over een referentie luchtfoto in Figuur 15. Voor deze faalmechanismen zijn bouwstenen ontworpen en uitgelegd in Bijlage II.1,2,4, dit zijn mogelijke binnendijkse of buitendijkse oplossingen.



Figuur 15 Aanwezige faalmechanismen "De Oude IJsselgeul"
Bron: (Faalmechanismen Ontwerp, 2018)

In dit traject bevindt zich veel natuur in de vorm van natuurgebieden buitendijks (zoals Natura-2000 en NNN gebieden), een beschermde kolk met natuur binnendijks, beschermde planten naast en op de dijk en landbouwgronden binnendijks. Op de kruin loopt een provinciale weg. De effecten van deze natuur, de binnendijks landbouwgronden en de provinciale weg op de kruin van de dijk staan weergegeven in het detailrapport in Bijlage III.2. In dit rapport wordt ook verwezen naar de desbetreffende grondonderzoeken in Bijlage V.2 en worden de verschillende grondlagen en de effecten hiervan uitgelegd. Samengevat bevat deze dijk voor het grootste deel zand met een paar erg dunne laagjes klei. De ondergrond onder deze dijk bevat een dunne laag zand met hieronder een 2,5 tot 3 meter dikke laag klei en daaronder meerder dikke pakketten zand van meters dik. Al deze objecten, waardes en onderzoeken hebben effect op de bouwsteenkeuze en de uitwerking van deze mogelijke oplossingen.

5.2.1. Mogelijke bouwstenen

Met behulp van de bouwstenen kan er een oplossing worden ontworpen voor deze specifieke locatie en indien deze locatie vaker voorkomt (in ongeveer dezelfde vorm), kan deze oplossing vaker ingezet worden. De bouwstenen van bekleding, piping en stabiliteit in Bijlage II.1,2,4 zullen gebruikt worden bij deze afweging van mogelijke bouwstenen. Eerst wordt er een simpele afweging gemaakt, in tabelvorm, met de bouwstenen die duidelijk niet kunnen. Hierna wordt een meer gedetailleerde Multi Criteria Analyse (MCA) opgesteld uit de overige bouwstenen (op basis van de MCA opzet van het waterschap, uitgelegd in Bijlage VI.1). Dit uitgebreide keuzeprocés is weergegeven in Bijlage VI.3. Na de MCA blijven er een aantal bouwstenen over die kansrijk zijn op deze locatie, deze bouwstenen zullen verder uitgewerkt worden op deze maatwerklocatie, met de focus op de afmetingen en berekeningen. De scores die uit de MCA hebben geen doorslaggevend effect op welke bouwstenen het meest geschikt zijn en waar verder gerekend mee gaat worden. Echter is in deze tabel een extra kolom toegevoegd, de Meekoppeling. Op deze locatie met deze bouwstenen zijn er bouwstenen die meerdere faalmechanismen in één keer oplossen, wat de kosten van een oplossing reduceert. Door de reductie in kosten komen deze bouwstenen een stuk hoger uit in de afweging, echter kan dit niet goed weergegeven worden in de MCA. Met behulp van de Meekoppeling criteria en de MCA scores blijven er

Bouwsteen	Meekoppeling	Totaal
Gewicht	-	
Piping		
1. Damwand	Stabiliteit	47
2. VZG	Nee	46
3. Kunststof damwand	Stabiliteit	30
4. Grofzand barrière	Nee	38
5. Verzwaren waterbodembodem & Horizontaal filter	Verzwaren waterbodembodem	37
Stabiliteit		
1. Taludverzwaring	Nee	32
2. Dijkvernageling	Nee	23
3.1. Damwand	Piping	47
3.2. Palenrij	Nee	43
4. Kistdam / Diepwand	Piping	34
5. Diepwand baretten	Nee	38
6. CSM	Piping	40
7. Verzwaren waterbodembodem	Horizontaal geotextiel	37
Bekleding		
1. Kleibekleding	Nee	49
2. Harde bekleding	Nee	32
3. Taludverruwing (buitentalud)	Nee	29
4. Cementeren buitentalud	Nee	30

Tabel 8 Samenvatting MCA "De Oude IJsselgeul"

een aantal opties over waaruit de volgende bouwstenen zijn gekozen: “Damwand”, “Cutter Soil Mix wand” en “Verzwaren van de waterbodem gecombineerd met een horizontaal filter” voor piping en stabiliteit en Kleibekleding voor bekleding. Deze bouwstenen samen vormen de maatwerkoplossingen voor deze locatie. Schetsen van deze bouwstenen, geïmplementeerd in het dwarsprofiel van de dijk, zijn weergegeven in Bijlage VII.2.

5.2.2. Uitwerking oplossingen

Voor de berekeningen van de oplossingen is gebruik gemaakt van doorsnede 888 op hectometer 1958, weergegeven in Bijlage IV.2. Uit dit dwarsprofiel zijn de gegevens voor de berekeningen onttrokken. De stabiliteitsberekeningen in dit onderzoek zijn niet uitgevoerd, gezien de beperkte omvang van dit onderzoek. De stabiliteitsberekeningen zouden de overige afmetingen van de oplossingen aanvullen, echter zullen deze nu weggelaten worden, waardoor sommige oplossingen een aantal bouwstenen missen in het uitwerkingshoofdstuk.

5.2.2.1. *Damwand*

De afmetingen van de damwand op deze locatie zijn op dezelfde manier berekend als bij maatwerklocatie “Het Surfgat”. De berekeningen zijn weergegeven in Bijlage VIII,1. Bij deze locatie bevindt zich een klei deklaag met hieronder een zandlaag waar de piping zich in bevindt. De damwand wordt 5,41 meter lang en zal zich in de grond vestigen van 3,10 m boven NAP (20cm onder de grasmatt) tot 2,31 m onder NAP (zandlaag van “Formatie van Bostel”). De stabiliteit van de damwand is niet berekend in dit onderzoek.

5.2.2.2. *Verzwaarde waterbodem + horizontaal geotextiel*

Bij deze methode is de horizontale kwelweg cruciaal die berekend is met behulp van de rekenregels van Sellmeijer (Forster, Ham, Calle, & Kruse, 2012). Dit tekort moet aangevuld worden door een horizontale oplossing. Bij deze oplossing is gekozen voor het aanbrengen van geotextiel in het waterlichaam aan de binnen- en buitendijkse zijde van het dijklichaam, in tegenstelling tot de schets in Bijlage VII,2. De berekeningen staan in Bijlage VIII,1. Aan beide kanten van de dijk zal in beide waterlichamen een lengte van 32,33 m horizontaal geotextiel minimaal nodig zijn. De verzwaarde waterbodem helpt mee met het geotextiel vast te zetten op de waterbodem, daarnaast zal het de stabiliteitsopgave oplossen (echter is dit niet berekend).

5.2.2.3. *CSM wand*

Deze zelfkerende wand wordt beïnvloed door piping en stabiliteit op deze locatie, piping bepaalt de lengte van de wand, waarbij dezelfde rekenregels en dezelfde methodes zijn gebruikt als bij de damwanden, echter is de CSM wand in totaal langer door de plaatsing in de kruin. De berekeningen zijn weergegeven in Bijlage VIII,1. De CSM wand wordt 11 meter lang en zal zich in de grond vestigen van 8,18 m boven NAP tot 2,81 m onder NAP (zandlaag van “Formatie van Kreftenheye”). Dit is een laag met veel draagkracht. De stabiliteit van de CSM wand is niet berekend in dit onderzoek.

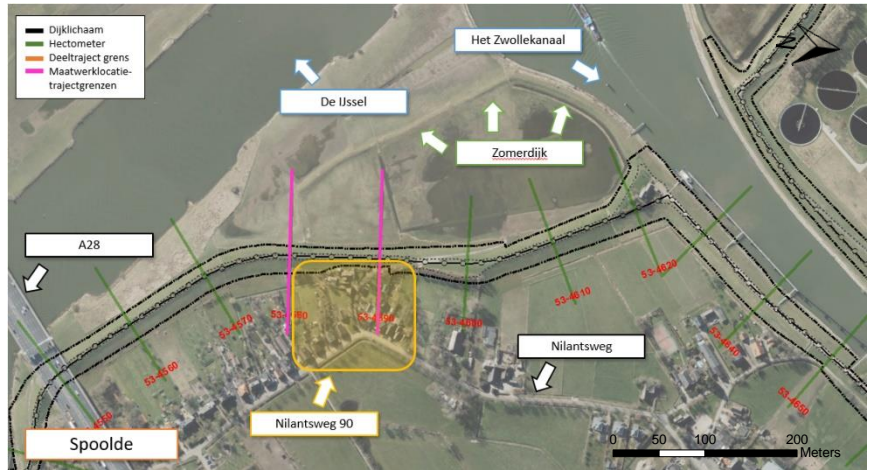
5.2.2.4. *Bekleding*

De bekledingsopgave is exact hetzelfde bij deze oplossingen als bij maatwerklocatie Het Surfgat, echter is de kleibekleding bij de CSM wand niet aanwezig aangezien dit een zelfkerende constructie is.

5.3. Maatwerklocatie “Nilantsweg 90”

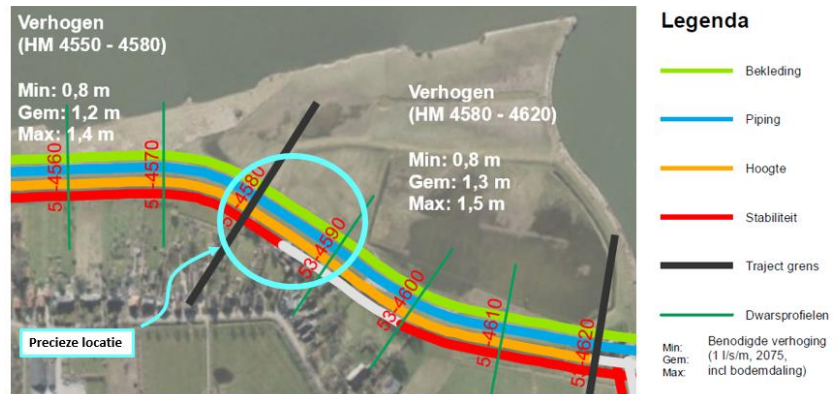
Maatwerklocatie “Nilantsweg 90” omvat de knelpunten van de binnendijkse leef- en werkomgeving: de “Huizen aan Nilantsweg 90”. Deze knelpunten zijn weergegeven in Figuur 16.

Rond de dijk waar deze maatwerklocatie zich bevindt, bevinden zich binnendijks een aantal gegroepeerde huizen dicht tegen de dijk aan en buitendijks lege weilanden tot aan de IJssel. De locatie ligt in het deeltraject Spoolde 2 (traject 15.2) tussen hectometer 4580 en 4590.



Figuur 16 Locaties objecten "Nilantsweg 90"

De faalmechanismen die zich voordoen op dit traject is bekleding, piping, overslag en voor de helft ook stabiliteit zoals weergegeven als een overlay over een referentie luchtfoto in Figuur 17. Voor deze faalmechanismen zijn bouwstenen ontworpen en uitgelegd in Bijlage II.1,2,3,4, dit zijn mogelijke oplossingen om de dijk te versterken.



Figuur 17 Aanwezige faalmechanismen "Nilantsweg 90"
Bron: (Faalmechanismen Ontwerp, 2018)

Dit traject ligt middenin Spoolde, een oud deel van Zwolle (ooit een eigen dorp). In dit traject bevinden zich dus veel oude huizen en percelen, waarvan er een aantal een knelpunt vormen met de te versterken dijk. Daarnaast is er net als in de andere maatwerklocaties natuur in de vorm van natuurgebieden buitendijks (zoals Natura-2000). Echter zijn er op dit traject geen “Rode lijst” beschermde planten of dieren. De effecten van de vele percelen en huizen (waarvan er een aantal zelfs in het talud staan), de vreemde hoogteverschillen en de natuur buitendijks staan weergegeven in het detailrapport in Bijlage III.3. In dit rapport wordt ook verwezen naar de desbetreffende grondonderzoeken in Bijlage V.3 en worden de verschillende grondlagen en de effecten hiervan uitgelegd. Samengevat is deze dijk een standaard rivierdijk, hoe deze ook vaak wordt weergegeven. Een grasdijk, met een toplaag van klei, een kern van zand en dit dijklichaam staat eerst op een dik pakket klei waarna de diepere lagen voornamelijk zand bevatten. Al deze objecten, waardes en onderzoeken hebben effect op de bouwsteenkeuze en de uitwerking van deze mogelijke oplossingen.

5.3.1. Mogelijke bouwstenen

Met behulp van de bouwstenen kan er een oplossing worden ontworpen voor deze specifieke locatie en indien deze locatie vaker voorkomt (in ongeveer dezelfde vorm), kan deze oplossing vaker ingezet worden. De bouwstenen van bekleding, piping, overslag en stabiliteit in Bijlage III.1,2,3,4 zullen gebruikt worden bij deze afweging van mogelijke bouwstenen. Eerst wordt er een simpele afweging gemaakt, in tabelvorm, met de bouwstenen die duidelijk niet kunnen. Hierna wordt een meer gedetailleerde Multi Criteria Analyse (MCA) opgesteld uit de overige bouwstenen (op basis van de MCA opzet van het waterschap, uitgelegd in Bijlage VI.1). Het volledige keuze en MCA proces is weergegeven in Bijlage VI.4. Na de MCA blijven er een aantal bouwstenen over die kansrijk zijn op deze locatie, deze bouwstenen zullen verder uitgewerkt worden op deze maatwerklocatie, met de focus op de afmetingen en berekeningen. Ook is in deze MCA bij Nilantsweg 90 een kolom aangemaakt met Meekoppelkansen. Deze zijn hier van groot belang aangezien het meekoppelen van verschillende oplossingen bestrijding van meerdere faalmechanismen kan combineren. Zodra dit niet gebeurt zal er bij elk faalmechanisme een oplossing bedacht moeten worden en moeten er vier oplossingen in dezelfde dijk geplaatst worden. Echter zijn er door de vele faalmechanismen die er spelen ook veel opties over waarbij veel scores dicht bij elkaar liggen. Hierom is er een kleinere tabel gecreëerd waar de bouwstenen die een te lage score hadden of een middelmatig lage tot middelmatige score hadden en geen meekoppeling kansen hadden uitgefilterd zijn. Naast deze meekoppelingen wordt er ook een tweede blik geworpen op de alternatieve oplossingen, waaruit blijkt dat een asverschuiving op deze locatie (kansrijk alternatief Da) een goede mogelijkheid is. Dit komt doordat alle bouwstenen in de MCA proberen de dijk te vermijden met aangepaste of buitendijkse oplossingen. Deze aanpassingen en specifieke bouwstenen zijn redelijk prijzig, net als een asverschuiving. Een asverschuiving komt daarom net zoveel in aanmerking als een combinatie van bouwstenen.

Bouwsteen	Meekoppeling	Totaal
Gewicht	-	
Piping		
1. Klei-ingraving	Aansluiten kleibekleding & overslagbestigere dijk	47
2. Cementeren bovenlaag	Nee	35
3. Damwand	Stabiliteit, Overslag	37
4. VZG	Nee	36
5. Kunststof damwand	Stabiliteit	21
6. Grofzand barrière	Nee	28
Stabiliteit		
1. Taludverzwaring	Nee	28
2. Licht ophoog materiaal	Nee	27
3.1. Damwand	Piping	37
3.2. Palenrij	Nee	41
4. Kistdam / Diepwand	Piping, Overslag	34
5. Diepwand baretten	Overslag	40
6. CSM	Piping, Overslag	40
Overslag		
1. Dijkophogen in grond	Tegelijk met andere grondoplossingen	42
2. Permanente beweegbare kering	Nee	31
3. Tuimelkade in grond	Tegelijk met andere grondoplossingen	45
4. Tuimelkade constructie	Nee	31
5. Overslagbestendige dijk	Aansluiten klei-ingraving & kleibekleding	26
6. Taludverflauwing buitendijks	Bekleding, + Additionele Overslagbouwsteen	32
7. Taludverruwing buitendijks	Bekleding, Aansluiten op binnendijkse verruwing	29
8. Natuur op het voorland	Bekleding, + Natuur op aansluitend traject	31
Bekleding		
1. Kleibekleding	Aansluiten overslagbestendige dijk & kleibekleding	49
2. Harde bekleding	Nee	32
3. Cementeren buitentalud	Nee	28
4. Verflaauwen talud	Overslag	46
5. Taludverruwing buitendijks	Nee	29
6. Natuur op het voorland	Overslag, + Natuur op aansluitend traject	31

Tabel 10 MCA resultaten "Nilantsweg 90"

Bouwsteen	Score	Piping	Stabiliteit	Overslag	Bekleding	Meekoppeling met een andere bouwsteen
Klei-ingraving	47	Ja	Nee	Nee	Nee	Kleibekleding
Damwand	37	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee
Kistdam/Diepwand	34	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee
CSM	40	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee
Diepwand baretten	40	Nee	Ja	Ja	Nee	Nee
Palenrij	41	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee
Dijk ophogen in grond	42	Nee	Nee	Ja	Nee	Nee
Tuimelkade in grond	45	Nee	Nee	Ja	Nee	Nee
Talud verflaauwen	32 / 46	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee
Taludverruwing	29	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee
Kleibekleding	49	Nee	Nee	Nee	Ja	Klei-ingraving
Harde bekleding	32	Nee	Nee	Nee	Ja	Nee

■ Mogelijke oplossing 1
■ Mogelijke oplossing 2
■ Mogelijke oplossing 3

Tabel 9 Gefilterde uitkomst MCA tabel

Tabel 9 geeft deze tabel weer en uit deze tabel kunnen meerdere bouwstenen gecombineerd worden tot een kansrijke maatwerkoplossing die een oplossing voor alle faalmechanismen omvat. Gekozen (logische) combinaties zijn:

1. Klei-ingraving + kleibekleding + Diepwand baretten + Diepwand kop. (KKDD) (rood, Tabel 9)
2. Taludverflauwing + binnendijks ophogen + damwand in het binnentalud. (VBOD) (blauw, Tabel 9)
3. CSM (zelfkerend) + extra grond ophoging (om de kop de verbergen). (CSMO) (geel, Tabel 9)
4. Asverschuiving (+ talud verflauwing + grondophoging). (ATO)

Deze maatwerkoplossingen zijn in Bijlage VII.3 geschetst in het dwarsprofiel van de dijk op deze locatie

5.3.2. Uitwerking oplossingen

Voor de berekeningen van de oplossingen is gebruik gemaakt van doorsnede 3524 op hectometer 4587, weergegeven in Bijlage IV.3. Uit dit dwarsprofiel zijn de gegevens voor de berekeningen onttrokken. De stabiliteitsberekeningen in dit onderzoek zijn niet uitgevoerd, gezien de beperkte omvang van dit onderzoek. De stabiliteitsberekeningen zouden de overige afmetingen van de oplossingen aanvullen, echter zullen deze nu weggelaten worden, waardoor sommige oplossingen een aantal bouwstenen missen in het uitwerkingshoofdstuk.

5.3.2.1. KKDD

De klei-ingraving buitendijks maakt gebruik van een slappe klei met erosiebestendigheid 3 (weinig erosiebestendig). De klei-ingraving is berekend op dezelfde manier als de “Verzwaarde bodem + horizontaal geotextiel filter” op basis van de pipingregels van Sellmeijer. De berekeningen zijn weergegeven in Bijlage VIII,1. Op de helft van deze maatwerklocatie is een 70 meter klei-ingraving nodig om het horizontale kwelwegtekort aan te vullen (zuidelijk deel). Op de andere helft (noordelijk deel) is slechts een klei-ingraving van 30 meter nodig, echter zal het overgangsgebied van de 70 m naar 30 m klei-ingraving over een dijk lengte van 50m buiten de trajectgrenzen pas aansluiten op de 30 m klei-ingraving, hierdoor is de ingravingslengte op het noordelijke deel tussen de 70 en 30 meter.

Kleibekleding zal op deze locatie dezelfde diktes hebben, echter bevindt zich op deze maatwerklocatie bebouwing in het talud van de dijk. Hierom zal de kleibekleding tot aan het huis geplaatst worden waarna er bij de aansluiting op het huis gebruikt gemaakt wordt van een zwaardere kleisoort en een dikkere laag klei, of van gasbeton, zodat er bij het huis geen grote waterpartijen concentreren die het huis beschadigen, indien overslag plaatsvindt.

De diepwand baretten zijn niet doorgerekend aangezien dit enkel een stabiliteitsberekening is.

De diepwand kop zorgt in deze oplossing voor de additionele hoogte om het overslag faalmechanisme tegen te gaan. Met behulp van het onderzoeksrapport van WDOD naar de “ontwerp opgave hoogte” (Nije Bijvank, 2018) is de benodigde verhoging op deze locatie uit gerekend. Aan de hand van het maatgevend hoogwater (MHW) en de overslagdebieten (1 l/s/m en 10 l/s/m) is het hydraulisch belasting niveau (HBN) uitgerekend, wat de uiteindelijke verhogingshoeveelheden bepaald. De berekeningen zijn weergegeven in Bijlage VIII,2. De diepwandkop krijgt een hoogte van 1,44m (dit maakt de totale dijkhoogte: 6,20 m boven NAP).

5.3.2.2. VBOD

De afmetingen van de damwand op deze locatie zijn op dezelfde manier berekend als bij maatwerklocatie “Het Surf gat”. De berekeningen zijn weergegeven in Bijlage VIII,1. Bij deze locatie

bevindt zich een klei deklaag met hieronder een zandlaag waar de piping zich in bevindt. De damwand wordt 9,19 meter lang en zal zich in de grond vestigen van 3,90 m boven NAP (20cm onder de grasmat) tot 5,29 m onder NAP (zandlaag van "Formatie van Boxtel"). De stabiliteit die de damwand met zich meebrengt op de stabiliteitsopgave tegen te gaan is in dit onderzoek niet doorgerekend.

Het buitentalud verflauwen en het binnendijs ophogen gaan hier gepaard aangezien ze elkaar versterken. Beide bouwstenen worden berekend zoals dit bij de diepwandkop van de KKDD is genoemd. Echter bij deze oplossing zal de taludverflauwing een deel van de hoogte op zich nemen door energie te onttrekken uit de golven zodra ze een flauwer talud moeten beklimmen. De berekeningen staan in Bijlage VIII,3, waarbij de taludverflauwing een ophoging met 0,81 m verlaagd. En de ophoging hierdoor nog maar 0,63 m bevat. Dit zal de uiteindelijke dijkhoogte op 5,39 m boven NAP brengen.

De kleibekleding in de taludverflauwing volgt de regels uit Bijlage VIII,3 waarbij de originele kleidikte van de kleibekleding afneemt met 20 cm. Wat leidt tot een kleibekleding van 0,8 meter op de kruin en bij de buitendijkteen 1,8 meter met de overgang tussen deze twee diktes op het talud. De kleibekleding zal rond het huis op dezelfde wijze geïmplementeerd worden als bij de KKDD.

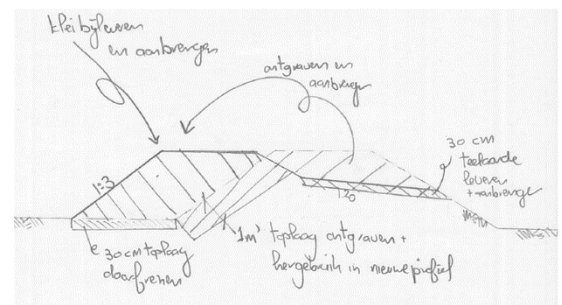
5.3.2.3. CSMO

De CSM is een zelfkerende constructie die op deze locatie piping, hoogte, stabiliteit en bekleding tegen gaat. De lengte van de CSM wand bestaat uit twee delen, de diepte van de CSM wand is berekend via het pipingprobleem, op dezelfde wijze als de CSM wand bij De Oude IJsselgeul en de hoogte boven het originele dijkprofiel uit is berekend met behulp van de hoogteopgave, op dezelfde wijze als de diepwandkop bij de KKDD. De berekeningen staan in Bijlage VIII,1,2. Hierbij is de totale lengte van de CSM wand met extensie 14 meter en is het onderste punt van deze wand gesitueerd op 6,89 m onder NAP in een draagkrachtige zandlaag. Deze CSM wand steekt dan 1,44 meter uit de dijk.

Om deze uitstekende kop van de CSM wand te verbergen zal er bij deze oplossing een grondaanvulling plaatsvinden in de vorm van de dijk, met het huidige 1:3 talud en een platte kruin 10cm hoger dan de bovenkant van de CSM. Hierbij zal de extra verhoging 1,54 m hoogte aan grond toevoegen waardoor de nieuwe totale dijkhoogte 6,30 m boven NAP zal zijn.

5.3.2.4. ATO

De asverschuiving zal plaatsvinden zoals besproken in (Frakking, 2018), waarbij de kruin wordt afgegraven en de dijk naar het buitendijkse voorland verplaatst (figuur ...). De nog bestaande halve dijk wordt gezien als stabiliteitsberm van de nieuwe dijk. Bij deze locatie zal deze stabiliteitsberm deels het land naast het huis zijn. Deze berm krijgt een talud van 1:20, het buitentalud volgt de regels van de taludverflauwing besproken in vorige oplossingen, waarbij het buitentalud een 1:5 talud wordt. De dijk wordt daarnaast ook verhoogt op dezelfde manier als de vorige dijkophoging, taludverflauwing combinaties waarbij de dijk in totaal een hoogte krijgt van 5,39 m boven NAP (0,81m afname door verflauwing, 0,63 door grondophoging. Daarnaast zal de bekleding op de verplaatste dijk de regels volgen van de eerder benoemde kleibekleding bij een taludverflauwing, wat neerkomt op een kleibekleding van 0,8 meter op de kruin en bij de buitendijkteen 1,8 meter met de overgang tussen deze twee diktes op het talud. De kleibekleding zal rond het huis op dezelfde wijze geïmplementeerd worden als bij de KKDD.



Figuur 18 Buitendijkse asverschuiving
Bron: (Frakking, 2018)

6. Conclusie

Het doel van het onderzoek was om de haalbaarheid van de kansrijke alternatieven te bepalen op locaties waar zich dijkobjecten bevinden en om knelpuntlocaties die hieruit voortkwamen op te lossen met behulp van maatwerkoplossingen. Om tot de antwoorden van deze hoofdvraag te komen waren onderzoeksvragen opgesteld in het begin van dit onderzoek. Deze onderzoeksvragen zijn gedurende het onderzoek beantwoord en alle antwoorden op deze vragen vormen deze conclusie.

De haalbaarheidsstudie mondde uit op een hoeveelheid van 144 dijkobjecten die knelpunten vormen op het traject Zwolle – Olst. De dijkobjecten die knelpunten vormen bestrijken 25% van het totale traject en daarvan is het meest voorkomende knelpunttype “Leef- en werkomgeving”. De relevantie en percentages van dit knelpunttype staan samen met de andere knelpunttypes in Tabel 11. Op het totale traject is de haalbaarheid van alle kansrijke alternatieven bij elkaar maar 25%, dit komt doordat de verschillende kansrijke alternatieven verschillende oplossingen geven (binnen- en buitendijks) en hierdoor met elk object knellen. Hierom zijn de kansrijke alternatieven gesplitst en is de haalbaarheid berekend per kansrijk alternatief op het totale traject. Deze percentages staan in Tabel 12.

Het maatwerklocatierapport toont de drie uitgekozen maatwerklocaties verkregen uit de haalbaarheidsstudie. Deze maatwerklocaties zijn gekozen naar het meest voorkomende type knelpunt op dit traject waardoor de maatwerkoplossing op deze locaties ook gebruikt kunnen worden op andere maatwerklocaties met hetzelfde type, dit maakt het onderzoek erg bruikbaar voor het overkoepelende project IJsseldijk Zwolle - Olst. De mogelijke oplossingen op deze locaties zijn verkregen uit een MCA afweging met de criteria Kosten, Techniek en Omgeving. Deze criteria omvatten alle punten waaraan gedacht moet worden bij het ontwerpen van een oplossing voor een waterkering: hoeveel gaat het kosten? / is het financieerbaar?, is de techniek te beheren, uitvoerbaar en betrouwbaar genoeg om deze oplossing te implementeren? en hoe erg schaadt of bevoordeeld deze oplossing de omgeving zoals natuur, omwonenden en dagelijkse gebruikers? Hieruit kwamen de meest geschikte oplossingen en deze meest geschikte mogelijke oplossingen voor de maatwerklocaties en hun maatgevende afmetingen voor het tegengaan van faalmechanismen zijn weergegeven in Figuur 19.

Objecttype	Relevantie	Hoeveelheid knelpunten	% totale hoeveelheid knelpunten	% hoeveel van de knelpunten snijdt met:				
				a	b	c	d	e
Leef- en werkomgeving	Hoog	56	38	7%	66%	45%	43%	0%
Vervoerspad	Middel	30	21	7%	77%	33%	33%	0%
Kunstwerken	Laag	20	15	25%	95%	30%	20%	0%
Waterlichaam	Middelhoog	17	13	0%	71%	76%	76%	0%
Natuurgebied & Waterlichaam	Middelhoog	6	4	0%	100%	67%	50%	0%
Natuurgebied	Middelhoog	5	3	20%	60%	80%	60%	0%
Recreatie	Laag	4	3	0%	0%	25%	25%	0%
Kering	Middellaag	3	2	0%	33%	0%	0%	67%
Historisch object	Hoog	2	1	0%	50%	0%	0%	0%

Tabel 11 Knelpunt informatie

Alternatief	Hm	Haalbaarheid
A	2570	96%
B	930	35%
C	1450	54%
D	1740	65%
E	2680	100%
ABCDE	660	25%
Totale traject	2680	

Tabel 12 Haalbaarheid kansrijke alternatieven

Locatie	Oplossing	Afmetingen	
		Lengte/hoogte (m)	Dikte (m)
Het Surfgat	Damwand	4,32	damwandprofiel
	Verticaal zanddicht geotextiel (VZG)	8	standaarddikte
	Grofzand barrière	8	-
	Kleibekleding	-	1 (kruin) - 2 (dijktenen)
De Oude IJsselgeul	Damwand	5,41	damwandprofiel
	Cutter Soil Mix wand (CSM)	11	-
	Verzwaren waterbodem & horizontaal geotextiel	32,33 aan beide kanten	-
	Kleibekleding	-	1 (kruin) - 2 (dijktenen)
Nilantweg 90	Klei-ingraving + Kleibekleding + Diepwand baretten + Diepwandkop	Klei-ingraving	70 - ±40
		Kleibekleding	-
		Diepwand baretten	-
		Diepwandkop	1,44
	Taludverflauwing + binnendijks ophogen + damwand in het binnentalud	Taludverflauwing	0,81 vermindering
		Binnendijks ophogen	0,63
		Damwand	9,19
		Kleibekleding	-
		Cutter Soil Mix wand + extra grond ophogen	1,44
		Grondophoging	1,54
Asverschuiving + talud verflauwen + grond ophoging	Taludverflauwing	0,81 vermindering	
	Grondophoging	0,63	
	Kleibekleding	-	
		0,8 (kruin) - (1,8) dijktenen	

Figuur 19 Afmetingen mogelijke maatwerkoplossingen

Al deze informatie samen vormt het eindresultaat. Alle keuzes die in dit verslag zijn gemaakt, zijn gemaakt zonder voorkeur en en alle afweging gaven meerdere uitkomsten en daardoor zijn er meerdere kansrijke maatwerkoplossingen per maatwerklocatie. Hiermee is een rapport opgesteld dat een advies vormt, een advies dat het WDOD als bijlage kan toevoegen aan het hoofd rapport van deze eerste slag in het ontwerpproces van het project. Hiermee kan dan een indicatie worden gegeven hoe de mogelijke oplossingen eruit komen te zien en wat voor een keuzeproces de mogelijke oplossingen ondergaan. Daarnaast is dit onderzoek bruikbaar voor het WDOD aangezien ze, met behulp van bijvoorbeeld de bouwsteen uitleg, nieuwe inspiratie op kunnen doen voor maatwerkoplossingen, innovatieve ideeën of mogelijke pilots.

7. Discussie

Bij een onderzoek in het algemeen worden er bijna altijd aannames gemaakt, is de juistheid en sterkte van bronnen niet altijd bekend en worden bepaalde berekeningen versimpeld om zo binnen de tijdspanne van de opdracht te blijven zonder al te veel slechte gevolgen te creëren. In dit hoofdstuk worden deze acties voor dit specifieke onderzoek aan het licht gebracht, om zo meer inzicht te verkrijgen in hoe dit onderzoek in elkaar zit en waar op gelet moet worden bij de uitkomsten. Dit hoofdstuk volgt de chronologische volgorde van het onderzoek.

De inventarisatie van dijkobjecten is grote veranderingen ondergaan temidden het onderzoek waardoor er veel objecten en karakteristieken zijn toegevoegd. De analyses zoals de ruimte analyse en de faalmechanisme analyse zijn daarentegen is niet aangepast naar deze veranderingen. De nieuw toegevoegde objecten die geen ruimte- of faalmechanisme analyse hebben ondervonden zijn bekeken en is over gespeculeerd voor het eindschema maar zijn uiteindelijk niet meer toegevoegd aan de analyse-sheets door de tijdverdeling van dit onderzoek.

De aangeleverde in GIS-getekende alternatieven zijn erg hoekig en blokkig over lengtes van 1 tot 100+ meter. Als voorbeeld wordt hier een klei-ingraving van 100 meter lengte genomen, naast een klei-ingraving van 10 meter lengte. Een dijkobject zoals een huis die voor de 10 meter en naast de 100 meter klei-ingraving ligt, snijdt deze klei-ingraving niet. Echter worden deze twee klei-ingravingen in realiteit niet op deze manier aangelegd, maar is er een overgangsgebied. Deze overgang snijdt in principe het dijkobject wel. Om deze reden worden enkele dijkobjecten meegenomen die in analyses geen raakvlakken lijken te hebben.

Aan het eind van dit onderzoek liep dit onderzoek voor op het project IJsseldijk Zwolle-Olst. Hierdoor waren niet voor alle vragen volledige antwoorden beschikbaar aangezien hier in het project nog geen onderzoek naar gedaan was. Hierdoor was er geen kennis beschikbaar over bepaalde vragen zoals hoeveel een bepaalde implementatie van een oplossing zou gaan kosten en hoeveel impact dit zou hebben op de omwonenden of de natuur. Hierom zal dit verslag niet veel kwantitatieve cijfers laten zien, maar voornamelijk omschrijvende woorden.

Bij het berekenen van de afmetingen van de meest geschikte oplossingen is gebruik gemaakt van bekende formules, rekenregels, uitgevoerde berekeningen door het Waterschap en het overnemen van aannames. Veel van deze berekeningen, zelfs deze uitgevoerd door het Waterschap, bevatten onnauwkeurigheden. Bij de bekende formules is dat het gebruik van aannames op nog niet in detail onderzochte grondlagen, bij de rekenregels is dit het versimpelen van sommige parameters, bij de berekeningen van het Waterschap zijn dit de versimpelde berekeningen en nog niet in detail

onderzochte parameters, aangezien ze nog in het tweede deel van de verkenningsfase zitten en bij het overnemen zijn het de aannames gebaseerd op kennis van de expert (die ook onnauwkeurig kan zijn).

8. Aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden op basis van de onderzoeksvragen, de resultaten van het onderzoek en de discussie een aantal aanbevelingen geformuleerd. Deze aanbevelingen zullen adviezen zijn voor de tweede ontwerpstag in het project waar de bestanden van dit onderzoek een rol in spelen.

In dit verslag is gebruik gemaakt van een haalbaarheidsstudie waaruit enkel drie locaties zijn gehaald om nader onderzocht te worden. Het gebruik van deze studie in het overkoepelende project op eenzelfde wijze als in dit verslag, kan het proces van inventariseren en analyseren van dijkobjecten versnellen en een opzet geven voor een MCA methode voor de keuze van mogelijke bouwstenen. Samengevat is gebruik van deze haalbaarheidsstudie voor keuzes in aanpassingsmogelijkheden, maatwerkoplossingen en complexe situaties is een van de belangrijkste punten in het gebruik van dit verslag voor verdere doeleinden.

Daarnaast is, zoals eerder vermeldt gebruik gemaakt van de oude faalmechanisme dijkvakken (in GIS) waarmee raakvlakken zijn gecreëerd. Deze dijkvakken zijn gemaakt met behulp van de kruin en de binnen- en buitenteen, echter waren deze niet altijd even goed gedefinieerd en hierdoor kloppen de dijkvakken en daardoor de raakvlakken niet precies en kan de beschikbare ruimte afwijken. Verder zijn insgelijks de dijkobjecten (in GIS) niet gedetailleerd genoeg en zorgen ook voor enige afwijking in de beschikbare ruimte analyse. Om de ruimte-analyse preciezer uit te voeren zal er eerst gekeken moeten worden naar de locatie van de dijktenen en –kruin en deze gedetailleerder invoeren en zullen de dijkobjecten preciezer gedefinieerd moeten worden.

Bij het ontwerpen van de mogelijke oplossingen is gebruik gemaakt van bouwstenen die na de MCA het meest geschikt bleken in vergelijking met de andere mogelijke oplossingen. Bij deze MCA is gebruik gemaakt van scores op basis van de informatie verkregen uit het vooronderzoek van de bouwstenen, echter zijn deze scores ook deels gebaseerd op de specifieke locatie en hierdoor gebaseerd op eigen mening. De kennis van een geheel projectteam met experts op het gebied van deze bouwstenen zullen een meer realistische waardebeoordeling hebben en hierom moet er goed gediscussieerd worden over dit onderwerp om een MCA keuze voor mogelijke oplossingen te vergemakkelijken.

Bij de berekeningen van de afmetingen van de mogelijke oplossingen zijn ten eerste de stabiliteitsberekeningen niet uitgevoerd, die de helft van de parameters bepalen. Bij een verder onderzoek waarbij dit verslag gebruikt wordt moet hier nader naar gekeken worden. Daarnaast zijn er bij de berekeningen die wel zijn uitgevoerd een heel aantal aannames gedaan, deels gebaseerd op de berekeningen van het Waterschap en deels gebaseerd op expertkennis. Voor een voortbouw op dit verslag moet er grondig gekeken worden naar deze berekeningen en de bijbehorende aannames.

9. Verwijzingen

- Actueel Hoogtebestand Nederland. (2016). *Salland AHN3 50cm grid*. Rijksoverheid, Provincies & Waterschappen, Amersfoort, Utrecht, Nederland.
- Baede, A. (2003). *Klimaatverandering in Nederland*. Utrecht.
- Bergsma, E., Busher, C., & Schalkwijk, B. (2016). *Systematieken in gebiedsprocessen*. BTO, Management & Governance. Nieuwegein: KWR.
- Boskalis. (2015). *Pilot Verticaal Zanddicht Geotextiel*. Opgehaald van Boskalis: <https://nederland.boskalis.com/projecten/rivieren-dijken/project/pilot-verticaal-zanddicht-geotextiel.html>
- Buuren, A. v., Ellen, G. J., Leeuwen, C. v., & Popering-Verkerk, J. v. (2015). *Die het water deert die het water keert*. Erasmus Universiteit Rotterdam & Deltares.
- CROW. (2010). *Deelhoofdstuk 22.4 - Licht ophoogmateriaal*. Ede: CROW.
- CROW. (2012). *Multicriteria-analyse (MCA)*. KpVV. CROW.
- De Beeldbank. (1986). Zeeland, kistdam op dijk. *Bescherming tegen water*. Rijkswaterstaat, Zeeland, Nederland. Opgehaald van <https://beeldbank.rws.nl/MediaObject/Details/330097>
- de Groot, A.-G. (2006). Veiligheidsprobleem kruinhoogte. *Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen (VKV)*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Nederland.
- de Vree, J. (sd). *Granulaatmatras door geogrids met daartussen granulaat*. Nederland.
- de Vries, M., & Dekker, F. (2009). *Ontwerp groene golfremmende dijk Fort Steurgat bij Werkendam*. Verkennende studie, Deltares, Delft.
- Deltafact. (2014, September 29). *Deltaproof*. Opgehaald van Nieuwe normering van waterveiligheid: http://deltaproof.stowa.nl/pdf/Nieuwe_normering_van_waterveiligheid?rld=64
- Dijk, M. v., & Plicht, N. v. (2013). *Veiligheid Nederland in Kaart 2, Overstromingsrisico dijkkringgebied 53, Salland*. Consortium DOT.
- (2015). *Dijkversterking zonder ruimtebeslag*. Movares, Heijmans, De Vries & van de Wiel. Opgehaald van Waterontspanner: <https://waterontspanner.nl/>
- Drents Overijsselse Delta. (2018). *Het verhaal van de dijk tussen Zwolle en Olst*. Zwolle.
- Dronkers, J. H. (2017). *Grof zand moet dijk beschermen*. Deltares, Delft.
- Exterkate, T., Frieling, J., Kempenaar, A., Lieverse, T., Wildeman, R., & van der Wildt, N. (2017). *A Multifunctional Flood Defence for the future village of Reeve*. Universiteit Twente, DesignLab, Smart Cities Projecten. Enschede: UT.
- (2018). *Faalmechanismen Ontwerp*. Waterschap Drents Overijsselse Delta, Zwolle, Overijssel, Nederland.
- Forster, U., Ham, G. v., Calle, E., & Kruse, G. (2012). *Zandmeevoerende Wellen*. Deltares.

- Frakking, J. (2018). *Onderbouwing dimensies maatregelen als bouwsteen binnen de kansrijke alternatieven*. Waterschap Drents Overijsselse Delta, Zwolle.
- Franken, R., Minnen, J. v., & Ligtoet, W. (2012). *The effects of Climate Change in the Netherlands: 2012*. Den Haag: PBL.
- Franki Grondtechnieken. (2009). *Business units & technieken*. Opgehaald van Cutter Soil Mix wand (CSM wand): [http://www.franki-grondtechnieken.nl/Referenties/Retaining-Walls---Utilities/Referenties-Cutter-Soil-Mix-wand-\(CSM-wand\).aspx](http://www.franki-grondtechnieken.nl/Referenties/Retaining-Walls---Utilities/Referenties-Cutter-Soil-Mix-wand-(CSM-wand).aspx)
- Franki Grondtechnieken. (sd). *Cutter soil mix frees*. Franki Grondtechnieken, Barendrecht.
- Galema, A., de Jong, R., Pruis, K., & Wisse, A. (2006). *Golfoverslag en sterkte binnentalud bij dijken*. Raak2.
- Gestel, J. v., & Trul, H. (2013). *De Werkmethode Tegen Piping*. Hogeschool van Hall Larenstein, Opheusden.
- Groenewoude, M. (2014). *Bouwstenen voor het versterken van een dijk*. Waterschap Rivierenland. Gorinchem-Waardenburg: Waterschap Rivierenland.
- Hatek Groep. (sd). *Drainage en Infiltratie*. Opgehaald van Drenotube: <https://www.drenotube.nl/drenotube/>
- HDDW. (2013). *Het DMC-systeem uitgelegd*. Opgehaald van HDDW: <http://www.hddw.nl/kennis/blog/het-dmc-systeem-uitgelegd/>
- Infram. (2016). *Innovatieve oplossingen kruinhoogtetekort*. In opdracht van Waterschap Rivierenland, Water. Maarn: Waterschap Rivierenland.
- IPM-Techniek. (2016). *Nadere analyse veiligheids-probleem*. Waterschap Drents Overijsselse Delta.
- Jaspers, H., Leeuwis, L., de Krijger, R., & Bergstra, E. (2015). *Programma van eisen Rijke Dijk*. Grontmij. Groningen: Waterschap Noorderzijlvest.
- Johanson, J. (1990). *Voor- en nadelen van een dijkverbetering met behulp van een tuimelkade*. Dienst Weg-en Waterbouwkunde, Advies. Ministerie van verkeer en waterstaat.
- Kok, M., Jongejan, R., Nieuwjaar, M., & Tanczos, I. (2016). *Grondslagen voor hoogwaterbescherming*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu en Expertisenetwerk Waterveiligheid.
- Kok, M., Jongejan, R., Nieuwjaar, M., & Tanczos, I. (2017). *Grondslagen voor hoogwaterbescherming*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu en Expertisenetwerk Waterveiligheid.
- Krewinkel, B. (2018). *Hydraulisch Belastings Niveau (HBN) Zwolle-Olst 2075 IJsseldelta*. Excelbestand, Waterschap Drents Overijsselse Delta, Projectrealisatie, Zwolle.
- Krewinkel, B. (2018). *Invloed helling buitentalud bij Spoolde (Zwolle-Olst)*. Memo, Waterschap Drents Overijsselse Delta, Projectrealisatie, Zwolle.
- Krol, M., & van Zundert, E. (2018). *Afwegingskader zeef 2 Zwolle-Olst*. Waterschap Drents Overijsselse Delta, Projectrealisatie. Zwolle: WDOD.

- Kuipers, J., Willekens, M., Straten, A. v., Bisschop, C., Vink, R., & Berg, R. v. (2011). *Projectplan dijkverbetering Diefdijklinie*. Waterschap Rivierenland. Arnhem: Grontmij Nederland.
- Lammers, J. (2018). *Overslagbestendige dijk*. POV Waddenzeedijken, Programmteam.
- Maurits van Dijk. (2018). *Onderbouwing noodzaak HWBP-project Zwolle-Olst*. Zwolle: Waterschap Drents Overijsselse Delta (WDOD).
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2018). *Waterwet*. Wet, Rijksoverheid, Milieu, ruimte en water.
- Molhoek. (2016). *Gewapende grond in Suriname*. Strukton.
- Municipality of Zwolle. (2015). *Bestemmingsplan Zwolle-zuidwest, Zwarteweg 26*. Opgehaald van Gemeente Zwolle: https://www.planviewer.nl/imro/files/NL.IMRO.0193.BP14015-0003/t_NL.IMRO.0193.BP14015-0003.html
- Nederlands Normalisatie-instituut. (2013). *NEN 9997-1+C1:2012, sectie 2.4.5.2, tabel 2b, Karakteristieke waarden van grondeigenschappen*. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.
- Nije Bijvank, M. (2018). *Achtergrondrapport verkenning ontwerpogave hoogte*. Onderzoeksrapport v1.2, Waterschap Drents Overijsselse Delta, Projectrealisatie, Zwolle.
- Nije Bijvank, M. (2018). *STPH Zwolle-Olst 2075*. Waterschap Drents Overijsselse Delta, Projectrealisatie, Zwolle.
- Oosting, M. (2018, Januari). *Kansrijke alternatieven Ontwerp 0.1. T0.1 na oplevering*. Zwolle, Overijssel, Nederland.
- PBL, R.-W. (2010). *Correctie formulering over overstromingsrisico Nederland in IPCC-rapport*. Opgehaald van Planbureau voor de Leefomgeving: <http://www.pbl.nl/dossiers/klimaatverandering/content/correctie-formulering-over-overstromingsrisico>
- Rijksoverheid. (2006). *Toetsing op veiligheid primaire waterkeringen*.
- Rijksoverheid. (2017). *Wet natuurbescherming*. Advies. Raad van State.
- Rijksoverheid. (sd). *Natura 2000*. Opgehaald van Rijksoverheid, Natuur en Biodiversiteit: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/natuur-en-biodiversiteit/natura-2000>
- Royal HaskoningDHV. (2012). *Principeoplossingen voor de veiligheidsproblemen*. Amersfoort: Waterschap Hollandse Delta. Opgehaald van http://api.commissiener.nl/docs/mer/p23/p2367/2367-053mer_bijl6.pdf
- Royal HaskoningDHV. (2014). *Tekeningen van bouwstenen*.
- Royal HaskoningDHV. (sd). *Verzwarend of aanleg van een binnenberm. Project-milieu-effectrapportage (Project-mer)*. Nijmegen, Gelderland, Nederland.
- TAW. (1999). *Zandmeevoerende Wellen*. Delft.
- TAW. (2004). *Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken*. Delft.

- Technische Adviescommissie voor Waterkeringen. (1996). *Technisch rapport klei voor dijken*. Delft: TAW.
- van der Linde, A., & Verkerk, M. (2008). *Dijkversterkin Edam - Amsterdam*. DHV B.V. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.
- van der Linde, A., & Verkerk, M. (2008). *Startnotitie m.e.r. - Dijk versterking Edam - Amsterdam*. Royal HaskoningDHV. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.
- Van der Meer, J. (2002). *Technisch rapport Golfploop en Golfoverslag bij Dijken*. Technische Adviescommissie voor Waterkeringen (TAW). Delft: NIVO.
- van Duinen, A. (2014). *Macro-instabiliteit van een dijktaalud*. Deltares, Delft, Zuid-Holland, Nederland.
- van Zundert, E., Sedee, C., & Nije Bijvank, M. (2018). Varianten voor dijkverhoging. *Kansrijke Alternatieven IJsseldijk Zwolle - Olst*. Waterschap Drents Overijsselse Delta, Zwolle, Overijssel, Nederland.
- Verhoeven, J., Groen, B. d., Pabbruwee, K., Molen, M., Luchtenborg, A., Kos, G., . . . Lammens, M. (2017). *Ontwerp Projectplan Waterwet Versterking Markermeerdijken*. Hoogheemraad Waterveiligheid & Hollands Noorderkwartier.
- Viehofer, T., & Hergarden, I. (2015). *Dijkversterking primaire waterkering & Gebiedsontwikkeling Ooijen en Wanssum*. Royal Haskoning DHV. Projectbureau Ooijen en Wanssum.
- Volker Staal en Funderingen. (2005). *Ruimte voor de Lek*. Opgehaald van Volker Staal en Funderingen: <https://www.vsf.nl/nl/projecten/detail/dijkvernageling-lekdijk-vianen>
- VolkerWessels. (2013). *PlanetFit voor DijkMonitoring- en Conditioneringsysteem*. Opgehaald van VolkerWessels: <https://www.volkerwessels.com/nl/nieuws/detail/planetfit-voor-dijkmonitoring-en-conditioneringsysteem>
- Voogt, L. (2017, Februari 9). *Nieuwe dijkversterkingstechniek: Grofzand barriere*. Opgehaald van Deltares: <https://www.deltares.nl/nl/nieuws/nieuwe-dijkversterkingstechniek-gepresenteerd-grofzand-barriere/>
- Vree, J. d. (2007). *Grout*.
- Vree, J. d. (sd). *Beschrijving pipingproef IJkdijk*. Opgehaald van Website van Joost de Vree: <http://www.joostdevree.nl/shtmls/piping.shtml>
- Vree, J. d. (sd). *Waarom worden er verschillende constructies in de dijk aangebracht?* Opgehaald van Joost de Vree: http://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/jpga/afschuiven_6_constructies_tegen_faalmechanisme_www_dijkversterkingbas_nl.pdf
- Vrijling, J., Kok, M., Calle, E., Epema, W., Meer, M. v., Berg, P. v., & Sweckendiek, T. (2010). *Piping: Realiteit of Rekenfout?* Expertisenetwerk Waterveiligheid. 's-Hertogenbosch: ENW.
- (sd). *Waterkeringsplan*. Brummen. Opgehaald van Dijkverlegging Cortenoever: http://ruimtelijkeplannen.brummen.nl/ro/ro/NL.IMRO.0213.BPBG700004-/NL.IMRO.0213.BPBG700004-on01/t_NL.IMRO.0213.BPBG700004-on01_4.6.html

- Waterschap Drents Overijsselse Delta. (2017, Maart 3). ArcGis_10_Ecologie. Zwolle, Overijssel, Nederland.
- Waterschap Drents Overijsselse Delta. (2017). *Bodem factsheets deeltrajecten*. Projectrealisatie. Zwolle: WDOD.
- Waterschap Drents Overijsselse Delta. (2017). *Natuur factsheets deeltrajecten*. Projectrealisatie. Zwolle: WDOD.
- Waterschap Rivierenland. (2010, December 14). *Beleidsregels Keur Waterschap Rivierenland*. Opgehaald van Website van Waterschap Rivierenland:
<https://www.waterschaprivierenland.nl/cvdr/cvdr272537/Beleidsregels+Keur+Waterschap+Rivierenland.htm>
- Waterschap Rivierenland. (2015, September 25). *Mogelijke maatregelen voor faalmechanismen*. Tiel, Gelderland, Nederland.
- Willemsen, J. (2018). *Notitie Reikwijdte en Detailniveau*. Deventer: Waterschap Drents Overijsselse Delta & Witteveen+Bos.
- Zundert, E. v., Sedee, C., & Bijvank, M. N. (2018). *Kansrijke Alternatieven IJsseldijk Zwolle OIst*. Zwolle: Waterschap Drents Overijsselse Delta.

10. Bijlagen

Inhoudsopgave bijlagen

I. Excel sheets	46
1. Terminologie	46
2. Inventarisatie dijkobjecten	47
3. Ruimte analyse	50
4. Eindschema Haalbaarheidsstudie	54
II. Bouwstenen	57
1. Piping	57
1.1. Pipingberm	57
Klei-ingraving	58
1.2. Cementeren bovenlaag	58
1.3. Drainage: DMC, waterontspanner	58
1.4. Damwand	59
1.5. Verticaal zanddicht geotextiel (VZG)	59
1.6. Doorlatende kunststof damwand met filter	60
1.7. Grofzand barrière	60
1.8. Kwelsloten verleggen	60
1.9. Peilopzetten in de sloot	61
1.10. Verzwaren waterbodem & horizontaal waterbodem filter	61
2. Stabiliteit	62
2.1. Steunberm	62
2.2. Talud verflauwen	63
2.3. Damwand/palenrij	63
2.4. Draineren zandkern of berm	63
2.5. DMC/waterontspanner	64
2.6. Dijk vernageling	64
2.7. Dijk deels verlagen	64
2.8. Licht ophoog materiaal	65
2.9. Taludverzwaring (zetstenen)	65
2.10. Taludbogen	66
2.11. Kistdam / Diepwand	66
2.12. Diepwand baretten	67
2.13. Soil mix wand (CSM)	68
2.14. Verleggen kwelsloot	68
2.15. Verzwaren waterbodem	68
2.16. Ondoorlatend binnentalud door kleilaag	69
2.17. Gewapende grond	69
3. Overslag	70
3.1. Dijkophogen in grond	71
3.2. Tuimelkade (grond)	71

3.3.	Tuimelkade (constructie op de kruin)	72
3.4.	Beweegbare kering (permanent op de locatie aanwezig).....	72
3.5.	Taludverflauwing aan de binnendijkse zijde	72
3.6.	Overslagbestendigere dijk (huidig talud erosiebestendig maken).....	73
3.7.	Ondoorlatend binnentalud door kleilaag.....	73
3.8.	Taludverflauwing aan de buitendijkse zijde.....	73
3.9.	Taludverruwing (breuksteen etc. op buitentalud)	74
3.10.	Golf dempende maatregelen in het voorland: natuur	74
4.	Bekleding.....	75
4.1.	Kleibekleding.....	76
4.2.	Golfremmer: Taludverruwing	76
4.3.	Cementeren buitentalud.....	76
4.4.	Toepassen harde bekleding (Asfalt, Zetsteen, Stortsteen)	76
4.5.	Verflauwen talud.....	76
4.6.	Golfremmer: Uiterwaard natuur.....	76
III.	Detailrapport.....	77
1.	Maatwerklocatie "Surfgat"	77
1.1.	Buitendijks.....	77
1.2.	De kruin.....	78
1.3.	Binnendijks.....	78
1.4.	Locatiekeuze en verdere details.....	79
2.	Maatwerklocatie "Oude IJsselgeul"	80
2.1.	Buitendijks.....	80
2.2.	De kruin.....	82
2.3.	Binnendijks.....	82
2.4.	Locatiekeuze en verdere details.....	83
3.	Maatwerklocatie "Nilantweg 90"	84
3.1.	Buitendijks.....	84
3.2.	De kruin.....	85
3.3.	Binnendijks.....	85
3.4.	Verdere details.....	87
IV.	Dijkdoorsnedes	88
1.	Maatwerklocatie "Het Surfgat"	88
2.	Maatwerklocatie "De Oude IJsselgeul"	89
3.	Maatwerklocatie "Nilantweg 90"	90
V.	Grondonderzoeken.....	92
1.	Maatwerklocatie "Het Surfgat"	92
2.	Maatwerklocatie "De Oude IJsselgeul"	96
3.	Maatwerklocatie "Nilantweg 90"	100
VI.	Bouwsteenkeuze.....	103

1.	Opstelling Multi Criteria Analyse (MCA).....	103
2.	Maatwerklocatie “Het Surfgat”.....	104
3.	Maatwerklocatie “De Oude IJsselgeul”	108
4.	Maatwerklocatie “Nilantsweg 90”	113
VII.	Schetsen kansrijke maatwerkoplossingen	120
1.	Maatwerklocatie “Het Surfgat”.....	120
1.1.	Damwand + Kleibekleding	120
1.2.	Verticaal Zanddicht Geotextiel (VZG) + Kleibekleding	120
1.3.	Grofzand barrière + Kleibekleding	120
2.	Maatwerklocatie “De Oude IJsselgeul”	121
2.1.	Damwand + Kleibekleding	121
2.2.	Verzwaarde waterbodem + horizontaal VZG + Kleibekleding	121
2.3.	Cutter Soil Mix wand (CSM) (zelfkerend (geen bekleding nodig)).....	121
3.	Maatwerklocatie “Nilantsweg 90”	122
3.1.	Talud verflauwen + Binnendijks verhogen + Damwand	122
3.2.	Cutter Soil Mix wand (CSM) + extra laag zand.....	122
3.3.	Diepwand baretten + Uitstekende diepwand kop + Klei-ingraving + Kleibekleding.....	123
3.4.	Asverschuiving + Talud verflauwen + Damwand	123
VIII.	Berekeningen.....	124
1.	Piping	124
1.1.	Berekening Damwand	124
1.2.	Berekening Verticaal Zanddicht Geotextiel en Grofzand barrière.....	128
1.3.	Cutter Soil Mix wand (CSM).....	129
1.4.	Verzwaren waterbodem & horizontaal geotextiel	131
1.5.	Klei-ingraving	132
2.	Overslag	133
2.1.	Diepwandkop en CSM (extensie).....	133
2.2.	Taludverflauwen.....	134
2.3.	Grond ophoging.....	135
3.	Bekleding	136
3.1.	Kleibekleding	136
3.2.	Taludverflauwen.....	137
4.	Stabiliteit.....	137

I. Excel sheets

1. Terminologie

Alternatieven

"Mogelijk"

Het kansrijke alternatief in zijn geheel, zoals deze staat weergegeven in (Willemsen, 2018) en in Figuur 6, kan op deze locatie geïmplementeerd worden.

"Verleggen"

Het kansrijke alternatief in zijn geheel kan op de locatie geplaatst worden, mits een verlegging van een klein object plaatsvindt.

"Aansluitings-opgave"

Het kansrijke alternatief wordt onderbroken door een object in de dijk of aan de dijk vast, die zorgt voor de benodigde sterkte die het kansrijke alternatief anders zou moeten leveren. Aansluiten op dit dijkobject zal goed genoeg zijn, hierbij moet de aansluiting wel nauwkeurig worden uitgevoerd.

"Niet mogelijk"

Het kansrijke alternatief in zijn geheel, zonder enige aanpassingen of verplaatsingen, kan op de locatie niet geplaatst worden.

"Inpassing"

Het kansrijke alternatief in zijn geheel kan op deze locatie geïmplementeerd worden, mits deze kleine aanpassingen ondergaat waardoor het alternatief hetzelfde karakter behoudt maar andere dimensies krijgt.

"Maatwerk"

1. Op deze locatie kunnen alle kansrijke alternatieven in hun geheel niet geïmplementeerd worden. ("Ja")
2. Op deze locatie kan een of meerdere kansrijke alternatieven geïmplementeerd worden, mits er inpassing plaatsvindt, echter is dit mogelijk niet wenselijk ("Kansrijk", inpassing niet wenselijk)
3. Op deze locatie kunnen kansrijke alternatieven in hun geheel geïmplementeerd worden maar het traject waarover dit zal plaatsvinden is kort en er is een grote kans dat (met logische blik kijkend) het traject eromheen een andere oplossing zal krijgen. ("Kansrijk", kort traject)
4. Op deze locatie kunnen kansrijke alternatieven in hun geheel geïmplementeerd worden maar er is een niet veel voorkomend faalmechanisme aanwezig (stabiliteit of hoogte) waar de alternatieven nog niet op geanalyseerd zijn, die de locatie omtoveren in een lastig punt. ("Kansrijk", ...-opgave)

"Complexe situatie"

Dit is een locatie waar zich veel verschillende dijkobjecten bevinden, zowel binnen- als buitendijks, die conflicteren in mogelijk te implementeren of in te passen kansrijke alternatieven, waardoor in dit bestand elk object "Maatwerk" toegewezen krijgt en het volledige gebied een lastige opgave wordt.

Traject

DH = De Haere

DH2 = De Haere 2

OZ = Olst Zuid

OD = Olst Dorp

ON = Olst Noord

DN = Den Nul

DW = Duursche Waarden

WZ = Wijhe Zuid

WD = Wijhe Dorp

WN = Wijhe Noord

PH = Paddenpol Herxen

HD = Herxen Dorp

HT = Herxen Tichelgaten

HWN = Harculo en Windesheim Noord

CH = Centrale Harculo

SD = Schellerdijk

SO = Schellerdijk Oldeneel

SS = Schellerdijk Schellerwaede

SV = Schellerdijk Vitens

EW = Engelse Werk

KD = Katerveerdijk

KS = Katerveersluizen

SP = Spoolde

SP2 = Spoolde 2

SK = Spooldekanaal

Type

L&W omgeving = Leef- en werkomgeving

Locatie oriëntatie

bi = binnendijks

kr = kruin

bu = buitendijks

hd = hele dijk

Maatwerk

Ka = kansrijk

(kt) = kort traject

(lp) = lastig punt

(bp) = belangenpunt

(so) = stabiliteitsopgave

(ho) = hoogteopgave

(ing) = inpassing niet gewenst

2. Inventarisatie dijkobjecten

OBJECT ID (GIS)	SOORT KNELPUNT	OMSCHRIJVING (VERTROUWELIJKE INFORMATIE)	DIJKSECTIE (NAAM)	DIJKSECTIE (NUMMER)	LOOPT DOOR IN DIJKSECTIE	ALTERNATIE -VEN OP DIT TRAJECT	X-COORDINAAT	Y-COORDINAAT
1	Contextobject		DH	1.1		BCD	204.336.500.396.565.000.000	480.101.254.888.712.000.000
75	Kunstwerk		DH	1.1		BCD	204.297.709.296.388.000.000	480.217.204.738.243.000.000
121	Contextobject		DH	1.1		BCD	204.260.837.758.000.000.000	480.260.707.421.000.000.000
2	Contextobject		DH	1.1		BCD	204.164.246.192.152.000.000	480.548.387.317.422.000.000
3	Contextobject		DH	1.1		BCD	204.183.115.712.614.000.000	480.562.696.806.137.000.000
74	Kunstwerk		DH	1.1		BCD	204.194.887.053.860.000.000	480.651.015.724.670.000.000
120	Contextobject		DH	1.1		BCD	204.135.319.265.000.000.000	480.692.516.707.999.000.000
73	Kunstwerk		DH	1.1		BCD	204.168.408.134.350.000.000	480.706.360.544.568.000.000
122	Contextobject		DH	1.1		BCD	204.056.427.563.000.000.000	480.867.020.804.999.000.000
4	Contextobject		DH	1.1		BCD	204.008.702.821.764.000.000	480.997.659.324.910.000.000
123	Contextobject		DH	1.1		BCD	203.928.045.867.000.000.000	481.141.664.167.999.000.000
5	Contextobject		DH	1.1		BCD	203.843.779.535.681.000.000	481.316.891.744.871.000.000
107	Contextobject		DH2	1.2		BCD	203.579.614.321.000.000.000	481.624.404.153.000.000.000
6	Contextobject		DH2	1.2		BCD	203.674.990.607.692.000.000	481.664.463.035.368.000.000
72	Kunstwerk		DH2	1.2		BCD	203.747.104.782.803.000.000	481.924.674.598.167.000.000
7	Contextobject		DH2	1.2		BCD	203.667.350.588.924.000.000	482.098.793.309.735.000.000
108	Contextobject		DH2	1.2		BCD	203.585.363.824.000.000.000	482.100.853.207.000.000.000
109	Contextobject		DH2	1.2		BCD	203.510.995.922.000.000.000	482.211.587.797.000.000.000
71	Kunstwerk		DH2	1.2		BCD	203.652.886.804.442.000.000	482.332.954.493.025.000.000
70	Kunstwerk		DH2	1.2		BCD	203.657.373.389.539.000.000	482.340.644.265.711.000.000
110	Contextobject		DH2	1.2		BCD	203.553.923.567.000.000.000	482.400.162.190.000.000.000
8	Contextobject		OZ	2		BCD	203.700.749.981.744.000.000	482.713.677.436.215.000.000
111	Contextobject		OZ	2		BCD	203.703.703.878.000.000.000	482.768.614.834.000.000.000
9	Contextobject		OZ	2		BCD	203.766.687.765.877.000.000	482.928.716.777.541.000.000
69	Kunstwerk		OZ	2		BCD	203.768.705.739.341.000.000	482.978.884.540.462.000.000
68	Kunstwerk		OZ	2		BCD	203.786.074.136.452.000.000	483.026.103.724.900.000.000
67	Kunstwerk		OZ	2		BCD	203.726.189.772.889.000.000	483.042.446.995.156.000.000
10	Contextobject		OZ	2		BCD	203.873.197.633.158.000.000	483.181.872.947.355.000.000
66	Kunstwerk		OZ	2		BCD	203.820.277.147.726.000.000	483.226.249.689.945.000.000
131	Contextobject		OZ	2		BCD	203.811.815.050.000.000.000	483.252.131.544.000.000.000
11	Contextobject		OD	3		-	204.068.898.786.196.000.000	483.834.748.898.412.000.000
65	Kunstwerk		OD	3		-	204.125.849.539.992.000.000	483.961.691.410.572.000.000
12	Contextobject		OD	3		-	204.004.536.584.279.000.000	483.966.204.252.107.000.000
125	Contextobject		ON	4		BCD	204.193.107.481.000.000.000	484.395.300.624.000.000.000
13	Contextobject		ON	4		BCD	204.218.557.826.466.000.000	484.484.045.581.455.000.000
14	Contextobject		ON	4		BCD	204.235.835.725.045.000.000	484.605.237.363.635.000.000
15	Contextobject		ON	4		BCD	204.206.555.538.830.000.000	484.661.967.337.350.000.000
64	Kunstwerk		ON	4		BCD	204.166.751.812.981.000.000	484.670.484.261.841.000.000
63	Kunstwerk		ON	4		BCD	204.154.747.341.041.000.000	484.697.416.340.089.000.000
16	Contextobject		ON	4		BCD	204.251.247.150.471.000.000	484.852.785.162.536.000.000
126	Contextobject		ON	4		BCD	204.177.169.372.000.000.000	484.856.207.348.999.000.000
17	Contextobject		ON	4		BCD	204.125.391.515.046.000.000	485.171.182.168.454.000.000
19	Contextobject		ON	4		BCD	204.109.501.149.207.000.000	485.275.301.106.834.000.000
153	Contextobject		ON	4		BCD	204.028.925.619.035.000.000	485.283.480.958.046.000.000
18	Contextobject		ON	4		BCD	204.138.817.847.821.000.000	485.286.714.535.161.000.000
20	Contextobject		ON	4		BCD	204.139.211.256.727.000.000	485.492.046.714.954.000.000
127	Contextobject		ON	4		BCD	204.134.742.875.000.000.000	485.537.392.760.000.000.000
62	Kunstwerk		DN	5.1		BCD	204.125.498.587.535.000.000	485.577.136.359.318.000.000
22	Contextobject		DN	5.1		BCD	204.118.927.128.429.000.000	485.629.538.584.135.000.000
21	Contextobject		DN	5.1		BCD	204.018.174.783.245.000.000	485.710.360.354.624.000.000
23	Contextobject		DN	5.1		BCD	203.654.121.137.673.000.000	486.035.273.674.472.000.000
112	Contextobject		DN	5.1		BCD	203.510.501.015.000.000.000	486.098.327.124.000.000.000
24	Contextobject		DN	5.2		BCD	203.797.455.622.147.000.000	486.209.010.197.913.000.000
25	Contextobject		DN	5.2		BCD	204.169.556.666.670.000.000	486.623.522.333.338.000.000
26	Contextobject		DN	5.3		BE	204.234.841.671.619.000.000	486.958.796.548.566.000.000
128	Contextobject		DN - DW	5.3	6	ABE	204.641.234.786.999.000.000	487.131.756.979.000.000.000
61	Kunstwerk		DN	5.3		BE	204.630.692.903.722.000.000	487.132.587.694.974.000.000
60	Kunstwerk		DW	6		ABE	204.625.581.572.355.000.000	487.185.973.804.517.000.000
106	Contextobject		DW	6		ABE	204.626.276.713.000.000.000	487.223.788.200.000.000.000
105	Contextobject		DW	6		ABE	204.745.744.807.000.000.000	487.313.120.670.000.000.000
59	Kunstwerk		DW	6		ABE	204.631.536.135.137.000.000	487.414.619.346.400.000.000
58	Kunstwerk		DW	6		ABE	204.878.959.914.007.000.000	487.720.489.461.529.000.000
57	Kunstwerk		DW	6		ABE	204.988.333.003.615.000.000	487.792.778.563.328.000.000
27	Contextobject		DW	6		ABE	204.984.304.108.137.000.000	487.850.307.273.002.000.000
129	Contextobject		DW	6		ABE	205.326.174.166.000.000.000	487.977.754.071.999.000.000
56	Kunstwerk		DW	6		ABE	205.211.230.860.720.000.000	488.015.583.993.782.000.000
28	Contextobject		DW	6		ABE	205.272.293.819.729.000.000	488.227.989.660.012.000.000
130	Contextobject		DW - WZ	6	7.1	ABCDE	205.325.942.409.999.000.000	488.272.319.964.999.000.000

133	Contextobject	DW - WZ	6	7.1	ABCDE	205.231.152.127.999.000.000	488.298.949.316.999.000.000
53	Kunstwerk	WZ	7.1		BCD	205.360.448.351.754.000.000	488.299.756.204.812.000.000
55	Kunstwerk	WZ	7.1		BCD	205.368.376.049.315.000.000	488.316.107.999.997.000.000
54	Kunstwerk	WZ	7.1		BCD	205.371.316.828.776.000.000	488.321.459.896.939.000.000
132	Contextobject	WZ	7.1		BCD	205.450.341.554.999.000.000	488.664.218.150.999.000.000
52	Kunstwerk	WZ	7.1		BCD	205.484.629.581.947.000.000	488.759.783.881.780.000.000
51	Kunstwerk	WZ	7.1		BCD	205.500.796.698.476.000.000	488.825.766.779.114.000.000
50	Kunstwerk	WZ	7.1		BCD	205.516.779.497.444.000.000	488.855.624.851.480.000.000
29	Contextobject	WZ	7.1		BCD	205.515.728.985.153.000.000	488.855.930.227.313.000.000
49	Kunstwerk	WZ	7.1		BCD	205.531.157.498.122.000.000	488.900.640.659.853.000.000
48	Kunstwerk	WZ	7.1		BCD	205.538.291.038.330.000.000	488.933.602.999.995.000.000
47	Kunstwerk	WZ	7.1		BCD	205.541.875.406.716.000.000	488.946.903.599.708.000.000
30	Contextobject	WZ - WD	7.1	7.2	BCDE	205.408.337.037.755.000.000	488.952.142.124.778.000.000
45	Kunstwerk	WD	7.2		DE	205.533.980.869.879.000.000	489.036.904.535.313.000.000
32	Contextobject	WD	7.2		DE	205.420.269.103.974.000.000	489.046.305.058.163.000.000
43	Kunstwerk	WD	7.2		DE	205.527.910.399.618.000.000	489.143.913.022.059.000.000
42	Kunstwerk	WD	7.2		DE	205.537.652.491.136.000.000	489.158.135.179.304.000.000
135	Contextobject	WD	7.2		DE	205.506.099.271.000.000.000	489.184.114.574.000.000.000
31	Contextobject	WD - WN	7.2	8	BCDE	205.537.802.738.050.000.000	489.243.504.760.777.000.000
113	Contextobject	WD	7.2		DE	205.423.806.204.000.000.000	489.333.531.189.000.000.000
134	Contextobject	WD	7.2		DE	205.472.142.158.000.000.000	489.335.453.829.000.000.000
33	Contextobject	WN	8		BCD	205.693.004.977.448.000.000	489.604.757.027.420.000.000
114	Contextobject	WN	8		BCD	205.581.898.269.000.000.000	489.839.400.895.000.000.000
34	Contextobject	WN	8		BCD	205.844.389.288.966.000.000	489.865.716.770.393.000.000
34	Kunstwerk	WN	8		BCD	205.964.289.014.706.000.000	490.058.980.620.175.000.000
35	Contextobject	WN	8		BCD	206.035.376.782.793.000.000	490.088.191.486.866.000.000
136	Contextobject	WN	8		BCD	205.967.355.193.000.000.000	490.113.966.322.000.000.000
33	Kunstwerk	WN	8		BCD	205.943.308.904.294.000.000	490.132.150.573.730.000.000
32	Kunstwerk	WN	8		BCD	206.011.848.082.685.000.000	490.148.278.391.125.000.000
31	Kunstwerk	WN	8		BCD	206.069.371.173.417.000.000	490.245.885.291.716.000.000
115	Contextobject	WN	8		BCD	205.988.335.946.000.000.000	490.356.453.563.000.000.000
36	Contextobject	WN	8		BCD	206.163.927.768.956.000.000	490.526.207.810.871.000.000
139	Contextobject	WN	8		BCD	206.047.917.514.000.000.000	490.711.268.879.999.000.000
137	Contextobject	WN	8		BCD	206.244.449.197.000.000.000	491.093.651.399.000.000.000
116	Contextobject	WN	8		BCD	206.146.041.871.000.000.000	491.132.057.754.000.000.000
37	Contextobject	WN	8		BCD	206.355.860.894.343.000.000	491.480.211.135.517.000.000
138	Contextobject	PH	9		BCD	206.371.025.576.999.000.000	491.718.556.213.999.000.000
38	Contextobject	PH	9		BCD	206.338.698.420.545.000.000	492.059.901.524.003.000.000
39	Contextobject	PH	9		BCD	205.911.217.643.565.000.000	492.589.531.995.443.000.000
40	Contextobject	HD	10.1		BCD	205.787.678.529.609.000.000	493.373.808.712.427.000.000
30	Kunstwerk	HD	10.1		BCD	205.714.247.106.583.000.000	493.542.139.236.697.000.000
29	Kunstwerk	HD	10.1		BCD	205.698.646.432.122.000.000	493.585.509.186.023.000.000
98	Contextobject	PH - HD	9	10.1	BCD	205.480.934.509.187.000.000	493.625.996.206.722.000.000
28	Kunstwerk	HD	10.1		BCDE	205.650.772.325.716.000.000	493.673.619.977.994.000.000
41	Contextobject	HD	10.1		BCDE	205.673.437.750.247.000.000	493.676.233.893.376.000.000
42	Contextobject	HD	10.1		BCDE	205.636.373.197.765.000.000	493.759.434.824.802.000.000
27	Kunstwerk	HD	10.1		BCDE	205.590.847.823.058.000.000	493.868.285.999.153.000.000
43	Contextobject	HD	10.1		BCDE	205.616.530.399.658.000.000	493.870.339.108.758.000.000
26	Kunstwerk	HD	10.1		BCDE	205.568.293.700.722.000.000	494.019.635.326.615.000.000
44	Contextobject	HD	10.1		BCDE	205.498.874.558.436.000.000	494.214.253.244.975.000.000
45	Contextobject	HD	10.1		BCDE	205.436.034.062.866.000.000	494.292.164.378.768.000.000
24	Kunstwerk	HD	10.1		BCDE	205.404.519.927.349.000.000	494.292.360.088.254.000.000
46	Contextobject	HD	10.1		BCDE	205.359.378.402.410.000.000	494.301.673.762.294.000.000
25	Kunstwerk	HD	10.1		BCDE	205.337.648.842.056.000.000	494.311.566.215.231.000.000
140	Contextobject	HT	10.2		BDE	204.791.716.504.999.000.000	494.451.464.945.000.000.000
47	Contextobject	HT	10.2		BDE	204.819.267.053.857.000.000	494.505.609.660.245.000.000
48	Contextobject	HT	10.2		BDE	204.697.683.421.818.000.000	494.738.713.240.516.000.000
104	Contextobject	HT	10.2		BDE	204.479.932.454.000.000.000	495.035.638.207.000.000.000
141	Contextobject	HWN	11		BCD	204.380.114.819.000.000.000	495.080.461.508.999.000.000
142	Contextobject	HWN	11		BCD	204.380.999.405.999.000.000	495.141.950.750.000.000.000
49	Contextobject	HWN	11		BCD	204.199.492.114.762.000.000	495.603.230.391.947.000.000
50	Contextobject	HWN	11		BCD	204.186.359.974.380.000.000	496.011.082.378.710.000.000
51	Contextobject	HWN	11		BCD	204.297.313.540.362.000.000	496.271.867.016.000.000.000
143	Contextobject	HWN	11		BCD	204.148.863.997.999.000.000	496.485.844.064.000.000.000
52	Contextobject	HWN	11		BCD	204.214.700.830.921.000.000	496.498.623.192.564.000.000
53	Contextobject	HWN	11		BCD	204.138.169.702.243.000.000	496.939.155.214.538.000.000
54	Contextobject	HWN	11		BCD	204.219.767.813.552.000.000	497.304.466.036.658.000.000
55	Contextobject	HWN	11		BCD	204.223.096.338.927.000.000	497.325.128.071.650.000.000
56	Contextobject	HWN	11		BCD	204.204.536.067.933.000.000	497.378.355.650.549.000.000
57	Contextobject	HWN	11		BCD	204.151.054.506.551.000.000	497.449.361.290.669.000.000
59	Contextobject	CH	12.1		BE	204.125.005.361.150.000.000	497.810.581.339.387.000.000
20	Kunstwerk	CH	12.1		BE	204.081.919.467.759.000.000	497.818.433.722.766.000.000
21	Kunstwerk	CH	12.1		BE	204.245.967.131.147.000.000	497.868.066.793.389.000.000
76	Kunstwerk	CH	12.1		BE	204.438.213.149.680.000.000	497.875.644.081.406.000.000
22	Kunstwerk	CH	12.1		BE	204.289.357.653.793.000.000	497.882.232.954.802.000.000
144	Contextobject	CH	12.1		BE	204.417.836.459.999.000.000	497.888.006.572.999.000.000

58	Contextobject	CH	12.1		BE	204.342.320.450.245.000.000	497.902.904.444.949.000.000
23	Kunstwerk	CH	12.1		BE	204.330.620.071.819.000.000	497.932.739.948.234.000.000
19	Kunstwerk	CH	12.2		BCD	203.839.314.836.690.000.000	497.972.854.096.030.000.000
61	Contextobject	CH	12		BCD	204.032.248.793.852.000.000	498.049.716.074.544.000.000
18	Kunstwerk	CH	12.3		BE	203.873.779.700.507.000.000	498.201.280.989.260.000.000
17	Kunstwerk	CH	12.3		BE	203.891.875.092.765.000.000	498.219.338.177.481.000.000
60	Contextobject	CH	12.3		BE	203.875.919.905.735.000.000	498.264.755.531.432.000.000
14	Kunstwerk	CH	12.3		BE	203.983.815.045.737.000.000	498.273.870.548.261.000.000
15	Kunstwerk	CH	12.3		BE	203.985.904.292.629.000.000	498.274.977.855.614.000.000
16	Kunstwerk	CH	12.3		BE	203.988.369.709.560.000.000	498.276.294.515.412.000.000
146	Contextobject	CH	12.3		BE	204.027.890.042.000.000.000	498.423.331.664.000.000.000
13	Kunstwerk	SD	13.1		BCD	203.620.065.973.857.000.000	498.442.950.505.184.000.000
62	Contextobject	SD	13.1		BCD	203.537.894.251.738.000.000	498.563.699.638.849.000.000
12	Kunstwerk	SD	13.1		BCD	203.499.403.751.765.000.000	498.582.214.713.251.000.000
11	Kunstwerk	SD	13.1		BCD	203.415.438.008.554.000.000	498.850.978.550.060.000.000
63	Contextobject	SD - SO	13.1	13.2	BCDE	203.079.819.428.649.000.000	498.881.316.950.193.000.000
64	Contextobject	SD	13.1		BCD	203.348.161.408.782.000.000	498.964.492.532.650.000.000
145	Contextobject	SD	13.1		BCD	203.300.033.163.999.000.000	498.979.928.720.999.000.000
65	Contextobject	SD	13.1		BCD	203.153.860.380.879.000.000	499.152.605.918.491.000.000
66	Contextobject	SD	13.1		BCD	203.028.368.143.441.000.000	499.198.672.502.999.000.000
67	Contextobject	SD	13.1		BCD	202.955.846.936.696.000.000	499.266.446.620.031.000.000
68	Contextobject	SO	13.2		BDE	202.734.483.874.120.000.000	499.283.208.304.311.000.000
70	Contextobject	SO	13.2		BDE	202.667.167.495.485.000.000	499.295.553.475.518.000.000
73	Contextobject	SO	13.2		BDE	202.534.771.709.037.000.000	499.304.986.898.786.000.000
69	Contextobject	SO	13.2		BDE	202.753.215.643.546.000.000	499.316.454.235.355.000.000
147	Contextobject	SO	13.2		BDE	202.723.644.543.000.000.000	499.342.397.959.999.000.000
71	Contextobject	SO	13.2		BDE	202.609.273.445.203.000.000	499.344.857.692.708.000.000
72	Contextobject	SO	13.2		BDE	202.664.909.028.968.000.000	499.350.246.336.557.000.000
148	Contextobject	SO	13.2		BDE	202.390.441.859.000.000.000	499.366.072.296.999.000.000
74	Contextobject	SS	13.3		BCD	202.266.198.186.856.000.000	499.933.710.338.698.000.000
75	Contextobject	SS	13.3		BCD	201.958.595.135.662.000.000	500.099.658.052.520.000.000
76	Contextobject	SS	13.3		BCD	201.955.731.724.121.000.000	500.137.089.882.126.000.000
77	Contextobject	SS	13.3		BCD	201.921.732.330.996.000.000	500.164.985.869.889.000.000
78	Contextobject	SS	13.3		BCD	201.911.790.595.625.000.000	500.199.266.559.706.000.000
154	Contextobject	SS	13.3		BCD	202.035.185.494.794.000.000	500.210.378.561.460.000.000
79	Contextobject	SS	13.3		BCD	201.887.834.319.398.000.000	500.246.812.531.422.000.000
80	Contextobject	SS	13.3		BCD	201.920.177.573.666.000.000	500.268.578.897.807.000.000
149	Contextobject	SS - SV	13.3	13.4	BCD	201.935.364.516.000.000.000	500.293.616.342.999.000.000
81	Contextobject	SS	13.3		BCD	201.976.060.668.633.000.000	500.298.587.651.083.000.000
150	Contextobject	SV	13.4		BCD	201.413.976.231.000.000.000	500.712.039.224.000.000.000
119	Contextobject	SV	13.4		BCD	201.379.421.016.999.000.000	500.746.622.198.000.000.000
117	Contextobject	EW	14.1		DE	201.162.700.597.000.000.000	500.800.328.106.000.000.000
82	Contextobject	EW	14.1		DE	201.352.644.033.727.000.000	500.836.350.336.112.000.000
97	Contextobject	EW	14.1		DE	201.277.055.678.165.000.000	501.154.523.076.151.000.000
83	Contextobject	EW	14.1		DE	201.107.971.183.877.000.000	501.249.195.212.044.000.000
84	Contextobject	EW	14.1		DE	201.052.662.378.445.000.000	501.305.612.309.162.000.000
85	Contextobject	EW	14.1		DE	200.936.274.516.101.000.000	501.306.643.262.249.000.000
151	Contextobject	KD	14.2		BCD	200.734.630.956.999.000.000	501.365.562.289.999.000.000
118	Contextobject	KD	14.2		BCD	200.804.375.703.000.000.000	501.393.745.967.000.000.000
86	Contextobject	EW	14.1		DE	200.962.608.001.402.000.000	501.410.332.977.533.000.000
88	Contextobject	KD	14.2		BCD	200.604.099.363.722.000.000	501.481.348.565.489.000.000
89	Contextobject	KD	14.2		BCD	200.530.320.853.850.000.000	501.483.929.370.475.000.000
87	Contextobject	KD	14.2		BCD	200.646.934.949.080.000.000	501.485.251.489.924.000.000
90	Contextobject	KS	14.3			200.493.608.043.107.000.000	501.530.097.786.588.000.000
10	Kunstwerk	KS	14.3			200.568.930.984.760.000.000	501.550.098.578.217.000.000
91	Contextobject	KS	14.3			200.533.680.093.297.000.000	501.561.107.634.872.000.000
9	Kunstwerk	KS	14.3			200.507.979.363.943.000.000	501.588.490.350.427.000.000
92	Contextobject	KS	14.3			200.510.283.351.339.000.000	501.648.882.803.312.000.000
8	Kunstwerk	SP 1	15.1		BCDE	200.266.838.523.819.000.000	501.818.104.003.217.000.000
7	Kunstwerk	SP 1	15.1		BCDE	200.261.456.119.622.000.000	501.831.816.755.776.000.000
6	Kunstwerk	SP 1	15.1		BCDE	200.253.821.276.685.000.000	501.850.769.790.038.000.000
5	Kunstwerk	SP 2	15.2		BCDE	200.242.141.776.367.000.000	501.880.625.085.268.000.000
3	Kunstwerk	SP 2	15.2		BCDE	200.235.056.803.103.000.000	501.913.859.680.028.000.000
4	Kunstwerk	SP 2	15.2		BCDE	200.264.713.662.402.000.000	501.945.145.302.109.000.000
96	Contextobject	SP 2	15.2		BCDE	200.236.487.320.486.000.000	501.962.624.025.607.000.000
93	Contextobject	SP 2 - SK	15.2	15.3	BCDE	200.079.191.537.239.000.000	502.248.637.145.430.000.000
94	Contextobject	SK	15.3		BE	200.103.617.480.555.000.000	502.363.744.676.779.000.000
95	Contextobject	SK	15.3		BE	200.207.434.086.301.000.000	502.391.063.500.672.000.000
2	Kunstwerk	SK	15.3		BE	200.219.296.203.902.000.000	502.436.377.299.951.000.000
152	Contextobject	SK	15.3		BE	200.243.009.502.000.000.000	502.462.265.124.000.000.000
1	Kunstwerk	SK	15.3		BE	200.264.390.086.816.000.000	502.608.108.943.522.000.000

3. Ruimte analyse

Omschrijving (Vertrouwelijke informatie)

Locatie object	Alternatieven op dit traject	Alternatief A	Ruimte nodig (m)	Beschikbare Ruimte (m)	Alternatief B	Ruimte nodig (m)	Beschikbare Ruimte (m)	Alternatief C	Ruimte nodig (m)	Beschikbare Ruimte (m)	Alternatief D	Ruimte nodig (m)	Beschikbare Ruimte (m)	Alternatief E	Alternatief zonder knelpunt	Alternatieven met knelpunt
bi	BCDE				B	10	0	C	2	0	D	2	0		E	BCD
bi	BCDE				B	10	0	C	2	0	D	2	0		E	BCD
bi	BCDE				B	10	0	C	2	0	D	2	0		E	BCD
bi	BCDE				B	10	13,5								CDE	B
bi	BCDE														BCDE	
bi	BCDE				B	10	8								CDE	B
bi	BCDE				B	10	0	C	2	0	D	2	0		E	B CD
bi	BCDE				B	10	0	C	2	0	D	2	0		E	BCD
bu	BCDE							C	30 -> 65	10	D	30 -> 19	10		BE	CD
bi	BCDE				B	17	9	C	17	9	D				DE	BC
bi	BCDE														BCDE	
bi	BCDE				B	18	6,5 -> 0	C	18	6,5 -> 0	D	0	0		DE	BC
bu	BCDE							C	35 -> 65	5	D	20	5		BE	CD
bu	BCDE							C	65	53					BED	C
bi	BCDE				B	18	10	C	18	10					DE	BC
bi	BCDE				B	18	14,5	C	18	14,5					DE	BC
bu	BCDE							C	65	25					BED	C
bu	BCDE							C	20	5	D	20	5		BE	CD
bi	BCDE														BCDE	
bi	BCDE														BCDE	
bi	BCDE														BCDE	
bi	BCDE														BCDE	
bu	BCDE				B	2	0	C	25	0	D	25	0		E	BCD
bi	BCDE														BCDE	
bi	BCDE														BCDE	
bu	E				B			C			D				E	
bu	E				B			C			D				E	
kr	E														E	
bu	E														E	
bi	BCDE														BCDE	
bi	BCDE														BCDE	
bi	BCDE														BCDE	
bu	BCDE				B	2	0	C	45	0	D	45	0		E	BCD
kr	BCDE				B	-	0	C	-	0	D	-	0		E	BCD
bi	BCDE														BCDE	
bi	BCDE														BCDE	
bi	BCDE														BCDE	

bi	BCDE																	BCDE	
bi	BCDE																	BCDE	
kr	BCDE					B	-	0	C	-	0	D	-	0				E	BCD
bi	BCDE					B	10	0	C	2	0	D	2	0				E	BCD
bi	BCDE																	BCDE	
bi	BCDE					B	10	7										CDE	B
bu	BCDE								C	60	31	D	60	31				BE	CD
bi	BCDE					B	2 -> 10	0 -> 1	C	2	0 -> 1	D	2	0 -> 1				E	BCD
bi	BCDE					B	10	0	C	2	0	D	2	0				E	BCD
bu	BE								C			D						E	B
bi	BE					B	10	5,5	C			D						E	B
bi	ABE	A	125	83														BE	A
bi	ABE	A	125	60														BE	A
bi	ABE	A	125	55														BE	A
bi	ABE	A	140	67														BE	A
bi	ABE	A	130	8	B	10	8											E	AB
bi	ABE	A	125	2	B	10	2											E	AB
bi	ABE	A	130	8,5	B	10	8,5											E	AB
bu	ABE	A	2	0	B	2	0											E	AB
bi	ABE	A	125	11														BE	A
bi	ABCDE	A	80	0	B	10	0	C	2	0	D	2	0				E	AB CD	
bi	ABCDE	A	65	26														BCDE	A
bi	BCDE																	BCDE	
bi	BCDE																	BCDE	
bi	BCDE																	BCDE	
bi	BCDE																	BCDE	
bi	BCDE					B	10	8										CDE	B
bi	BCDE					B	10	0	C	2	0	D	2	0				DE	BC
bi	BCDE					B	10	5,5										CDE	B
bi	BCDE																	BCDE	
bi	BCDE					B	10	0	C			D	0	0				E	BCD
bi	DE																	DE	
bu	CDE								C	25 -> 75	28,5	D	25 -> 75	28,5				E	CD
bi	DE																	DE	
bu	DE											D						DE	
bu	DE											D	50	27				E	D
bi	DE																	DE	
bi	DE																	BCDE	
bi	BCDE																	BCDE	
bu	BCDE								C	45 -> 69	5 -> 42	D	45 -> 69	5 -> 42				BE	CD
bi	BCDE																	BCDE	
bi	BCDE																	BCDE	
bi	BCDE					B	2	0	C	100	0	D	100	0				E	BCD
bu	BCDE																	BCDE	
bi	BCDE																	BCDE	
bi	BCDE																	BCDE	
bu	BCDE								C	95	2	D	95	2				BE	CD
bi	BCDE					B	10	11										CDE	B
bu	BCDE								C	15 -> 40	18	D	15 -> 40	18				BE	CD
bi	BCDE					B	10	8,5										CDE	B
bi	BCDE																	BCD	

bu	BCDE				B	2	1	C	35 -> 55 - > 65	5,5 -> 11	D	17	5,5 -> 11		BE	CD
bi					B	2,5 -> 5 -> 0	15	C	2,5 -> 5 - -> 0	15 -> 10					DE	BC
bu	BCDE							C	60 tot 115	30 -> 55	D	115 -> 75	53 -> 37		BE	CD
bi	BCDE				B	10	13	C			D				DE	BC
bi	BCDE														BCDE	
bi	BCDE														BCDE	
bi	BCDE														BCDE	
bi	BCDE														BCDE	
bi	BCDE														BCDE	
bi	BCDE														BCDE	
bi	BCDE														BCDE	
bi	BCDE														BCDE	
bi	BCDE														BCDE	
bi	BCDE														BCDE	
bi	BCDE														BCDE	
bi	BCDE														BCDE	
bi	BDE				B	20	11,5								DE	B
bi	BDE														BDE	
bi	BCDE				B	35 -> 33	22	C	33	23,5					DE	BC
bu	BCDE				B	2	0 tot 11	C	50 tot 80	0 tot 11	D	0	0		E	BCD
bi					B	(33 ->) 0	(18 ->) 0	C	(33 ->) 2	(18 ->) 0	D	2	0		E	BCD
bi	BCDE				B	0	0	C	2	0	D	0	0		BDE	C
bi	BCDE														BCDE	
bi	BCDE				B	22	1	C	14	1	D	2	1		E	BCD
bu	BCDE				B	0	0	C	85 -> 70	5,5 -> 9	D	85 -> 70	5,5 -> 9		BE	CD
bi	BCDE				B	22 -> 10	0	C	14 -> 2	0	D	2	0		E	BCD
bi	BCDE				B	8	4,5	C	8	4,5	D	2	4,5		E	BCD
bi	BCDE				B			C							DE	BC
bi	BCDE				B	8	5	C	8	5	D	2	5		E	BCD
bi	BCDE				B	8	3,5	C	8	3,5	D	2	3,5		E	BCD
bu	BE				B	2	0								E	B
bu	BE				B	2	0								E	B
bu	BE				B	2	0								E	B
bi	BE														BE	
bu	BE				B	2	0								E	B
bi/kr/bu	BE				B	2 en 10	0								E	B
bi/kr/bu	BE				B	2 en 10	0								E	B
bi	BCDE				B	2	0	C	2	0	D	2	0		E	BCD
kr	BCDE				B	-	0	C			D				E	BCD
kr	BE				B	-	0								E	B
kr	BE				B	-	0								E	B
bu	BE				B	2	0								E	B
kr	BE				B	-	0								E	B
kr	BE				B	-	0								E	B

kr	BE				B	-	0											E	B
bi	BCDE				B	10	8											CDE	B
bi	BCDE				B	10	3-	C	2	0	D							E	BCD
bi	BCDE																	BCDE	
bi	BCDE																	BCDE	
bi	BCDE				B	16	19,5											CDE	B
bi	BCDE				B	14	32											CDE	B
bi	BCDE				B	14	10,5	C	6	10,5	D	2	10,5					E	BCD
bi	BCDE				B	14	5	C	6	5								DE	BC
bi	BCDE							C	45 -> 110	10	D	45 -> 110	10	E				BE	CD
bu/kr	BDE				B	2	0				D	35 -> 17	0					B DE	
bu/kr	BDE				B	2	0				D	17	0					E	B D
bi	BDE				B	2	0				D	17	0	E				E	B D
bi/kr	BDE				B	15	0				D	2	0						B DE
bi	BDE				B	15	0				D	0	0					E	B D
bi	BDE				B	15	0				D	0	0					E	B D
bi	BCDE				B	14	0	C	6 -> 8	5								CDE	B
bu	BCDE				B	2	0	C	80	0	D	8	0					E	BCD
bu	BCDE				B	2	5,5	C	55	5,5	D	8	5,5					E	BCD
bu	BCDE				B	2	20	C	55	20	D	9	20					E	BCD
bi	BCDE				B	2	30	C	100									CDE	B
bu	BCDE				B	2	26	C	55	26	D	14	26					E	BCD
bu	BCDE				B	2	16	C	100	16	D	100	16					E	BCD
bu	BCDE				B	2	7	C	100	7	D	100	7					E	BCD
bu	BCDE							C			D	2	0					E	BCD
bi	BCDE				B			C	65	57	D	60	44					BE	CD
bi	DE										D	2 -> 0	0					E	D
bi	DE																	DE	
kr	DE										D	-	0					E	D
bu	DE				B			C			D	2	0					E	D
bi	BCDE										D	2	2					BCE	D
bi	BCDE				B	8	8											CDE	B
bi	BCDE				B	8	7	C	2	7	D	2	7					E	BCD
bu/kr	BCDE				B	2	0	C	2	0	D	8	0					E	BCD
bu	BCDE				B	2	2	C	115	2								DE	BC
bu/kr	BCDE				B	8	0	C	2	0								DE	BC
bi	BCDE																	BCDE	
kr	BCDE																	BCDE	
bi	BCDE				B	10	19,5	C	0	19,5	D	0	19,5					CDE	B
bi	BCDE																	BCDE	
bi	BCDE																	BCDE	
bi	BCDE																	BCDE	
bi	BCDE				B	14	13,5	C	14	13,5								DE	BC
bi	BCDE				B	14	12	C	14	12								DE	BC
bi	BCDE																	BCDE	
bi	BCDE				B	14	5	C	14 -> 2	5	D	2	0					E	BCD
kr	BCDE				B	-	0	C	-	0	D	-	0					E	BCD
bu	BE				B	2	0											E	B
bi	BE				B	9	8											E	B
bi	BE				B	9	5,5											E	B
bu	BE																	BE	

4. Eindschema Haalbaarheidsstudie

Traject	Omschrijving (Vertrouwelijke informatie)	Type	Diepte Kolken	Oriëntatie	Bekleding	Pipin g	Hoogte	Stabiliteit	Alternatief A	Alternatief B	Alternatief C	Alternatief D	Alternatief E	Maatwerk?	Rationele oplossingen?	Complexe situatie?
DH		L&W omgeving		bi	J	J				Niet mogelijk	Mogelijk	Mogelijk		Ka (kt)	N	
DH		Kering		bi	J	J				Aansluitings-opgave	Mogelijk	Mogelijk		N	Verwijdering	
DH		Vervoerspad		bi	J	J				Inpassing	Mogelijk	Mogelijk		N	N	
DH		L&W omgeving		bi	J	J				Niet mogelijk	Mogelijk	Mogelijk		Ka (kt)	Verplaatsing	
DH		L&W omgeving		bi	J	J				Inpassing	Mogelijk	Mogelijk		N	N	
DH		Historisch object		kr	J	J				Mogelijk	Mogelijk	Mogelijk		N	N	
DH		Kunstwerk		bi	J	J				Verleggen	Mogelijk	Mogelijk		N	N	
DH		Vervoerspad		bi	J	J				Inpassing	Mogelijk	Mogelijk		N	N	
DH		Natuurgebied & Waterlichaam	3 -> 4	bi	J	J				Inpassing	Mogelijk	Mogelijk		N	N	
DH		Vervoerspad		bi	J	J				Inpassing	Mogelijk	Mogelijk		N	N	
DH		Historisch object		bi	J	J				Aansluitings-opgave	Mogelijk	Mogelijk		N	N	
DH2		Waterlichaam	3,5 -> 4,5	bu	J	J		J		Niet mogelijk	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ja (lp, so)	Demping	Diepe waardevolle kolk en natuurgebied aan de binnendijkse kant, oude ijsselgeul aan de buitendijkse zijde, met een stabiliteits- en pipingopgave opgave.
DH2		Waterlichaam	2,5 -> 3,5	bi	J	J		J		Niet mogelijk	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ja (lp, so)	N	
DH2		Natuurgebied		bi	J	J		J		Niet mogelijk	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ja (lp, so)	Verwijdering	
DH2		Waterlichaam	1,5 -> 2	bu	J	J		J		Niet mogelijk	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ja (lp, so)	Demping	
DH2		Waterlichaam	?	bu	J	J		J		Mogelijk	Aanpassing	Mogelijk		N	Demping	
DH2		Kunstwerk		bi	J	J		J		Verleggen	Mogelijk	Mogelijk		N	N	
DH2		Kunstwerk		bi	J	J		J		Verleggen	Mogelijk	Mogelijk		N	N	
DH2		Waterlichaam	2,5 -> 3,5	bu	J	J		J		Mogelijk	Niet mogelijk	Niet mogelijk, te diep		N	N	
OZ		Waterlichaam	3,5 -> 4	bu	J	J		J		Inpassing	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ka (kt)	N	
OZ		L&W omgeving		bi	J	J				Inpassing	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ka (kt)	N	
OZ		Vervoerspad		bi	J	J				Verleggen	Mogelijk	Mogelijk		N	N	
ON		Vervoerspad		bi	J	J				Inpassing	Mogelijk	Mogelijk		N	N	
ON		Kunstwerk		kr	J	J				Inpassing	Mogelijk	Mogelijk		N	Verwijdering	
ON		Vervoerspad		bi	J	J				Inpassing	Mogelijk	Mogelijk		N	N	
ON		Historisch object		kr	J	J				Mogelijk	Mogelijk	Mogelijk		N	Verwijdering	
ON		Vervoerspad		bi	J	J				Inpassing	Mogelijk	Mogelijk		N	N	
DN		L&W omgeving		bi	J	J				Niet mogelijk	Mogelijk	Mogelijk		Ka (kt)	N	
DN		Waterlichaam	1,7 -> 3,4	bi	J	J				Inpassing	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ka (kt)	N	
DN		Waterlichaam		bu	J	J				Inpassing	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ka (kt)	Demping	
DN		L&W omgeving		bi	J	J				Niet mogelijk	Mogelijk	Mogelijk		N	N	
DN		L&W omgeving		bi	J	J				Niet mogelijk	Mogelijk	Mogelijk		N	N	
DN		Natuurgebied & Waterlichaam	buitendijks: 1,1 -> 1,6 binnendijks: 2,2 -> 5,9 (O), 2,1 -> 5,7 (W)	bu	J	J				Inpassing				Mogelijk	N	Dijkverlegging
DN		Kunstwerk		bi	J	J				Verleggen				Mogelijk	N	
DN - DW		Vervoerspad		bi	J	J				Verleggen	Mogelijk			Mogelijk	N	
DW		Kunstwerk		bi	J	J				Verleggen	Inpassing			Mogelijk	N	
DW		L&W omgeving		bi	J	J				Niet mogelijk	Mogelijk			Mogelijk	Ka (kt)	Huis ophogen
DW		L&W omgeving		bi	J	J				Niet mogelijk	Mogelijk			Mogelijk	Ka (kt)	Huis ophogen
DW		Kunstwerk		bi	J	J				Verleggen	Inpassing			Mogelijk	N	N
DW		Kunstwerk		bi	J	J				Verleggen	Inpassing			Mogelijk	N	N
DW		L&W omgeving		bu	J	J				Mogelijk	Mogelijk			Mogelijk	N	N
DW		L&W omgeving		bi	J	J				Mogelijk	Mogelijk			Mogelijk	N	N
DW		Kunstwerk		bi	J	J				Verleggen	Inpassing			Mogelijk	N	N
DW		L&W omgeving		bi	J	J				Niet mogelijk	Niet mogelijk			Mogelijk	Ka (kt)	N
DW - WZ		Vervoerspad		bi	J	J				Verleggen	Verleggen	Niet mogelijk	Niet mogelijk	Mogelijk	Ka (kt)	N

DW - WZ		Natuurgebied		bu	J	J			Verleggen	Verleggen	Niet mogelijk	Niet mogelijk	Mogelijk	Ka (kt)	N	
WZ		Kunstwerk		bi	J	J			Verleggen	Mogelijk	Mogelijk		N	N		
WZ		Vervoerspad		bi	J	J			Inpassing	Mogelijk	Mogelijk		N	Verlegging		
WZ		Kunstwerk		bi	J	J			Mogelijk	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ka (kt)	Verwijdering		
WZ		L&W omgeving		bi	J	J			Mogelijk	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ka (kt)	N		
WZ		Kunstwerk		bi	J	J			Verleggen	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ka (kt)	N		
WZ - WD		Recreatie		bu	J	J			Mogelijk	Niet mogelijk	Niet mogelijk	Mogelijk	Ka (kt)	N		
WD		Vervoerspad		bi	J	J						Mogelijk	Mogelijk	N	N	
WD		Waterlichaam	1,5 -> 1,5	bu	J	J						Mogelijk	Mogelijk	N	N	
WD		Vervoerspad		bu	J	J						Mogelijk	Mogelijk	N	N	
WD - WN		L&W omgeving		bi	J	J						Mogelijk	Mogelijk	N	N	
WN		Waterlichaam	?	bu	J	J			Mogelijk	Mogelijk	Mogelijk		N	Demping		
WN		Kunstwerk		bu	J	J			Inpassing	Mogelijk	Mogelijk		N	Verwijdering		
WN		Vervoerspad		bi	J	J			Inpassing	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ka (als ing)	N		
WN		Waterlichaam	2,25 -> 4,1	bu	J	J			Inpassing	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ka	Demping		
WN		Vervoerspad		bu	J	J			Inpassing	Niet mogelijk	Niet mogelijk		N	Verlegging		
WN		Vervoerspad		bi	J	J			Inpassing	Mogelijk	Mogelijk		N	Demping		
WN		Waterlichaam	1,05 -> 1,2 (Z) tot 0,9 -> 0,95 (N)	bu	J	J			Inpassing	Mogelijk	Mogelijk		N	Demping		
WN		L&W omgeving		bi	J	J			Inpassing	Mogelijk	Mogelijk		N	N		
PH		Vervoerspad		kr	J	J			Verleggen	Mogelijk	Mogelijk		N	N		
PH		L&W omgeving		bi	J	J			Niet mogelijk	Mogelijk	Mogelijk		N	N		
PH		Natuurgebied & Waterlichaam	buitendijks: 0,9 -> 1,25, binnendijks: 0,65 -> 1,0	bu	J	J	J		Niet mogelijk	Niet mogelijk	Mogelijk		Ka	Verplaatsing		
PH - HD		Waterlichaam		bu	J	J	J		Inpassing	Meekoppeling	Meekoppeling		N	N		
HD		L&W omgeving		bi	J	J			Inpassing	Meekoppeling	Meekoppeling		N	N		
HD		L&W omgeving		bi	J	J	J		Mogelijk	Meekoppeling	Meekoppeling		N	N		
HD		L&W omgeving		bi	J	J			Mogelijk	Meekoppeling	Meekoppeling		N	N		
HD		L&W omgeving		bi	J	J			Mogelijk	Meekoppeling	Meekoppeling		N	N		
HD		L&W omgeving		bi	J	J			Mogelijk	Meekoppeling	Meekoppeling		N	N		
HT		Kunstwerk		kr	J	J	J		Niet mogelijk		Mogelijk	Mogelijk	Ka (kt, ho)	Verplaatsing		
HT		L&W omgeving		bi	J	J	J		Niet mogelijk		Mogelijk	Mogelijk	Ka (kt, ho)	N		
HT		Waterlichaam	0,19 -> 1,4	bi	J	J	J		Niet mogelijk		Mogelijk	Mogelijk	Ka (kt)	Demping		
HWN		Vervoerspad		hd	J	J	J	J	Mogelijk	Mogelijk	Mogelijk		N	N		
HWN		Vervoerspad		bu/kr	J	J	J	J	Mogelijk	Verleggen	Verleggen		N	N		
HWN		Natuurgebied		bu	J	J	J	J	Mogelijk	Niet mogelijk	Mogelijk		N	N		
HWN		L&W omgeving		bi	J	J			Mogelijk	Niet mogelijk	Mogelijk		N	N		
HWN		Vervoerspad		bu/kr	J	J	J		Niet mogelijk	Niet mogelijk	Mogelijk		Ka (kt)	N		
HWN		L&W omgeving		bi	J	J	J		Niet mogelijk	Niet mogelijk	Mogelijk		Ka (kt)	N		
HWN		Natuurgebied & Waterlichaam	2,2 -> 2,45 (Z), 2,24 -> 2,55 (mid), 2,45 -> 3,4 (N)	bu	J	J	J		Niet mogelijk	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ja (lp)	N		
HWN		L&W omgeving		bi	J	J	J		Niet mogelijk	Niet mogelijk	Mogelijk		Ka (lp/bp)	N		
HWN		L&W omgeving		bi	J	J	J		Niet mogelijk	Niet mogelijk	Mogelijk		Ka (lp/bp)	N		
HWN		L&W omgeving		bi	J	J	J		Niet mogelijk	Niet mogelijk	Mogelijk		Ka (lp/bp)	N		
HWN		L&W omgeving		bi	J	J	J		Niet mogelijk	Niet mogelijk	Mogelijk		Ka (lp/bp)	N		
CH		Recreatie		bu	J				Mogelijk			Mogelijk	N	Verwijdering		
CH		Vervoerspad		bi	J	J			Inpassing			Mogelijk	N	Verlegging		
CH		Kering		hd	J	J			Mogelijk			Niet mogelijk	Ka (kt)	Verwijdering		
CH		Kering		hd	J	J			Mogelijk			Niet mogelijk	Ka (kt)	Verwijdering		
CH		L&W omgeving		bi	J				Mogelijk	Mogelijk	Mogelijk	Mogelijk	N	N		
CH		Recreatie		bu	J				Mogelijk			Mogelijk	N	Verwijdering		
CH		Vervoerspad		bi	J	J			Inpassing			Mogelijk	N	Verlegging		

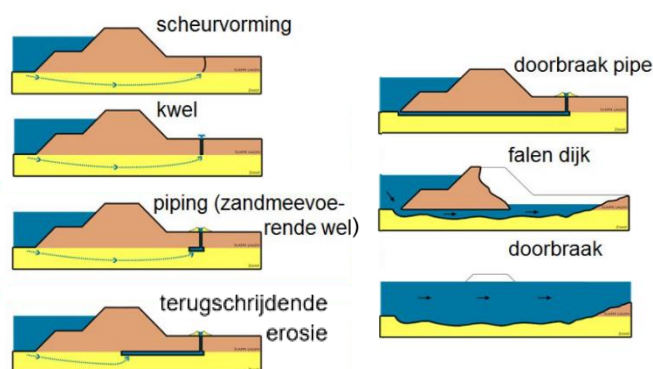
SD		Kunstwerk		bi	J	J			Verleggen	Niet mogelijk	Niet mogelijk		N	N	
SD		Kunstwerk		bi	J	J			Verleggen	Niet mogelijk	Niet mogelijk		N	N	
SD		Natuurgebied & Waterlichaam	1,25 -> 5,6 (Z), 2,02 -> 4,05 (N)	bi	J	J			Inpassing	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ka (als ing)	N	Groot natuurgebied aan de buitendijkse kant, een weg met veel huizen aan de binnendijkse kant en een kolk, met een hoogte- en pipingopgave
SD		L&W omgeving		bi	J	J	J		Inpassing	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ka (als ing)	N	
SD		Vervoerspad		bi	J	J	J		Inpassing	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ka (als ing)	Verlegging	
SD		L&W omgeving		bi	J	J	J		Niet mogelijk	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ja (kt)	N	
SD		L&W omgeving		bi	J	J	J		Niet mogelijk	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ja (kt, ho)	N	
SD		Waterlichaam	1,15 -> 1,9	bi	J	J	J		Inpassing	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ka (als ing)	N	
SD - SO		Natuurgebied & Waterlichaam	1,9 -> 2,4 (Z), 0,46 -> 1,85 (Zmid) tot 0,2 -> 2,0 (N mid), 1,2 -> 1,2 (N)	bi	J	J	J		Inpassing	Niet mogelijk	Niet mogelijk	Mogelijk	Ka (als ing)	N	
SO		L&W omgeving		bu/kr	J	J	J		Niet mogelijk		Niet mogelijk	Mogelijk	Ja (lp)	N	Een samenclustering van huizen op de kruin (aan binnen- en buitendijkse kant) en het binnen en buiten talud van de dijk. Een natuurgebied aan de buitendijkse kant en een belangrijke boomgaard op het binnentalud, met een lastige hoogte- en pipingopgave
SO		L&W omgeving		bu/kr	J	J	J		Niet mogelijk		Niet mogelijk	Mogelijk	Ja (lp)	N	
SO		L&W omgeving		bi	J	J	J		Niet mogelijk		Niet mogelijk	Mogelijk	Ja (lp)	N	
SO		L&W omgeving		bi/kr	J	J	J		Niet mogelijk		Niet mogelijk	Mogelijk	Ja (lp)	N	
SO		Vervoerspad		bi/kr	J	J	J		Niet mogelijk		Niet mogelijk	Mogelijk	Ja (lp)	N	
SO		L&W omgeving		bi	J	J	J		Niet mogelijk		Niet mogelijk	Mogelijk	Ja (lp)	N	
SO		L&W omgeving		bi	J	J	J		Niet mogelijk		Niet mogelijk	Mogelijk	Ja (lp)	N	
SO		Vervoerspad		bu/kr	J	J	J		Mogelijk		Mogelijk	Mogelijk	Ka (kt)	N	
SS		Waterlichaam	1,95 -> 2,9	bi	J	J	J		Inpassing	Mogelijk	Mogelijk		N	Demping	
SS		L&W omgeving		bi	J	J	J	J	Mogelijk	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ka (lp, kt)	N	Een samen clustering van huizen op de kruin van de dijk aan de buitendijkse zijde, een huis aan de binnendijkse zijde (niet op kruin hoogte), met een lastige hoogte-, piping- en halve stabiliteitsopgave
SS		L&W omgeving		bu	J	J	J	J	Mogelijk	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ka (lp)	N	
SS		L&W omgeving		bu	J	J	J	J	Mogelijk	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ka (lp)	N	
SS		L&W omgeving		bu	J	J	J	J	Mogelijk	Niet mogelijk	Mogelijk		Ka (lp, kt)	N	
SS		L&W omgeving		bu	J	J	J	J	Inpassing	Niet mogelijk	Mogelijk		Ka (lp, kt)	N	
SS		L&W omgeving		bu	J	J	J	J	Mogelijk	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ka (lp)	N	
SS		L&W omgeving		bu	J	J	J	J	Mogelijk	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ka (lp)	N	
SS - SV		Vervoerspad		bi/kr	J	J	J	J	Inpassing	Niet mogelijk	Niet mogelijk		Ka (lp)	N	
SV		Vervoerspad		bi/kr	J	J	J	J	Verleggen	Mogelijk	Mogelijk		Ka (lp)	N	
SV		Vervoerspad		hd	J	J			Aansluitingsopgave	Mogelijk	Mogelijk		N	N	
EW		Waterlichaam	1,2 -> 1,5	bu	J	J	J				Mogelijk	Mogelijk	N	N	
EW		L&W omgeving		bi	J	J	J				Mogelijk	Mogelijk	N	N	
EW		Natuurgebied		bi	J	J	J	J			Mogelijk	Mogelijk	Ka (ho)	N	
EW		L&W omgeving		kr	J		J				Mogelijk	Mogelijk	Ka (ho)	N	
EW		L&W omgeving		bu	J		J				Niet mogelijk	Mogelijk	Ja (ho)	N	
EW		L&W omgeving		bi	J		J				Niet mogelijk	Mogelijk	Ja (ho)	N	
KD		Vervoerspad		bu/kr	J	J			Mogelijk	Verleggen	Verleggen		N	N	
KD		Vervoerspad		hd	J	J			Aansluitingsopgave	Niet mogelijk	Niet mogelijk		N	N	
KD		L&W omgeving		bi	J		J		Inpassing	Mogelijk	Mogelijk		Ka (lp/bp)	N	
KD		L&W omgeving		bu/kr	J		J		Inpassing	Mogelijk	Mogelijk		Ja (ho)	N	
KD		L&W omgeving		bi	J		J		Inpassing	Mogelijk	Mogelijk		Ka (lp/bp)	N	
SP2		Kunstwerk		bi	J	J	J	J	Verleggen	Niet mogelijk	Mogelijk		N	N	
SP2		Kunstwerk		bi	J	J	J	J	Verleggen	Niet mogelijk	Mogelijk		N	N	
SP2		L&W omgeving		bi	J	J	J	J	Niet mogelijk	Niet mogelijk	Mogelijk		Ka (so)	N	
SP2 - SK		L&W omgeving		kr	J		J	J	Mogelijk	Mogelijk	Mogelijk	Mogelijk	Ja (ho)	N	
SK		Recreatie		bu	J	J	J		Mogelijk			Mogelijk	N	Verwijdering	
SK		Kunstwerk		bi	J	J	J	J	Verleggen			Mogelijk	N	N	
SK		L&W omgeving		bi	J	J	J	J	Niet mogelijk			Mogelijk	Ka (so)	N	
SK		Vervoerspad		bi	J	J	J	J	Verleggen			Mogelijk	Ka (so)	N	

II. Bouwstenen

Deze appendix bevat de kansrijke methodes (als basisoplossing of maatwerk) op het traject Zwolle-Olst om bepaalde faalmechanismen tegen te gaan (ook wel bouwstenen genoemd). Enkele van deze kansrijke bouwstenen zijn gebruikt in de kansrijke alternatieven en zullen voornamelijk in het dijktraject geïmplementeerd worden. Op locaties waar er zich een knelpunt bevindt en de kansrijke bouwsteen in het kansrijke alternatief de veiligheid van de dijk niet kan waarborgen, zal een van de andere bouwstenen, of een variatie hierop, gebruikt worden. Een bouwsteen kan conflicteren met een andere bouwsteen en/of kan andere bouwstenen weer versterken of een mogelijkheid tot mee koppeling bieden. In deze appendix is een overzicht gemaakt van en uitleg gegeven over alle kansrijke bouwstenen per faalmechanisme dat speelt op het traject Zwolle-Olst (normtraject 53-2).

1. Piping

Piping is een van de dominante faalmechanismen op het dijktraject Zwolle-Olst. Piping is het verschijnsel dat er water onder de dijk doorstroomt dat zand meeneemt en daarmee de dijk verzwakt. Het water stroomt “onder de dijk door” als gevolg van waterdruk door de hoge waterstand aan de buitendijkse waterzijde (Vree, De pipingproef). Door de hoge waterdruk gaat de uitspoeling van vooral de zanddeeltjes steeds sneller waardoor een soort kanaaltje wordt gevormd. Dit kanaaltje kan alleen gevormd worden op het grensvlak van een compacte waterdichte laag (zoals klei) in de dijk en de poreuze ondergrond (meestal los, fijn zand). Door de exponentieel versnellende uitspoeling ontstaan er grotere holtes waardoor de dijk ter plaatse in kan storten. Bij een ongelijke verdeling aan holtes zal de dijk schuin verzwakken en afschuiven. Het water dat onder de dijk doorstroomt heet ‘kwel’ en is heel normaal, het is zodra het water zand meeneemt dat er een groot probleem ontstaat.

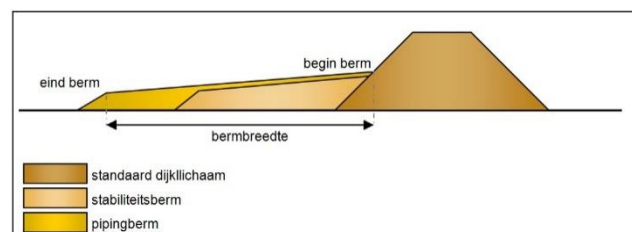


Figuur 20 Dijk bezwijkt door piping
Bron: (Dronkers, 2017)

1.1. Pipingberm

De traditionele, goedkope en makkelijke oplossing voor piping. Ter vergroting van de kwelweglengte wordt een pipingberm van grond aangebracht. Aanleggen van de grondberm geschiedt aan de binnenzijde van de dijk. Een gebruikelijke maat voor de bermhoogte is 1 m. De breedte van de berm is afhankelijk van het kwelweglengte-tekort (TAW, 1999). De gronddruk moet dusdanig worden verhoogd met een pipingberm, dat deze groter wordt dan de waterdruk en piping niet meer kan ontstaan (Vrijling, et al., 2010).

Meekoppeling: Te combineren met een stabiliteitsberm (stabiliteit) bij de aanleg van een pipingberm.



Figuur 21 Pipingberm (en een stabiliteitsberm)
Bron: (Waterkeringsplan)

Klei-ingraving

Om het faalmechanisme van piping tegen te gaan is een klei-ingraving een goedkope en onzichtbare methode. De klei-ingraving is een bewezen techniek. Bij een klei-ingraving wordt een deel van het voorland open gegraven en hier wordt een kleilaag (ondoordringbare laag voor water) aangebracht zodat het water een veel langere kwelweglengte heeft en piping op deze lengte niet meer kan ontstaan (Kuipers, et al., 2011). Het ruimtebeslag van deze methode is afhankelijk van het plaatselijke kwelwegtekort.

Conflict: Building with Nature (Overslag), bomen kunnen niet op de klei laag geplaatst worden, dit zou de kleilaag kapot maken.

Meekoppeling: Tegelijk aanleggen met klei-bekleding zorgt voor kostenbesparing.

1.2. Cementeren bovenlaag

Hierbij wordt het voorland bedekt met een cementlaag, dit creëert hetzelfde effect tegen piping als de klei-ingraving. Deze techniek is kwetsbaar voor zettingsverschillen en zorgt voor functieverlies van het land. Duurder dan de klei-ingraving. Het ruimtebeslag is vergelijkbaar met de klei-ingraving.

Conflict: Building with Nature (Overslag), er kan geen vegetatie op cement groeien

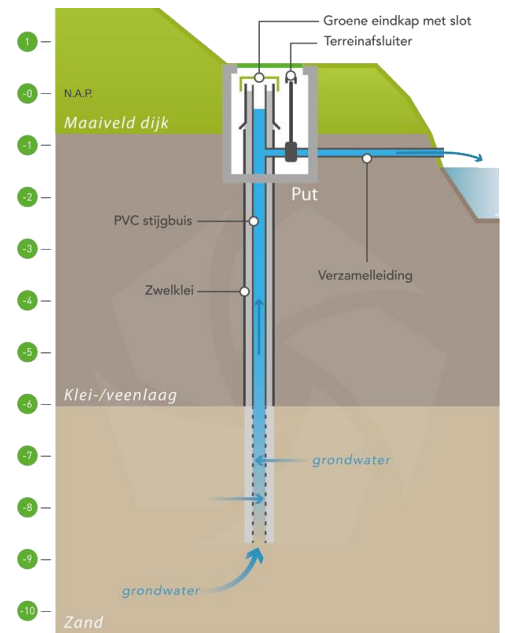
Meekoppeling: Tegelijk aanleggen met “cementeren buitentalud” zorgt voor kostenbesparing

1.3. Drainage: DMC, waterontspanner

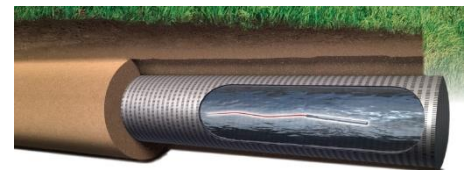
De Waterontspanner is een robuust hydrologisch systeem waarmee opbarsten en macro-stabiliteit kan worden voorkomen door het verlagen van de verhoogde waterdruk in zand- en siltlagen in de ondergrond gedurende hoogwaterperioden; zowel onder de dijk als in de ondergrond van het achterland. De Waterontspanner moet op lokale situatie grondcondities gedimensioneerd worden en is vooral effectief wanneer dieper liggende zandlagen worden afgedekt door onder veen en/of kleilagen (Dijkversterking zonder ruimtebeslag, 2015).

Het DMC-systeem geeft door middel van glasvezel sensoren informatie over de conditie van dijken. Dit gebeurt door het meten van de waterspanning en de watertemperatuur van het dijklichaam. Twee indicatoren die informatie leveren over de stabiliteit van de dijk. Als de indicatoren aanleiding geven om in te grijpen, treedt het systeem in werking dat zorgt voor het afvoeren of toevoegen van water. Hierdoor neemt de stabiliteit van het dijklichaam weer toe (HDDW, 2013). De waterontspanner en het DMC-systeem hebben weinig tot geen ruimtebeslag, alleen bij het aanleggen moeten een aantal geulen gegraven worden.

Meekoppeling: Ook een maatwerkoplossing voor Stabiliteit.



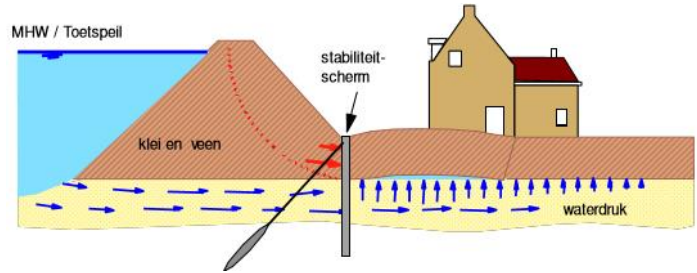
Figuur 22 Waterontspanner doorsnede en werking
Bron: (Dijkversterking zonder ruimtebeslag, 2015)



Figuur 23 Dijk Monitoring en Conditionering Systeem
Bron: (VolkerWessels, 2013)

1.4. Damwand

Een damwand is een grond- en/of waterkerende constructie, die bestaat uit een verticaal in de grond geplaatste wand. De wand bestaat uit losse elementen (planken of panelen) die door middel van een waterdichte messing-en-groefverbinding (genoemd 'slot' bij stalen damwanden) met elkaar zijn verbonden. De damwand wordt bij voorkeur in de binnenteen geplaatst (onderaan het talud aan de polderzijde). Hier is de krachtswerking optimaal en voldoet een relatief lichte damwand. Het principe van de verankerde damwand is in Figuur 24 geschetst. Op locaties waar geen ruimte is voor een berm in verband met bebouwing wordt de damwand aan de binnenwaartse zijde van de dijk, in het dijkta-
lud of in de kruin van de dijk geplaatst. De damwand alleen is niet sterk genoeg om het hele gewicht van de achterliggende dijk te ondersteunen. Daarom wordt de bovenkant van de wand gefixeerd met ankerstangen, die onder een hoek van circa 45 graden de vaste zandlaag onder de dijk in worden geboord (Vree, Waarom worden er verschillende constructies in de dijk aangebracht?). De damwand houdt het kanaal tegen door de waterdichte wand. Het ruimtebeslag is vrij weinig doordat het grotendeels onder de grond gesitueerd is, daarentegen kost het aanleggen enige extra meters ruimte.

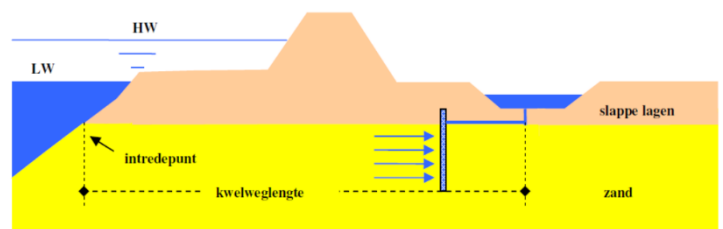


Figuur 24 Krachten op een damwand, Stabiliteit (rood) en Piping (blauw)
Bron: (Vree)

Meekoppeling: Is ook een oplossing voor stabiliteit, ook te combineren met een stabiliteitsberm (Stabiliteit), het scherm kan onder de berm worden gesitueerd.

1.5. Verticaal zanddicht geotextiel (VZG)

Het principe van het VZG berust op het feit dat het geotextiel wel water doorlaat, maar geen zand. Een tunneltje onder de dijk die aan de polderzijde tot ontwikkeling komt, loopt nu dood tegen het geotextiel. Hierdoor stroomt het water wel onder de dijk door maar blijft het zand onder de dijk liggen en kan er geen doorgaande pipe ontstaan. Voor deze methode zijn veel minder bouwstoffen nodig dan voor traditionele technieken waarvoor staal of betonproducten nodig zijn. Deze methode pakt gunstig uit voor de financiën, het klimaat en het grondstofverbruik vergeleken met de gangbare technieken (Boskalis, 2015). Het ruimtebeslag is enigszins gemiddeld, een kleine berm boven het kwelscherm is nodig zodat deze niet opdrijft door de kracht van het water. Ook kan deze techniek in de binnenteen of in het talud gesitueerd worden. Deze maatregel is nog niet uitvoerig getest en heeft meetapparatuur aan beide zijden van de barrière nodig.

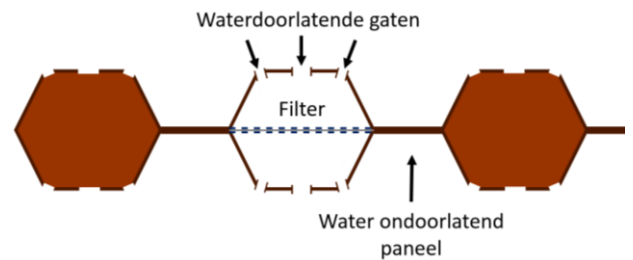


Figuur 25 Werking van geotextiel
Bron: (Gestel & Trul, 2013)

Meekoppeling: Kan gesitueerd worden onder een stabiliteitsberm (maar lost het stabiliteitsprobleem niet op).

1.6. Doorlatende kunststof damwand met filter

Een doorlatende kunststof damwand met filter combineert de twee bouwstenen hierboven. De macrostabiliteit oplossing van de damwand en de waterdoorlatendheid van het VZG. De kunststof damwand met waterdoorlatend filter is weergegeven in Figuur 26 en bestaan in principe uit 2 damwanden waarbij 1 damwand tegenovergesteld aan de ander staat en dit creëert hexagonale openingen bij de twee damwand buitenbochten terwijl de binnenbochten elkaar raken en zorgen voor een dik paneel. De gecreëerde openingen zullen worden voorzien van sleuven in de zijkant waar water doorheen kan lopen. In het binnenste van de hexagonale openingen wordt een filter gezet wat water doorlaat maar zand en andere objecten tegenhoudt. Het filter heeft dezelfde eigenschappen als het VZG. De twee gecombineerde bouwstenen in deze doorlatende en filterende damwand zorgt voor een bouwsteen die deels piping tegenhoudt en de stabiliteit van de dijk verzekerd. Het ruimtebeslag van deze bouwsteen is niet van belang aangezien het zich onder de grond bevindt, echter is voor het implementeren van deze maatregel een redelijke werkruimte nodig aangezien de geul die gegraven moet worden 2x de geul van de damwand is. De onderhoudskosten van deze bouwsteen zijn redelijk hoog door de mogelijkheid van verstoppingen en de controles die hierbij komen waarbij elke keer de kunststofdamwand opgegraven moet worden. Deze maatregel is nog niet uitvoerig getest en heeft meetapparatuur aan beide zijden van de barrière nodig.

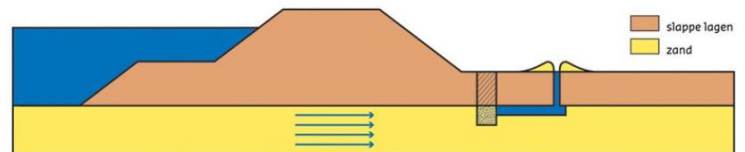


Figuur 26 Bovenkant doorlatende kunststofdamwand met filter

Meekoppeling: Ook een maatregel voor macro-instabiliteit en kan onder een stabiliteitsberm geplaatst worden (maar lost het stabiliteitsprobleem niet volledig op).

1.7. Grofzand barrière

De grofzand barrière werkt op dezelfde manier als het VZG, maar dan met grof zand in plaats van geotextiel. Het grove zand kan in tegenstelling tot het fijne zand juist niet wegspoelen. De korrelgrootte van het grove zand is zo uitgekozen dat het water doorlaat, maar het fijnere zand in de dijk tegenhoudt (Voogt, 2017). Het ruimtebeslag van de grofzand barrière op zichzelf is niet erg groot, het is vergelijkbaar met een damwand gleuf.



Figuur 27 Visualisatie grofzand barrière
Bron: (Dronkers, 2017)

Daarentegen neemt de berm die zich bovenop de grofzand barrière gaat bevinden, zodat deze niet omhoog komt, wel enige ruimte in. Deze maatregel is nog niet uitvoerig getest en heeft meetapparatuur aan beide zijden van de barrière nodig.

Meekoppeling: Kan gesitueerd worden onder een stabiliteitsberm (maar lost het stabiliteitsprobleem niet op).

1.8. Kwelsloten verleggen

Bij piping heb je een intrede punt aan de buitendijkse zijde, dit punt ligt het dichtst bij de dijk waar een waterdoorlatende en water ondoorlatende laag elkaar raken. Er is ook een uittrede punt aan de binnendijkse zijde waar het kanaaltje dat onder de dijk door loopt uitkomt en zand heen transporteert

(hierdoor ontstaan wellen). Aan de binnendijkse kant liggen naast dijken vaak sloten, dit zijn kwel sloten en zijn hier doelgericht aangelegd om water dat onder de dijk door stroomt te ontvangen. Deze sloten zorgen voor een controleerbaar uittrede punt, waardoor opbarsting van het land op een willekeurig andere plek voorkomen wordt. De bodem van deze sloten is makkelijk te bereiken voor een water kanaaltje omdat de bodem van de sloot een stuk dicht bij de waterdoorlatende laag ligt dan de normale landoppervlakte. Door het verleggen van deze sloot en de keuze van het kanaaltje voor de makkelijkste weg zal het uittrede punt verder komen te liggen en zal piping niet meer ontstaan.

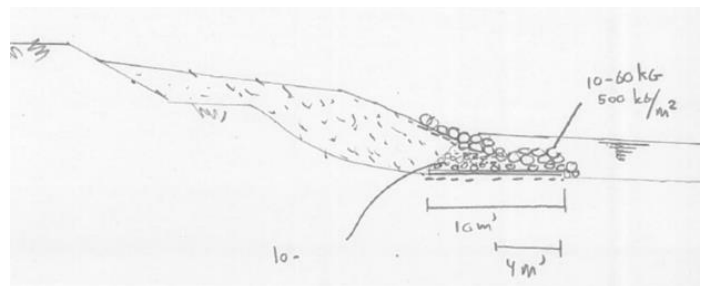
Meekoppeling: Ook een maatwerkoplossing voor Stabiliteit, maar heeft een klein oplossend effect.

1.9. Peilopzetten in de sloot

Een van de maatgevende factoren voor de kans op piping is het verval over de waterkering. Hoe groter het verval, hoe groter de binnendijkse waterspanning. Wanneer de waterspanning groter is dan de gronddruk, bestaat de kans dat de grond zal opbarsten. Om te voorkomen dat de waterspanning te groot wordt kan het verval worden verkleind door technieken zoals het verhogen van de binnenwaterstand (Vrijling, et al., 2010). Het verhogen van de binnenwaterstand is mogelijk door het ophogen van het waterpeil in de kwel sloten aan de binnenzijde van de dijk.

1.10. Verzwaren waterbodem & horizontaal waterbodem filter

Deze methode wordt alleen gebruikt bij een binnendijks waterlichaam. Het verzwaren van de waterbodem en het horizontaal waterbodem filter volgen hetzelfde principe als een pipingberm gecombineerd met een VZG. Door het verzwaren wordt tegendruk opgewekt die, als deze groter is dan de waterdruk, piping tegenhoudt. Het geotextiel zorgt ervoor dat het meevoeren van zand wordt gestopt indien de waterdruk toch hoger wordt. Op de locatie waar de normale berm overloopt in het waterlichaam wordt de berm doorgetrokken tot de waterbodem met stortsteen. Onder dit stortsteen wordt een geotextielweefsel aangebracht met een wiepenrooster. Voor de breedte wordt uitgegaan van 10 meter. Het geotextiel wordt afgezonken met een kleine fractie steenachtig materiaal (20-40 mm) tot er een rug boven water staat. Achter deze rug wordt zand aangevuld. Rond de waterlijn wordt op het zand een geotextielscherm aangebracht. Vanaf de bestaande waterbodem tot 0,5 meter boven water wordt stortsteen aangebracht (Frakking, 2018).



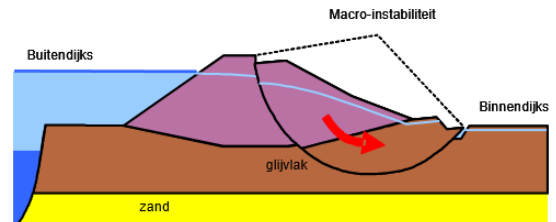
Figuur 28 Visualisatie verzwaren waterbodem en horizontaal filter
Bron: (Frakking, 2018)

Meekoppeling: Ook een maatwerkoplossing voor Stabiliteit, de berm in Figuur 28 kan functioneren als stabiliteitsberm

Conflict: Deze methode is niet mogelijk met een aanwezige pipingberm.

2. Stabiliteit

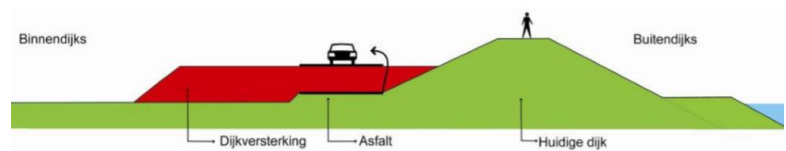
De stabiliteit van een dijk is cruciaal voor het keren van water, zodra de stabiliteit verzwakt kan de dijk gemakkelijk falen. De stabiliteit van een dijk bestaat uit vele factoren: macrostabiliteit (afschuiving van een binnen- of buitentalud), microstabiliteit (wegvallen stabiliteit tussen grondlagen), instabiliteit door erosie en afslag van bekleding. In dit hoofdstuk, wordt alleen macrostabiliteit besproken en nog specifiek wordt er alleen het afschuiven van het binnentalud besproken, aangezien dit het enige probleem is met stabiliteit dat zich afspeelt in het dijktraject van dit onderzoek. Dit afschuiven treedt op langs rechte of gebogen glijvlakken, waarin door overbelasting geen krachteenwicht meer aanwezig is. De sterkte-eigenschappen en de waterspanningen in en onder de grondconstructie bepalen de weerstand tegen afschuiven. Een hoge buitenwaterstand leidt tot een verhoging van het freatisch vlak in het grondlichaam en een verhoging van waterspanningen in de ondergrond, waardoor de weerstand tegen afschuiven reduceert (Rijksoverheid, 2006).



Figuur 29 Afschuiving binnentalud door macro-stabiliteit via een gebogen glijvlak (glijvcirkel)
Bron: (van Duinen, 2014)

2.1. Steunberm

Een steunberm is een groot pakket grond achter de dijk als een extra verdieping van de dijk, weergegeven in Figuur 30. Dit grote pakket zand geeft tegendruk op de dijk waardoor het afschuiven van het binnentalud wordt voorkomen. Het ruimtebeslag van deze steunberm is redelijk groot, het zal de dijk verbreden met meestal rond de 10 tot 20 meter (met enkele uitschieters van 25 tot 35 meter). Dit ruimtebeslag in breedte gepaard met de verhoging die de berm ook met zich meebrengt zal een knelpunt opleveren met veel objecten dicht naast de dijk. Sommige objecten kunnen op de steunberm aangebracht worden zodra deze geen constructies hebben onder de grond, dit zal echter de steunberm groter maken om de druk die het gewicht van het object op de steunberm opwekt tegen te werken.



Figuur 30 Visualisatie steunberm
Bron: (Royal HaskoningDHV, Verzwaring of aanleg van een binnenberm)

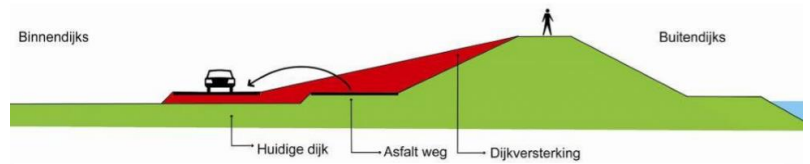
Meekoppeling: Een kwelscherm onder de stabiliteitsberm houdt het kwelscherm op zijn plek en kan deze niet opdrijven. Daarnaast kan een stabiliteitsberm overlopen in een pipingberm. De berm kan ook ingekort worden en het overige deel kan opgevangen worden door een damwand (combinatie van verschillende maatregelen (combinaties mogelijk bij meerdere maatregelen)).



Figuur 31 Steunberm met een damwand
Bron: (Royal HaskoningDHV, Verzwaring of aanleg van een binnenberm)

2.2. Talud verflauwen

Een dijk heeft een bepaalde verhouding in het talud (de schuine zijdes/wanden van een dijk). Deze verhouding is minimaal 1:2 (Waterschap Rivierenland, 2010) voor de meeste normale rivierdijken en zal bij de meeste dijken flauwer zijn. Door het verflauwen van het talud zal deze verhouding verschuiven naar een bredere verhouding met maximaal een 1:20 verhouding. Het principe van instabiliteit tegen gaan is hetzelfde als de steunberm, het toevoegen van een extra pakket zand als gewicht om tegendruk op te wekken zodat het afschuiven wordt voorkomen. Gelijk aan de steunberm zal deze oplossing veel ruimte opeisen in de breedte en in de hoogte. Bij een overgedimensioneerde verflauwing, kunnen objecten, indien het talud de extra druk aankan, op het talud komen te staan.



Figuur 32 Visualisatie taludverflauwing

Bron: (Royal HaskoningDHV, Verzwaren of aanleg van een binnenberm)

Meekoppeling: Kan een deel van de kwellingte op zich nemen, bredere dijk en een minder brede pipingberm, daarnaast kan het de overslagproblemen tevens oplossen

2.3. Damwand/palenrij

De damwand is uitgelegd en weergegeven in 1.5 waar ook te zien is dat de damwand niet alleen piping tegen gaat maar ook een maatregel is voor het stabiliteitsprobleem. In het figuur is te zien dat de horizontale krachten van de dijk worden opgevangen door de verticale verankerde damwand.

De palenrij heeft veel weg van de damwand maar zit net iets anders in elkaar. Zoals de naam letterlijk zegt is dit over de lengte van de dijk een dikke rij betonnen palen die tegen elkaar aan staan. De palenrij heeft net als de damwand een voorkeur voor de binnenteen, maar kan indien nodig in de kruin of in het talud geplaatst worden. Een palenrij is meestal ook geankerd. Deze palenrij neemt net als de damwand de krachten van het afglijden op zich. Deze maatregel is bij piping niet genoemd aangezien er tussen de palen geen afscherming zit waardoor het water hier makkelijk tussendoor zou kunnen stromen. Ook het ruimtebeslag is hetzelfde als bij de damwand.



Figuur 33 Palenwand/Palenrij in de dijk kruin

Bron: (Waterschap Rivierenland, 2015)

Meekoppeling: De damwand is ook een bouwsteen voor piping

2.4. Draineren zandkern of berm

Het draineren van de zandkern of berm is een mogelijke maatregel tegen instabiliteit. Door het wegpompen van het water (draineren) zal het freatisch vlak in de dijk verlagen. Het freatisch vlak is een visualisatie hoe het hoogste punt van hoogwater de dijk infiltreert aan de buitendijkse zijde en hoe deze zijn weg vervolgd door het dijklichaam, zie Figuur 29. Zodra dit freatisch vlak hoog ligt (in het algemeen(gesimplificeerd)) in de dijk zal de dijk sneller afglijden aan het binnentalud. Het verlagen van dit freatisch vlak met behulp van draineren zal de dijk beduidend sterker maken tijdens hoogwaterperiodes en voorkomt instabiliteit. Het draineren van een dijk kan via een speciale Drenobuis (Hatek Groep, n.d.), hier loopt het water als het ware heen, of het kan via een pomp die het water uit de

dijk trekt. Het onttrekken van water uit de dijk is een sterkere en snellere methode dan het water in een Drenobuis te laten lopen, hierdoor zal met een pomp het freatisch vlak ook lager komen te staan. Het ruimtebeslag bij deze bouwsteen is vrij klein aangezien alleen de pomp ruimte inneemt op verschillende plekken, echter is er wel veel werkruimte nodig voor het aanleggen van de buizen en pompen. Het nadeel van draineren is de grote hoeveelheid onderhoud die nodig is voor het controleren en schoonmaken van verstopte buizen.

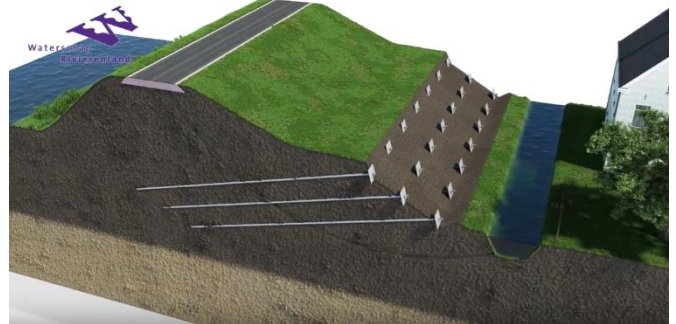
2.5. DMC/waterontspanner

De DMC/waterontspanner is uitgelegd en weergegeven in 1.4 van deze bijlage. Alhoewel dit apparaat het faalmechanisme piping tegen gaat is het ook bruikbaar tegen macrostabiliteit. Hierbij zorgt het verlagen van de verhoogde waterdruk in zand- en siltlagen voor minder opdrijving van de hoger gelegen kleilagen.

Meekoppeling: Is ook een bouwsteen voor piping

2.6. Dijk vernageling

Bij dijkvernageling worden nagels met een kern van staal of kunststof in de dijk geplaatst. De kern is omhuld met een schil van grout (cement en water) die zorgt voor een goede hechting tussen de nagels en de grond in de dijk. Deze techniek tast de omgeving niet aan en is geschikt voor locaties waar de ruimte beperkt is. Bovendien is dijkvernageling kosten efficiënt. De nagels verankeren als het ware het gedeelte van de dijk dat naar beneden zou willen zakken (afschuiven) aan het gedeelte van de dijk dat stabiel blijft. Daarnaast versterken de elementen het grondmassief op dezelfde wijze als wapeningsstaal dit doet voor beton waardoor de dijk sterker wordt en er minder snel een gedeelte van de dijk af kan schuiven. Het aanbrengen van de nagels gebeurt op een trillingvrije wijze waarbij geen geluidsoverlast optreedt. Daarnaast is het ruimtebeslag voor het aanbrengen van de nagels klein (Volker Staal en Funderingen, 2005).

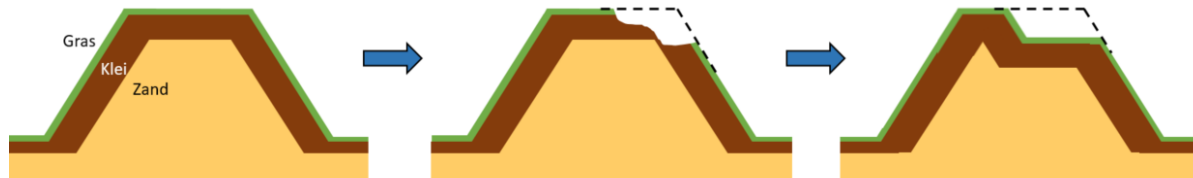


Figuur 34 Dijkvernageling
Bron: (Waterschap Rivierenland, 2015)

2.7. Dijk deels verlagen

Het verlagen van de dijk klinkt misschien als een rare methode om dijk falen te verminderen (aangezien het overstromen van een dijk voor de meeste mensen in Nederland de dominante factor voor dijk falen lijkt). Maar zolang een klein deel van de dijk hoog genoeg blijft is het overstromen van de dijk geen probleem (zie Figuur 35). Het extra gewicht van het bovenste deel van een hoge dijk zorgt voor druk van bovenaf, wat het afglijden van grond via de glijcirkel bevordert. Bij het verlagen van een deel van de dijk

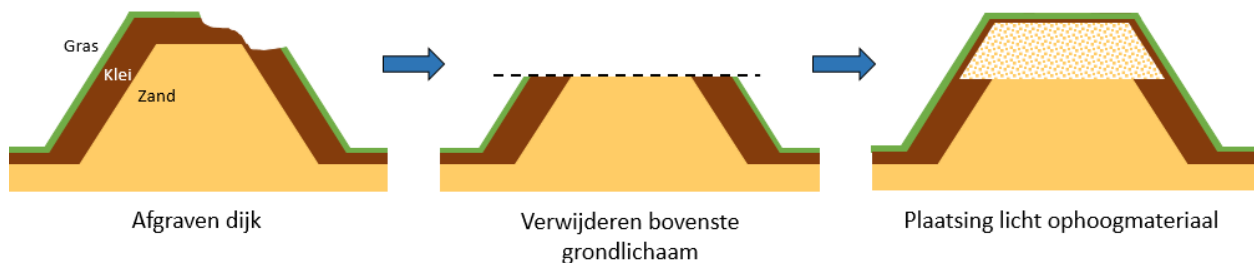
wordt de druk van bovenaf verminderd en is er minder kans op afglijden van het binnentalud. Het ruimtebeslag in de breedte zal niets veranderen.



Figuur 35 Visualisatie dijk deels verlagen

2.8. Licht ophoog materiaal

De maatregel van een deel van de dijk vervangen door licht ophoog materiaal is gebaseerd op dezelfde techniek als die van de dijk deels verlagen. Door het bovenste deel van de dijk te vervangen door licht materiaal is de druk op de dijk eronder sterk verminderd. Hierbij neemt het risico op bijvoorbeeld het afschuiven via een glijcirkel af. Het lichtere materiaal kan bijvoorbeeld flugzand (loskorrelig poreus vulkanisch glas), bims (vulkanisch puimsteen), geëxpandeerde klei of leisteen, gegranuleerde hoogovenslak (vermalen bijproduct van hoogovenproces (bestaat voornamelijk uit metaaloxiden)), schuimglas (gerecycled vermalen en afgebakken glas wat leidt tot een sponsachtig materiaal), etc. zijn (CROW, 2010). Bij een goed gekozen licht ophoogmateriaal is er nog genoeg sterkte voor een openbare weg of andere druk uitvoerende objecten. Het ruimtebeslag van deze methode is hetzelfde ruimtebeslag van de originele dijk.



Figuur 36 Vervanging bovenste grondlichaam door licht ophoogmateriaal

2.9. Taludverzwaring (zetstenen)

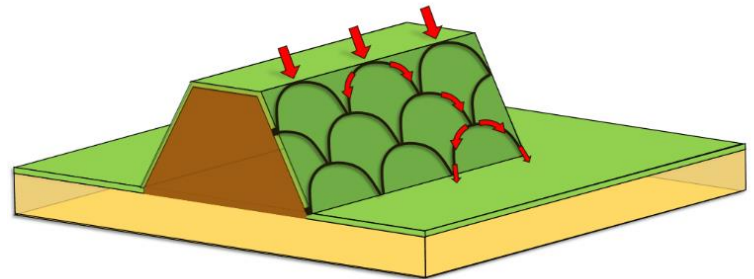
Het binnentalud (de schuine helling van de dijk aan de binnendijkse zijde) bestaat in het ideaal beeld van een rivierdijk uit een laag klei met een grasbekleding. Om de macrostabiliteit van de dijk te waarborgen is een van de maatregelen een taludverzwaring waarbij de grasbekleding wordt vervangen met zetstenen. Deze maatregel is alleen van kracht zodra het water de dijk overtopt en het water over het binnentalud loopt. Over het binnentalud lopen van water kan snel erosie veroorzaken en de dijk zwaar verzwakken. Om deze erosie tegen te gaan is het een mogelijkheid om de dijkbekleding te vervangen door zetstenen, deze stenen houden de dijktoplaag eronder intact zodra water over het binnentalud stroomt. De macrostabiliteit wordt hiermee versterkt (indien de dijk wordt overtopt). De zetstenen hebben een klein ruimtebeslag aangezien deze alleen de bekleding vervangen en iets hoger uitsteken uit het binnentalud. Het nadeel van de taludverzwaring is het beperkte effect op de volledigheid van

macrostabiliteit en andere nadelen zijn het weghalen van een natuurlijke factor van de dijk, namelijk de grasmat binnendijks en de hoge kosten.

Meekoppeling: Dit is ook een bouwsteen voor het vervangen van bekleding

2.10. Taludbogen

Taludbogen zijn gebaseerd op een techniek die ze ook bij het spoor gebruiken. In feite zijn het allemaal halve bogen zoals een boogbrug, die plat op het talud liggen in meerdere lagen boven elkaar. De taludbogen is nog een vrij nieuw idee en heeft als functie het afdragen van de krachten die op een dijk komen te staan via de bogen net als dat een brug dit doet. De krachten die bovenop de boog staan worden via de boog afgedragen naar de volgende boog enzovoort tot de laatste boog de krachten naar de grond aan de binnendijkse zijde lijdt. De bogen hebben eenzelfde ruimtebeslag als de zetstenen, aangezien de bekleding deels wordt vervangen door de stenen bogen. Daarnaast hebben de taludbogen dezelfde nadelen als de zetstenen qua natuurbehoud en kosten.



Figuur 37 Afdragen krachten door taludbogen

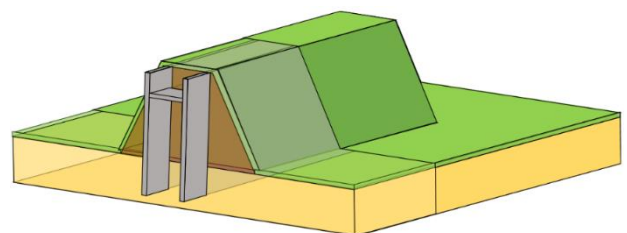
Meekoppeling: Deze bouwsteen kan meegenomen worden bij vervangen bekleding

2.11. Kistdam / Diepwand

Een kistdam of kofferdam is een tijdelijke omsluiting gebouwd in het water om het omsloten gebied leeg te pompen. Op die manier kan men een droge werkomgeving creëren voor grote werkzaamheden. Daarnaast kan een kistdam ook gebruikt worden als constructie in de dijk om zo de macrostabiliteit van de dijk te waarborgen. Een kistdamconstructie bestaat uit twee rijen stalen damwanden of betonnen wanden, die onderling gekoppeld zijn. Waar bij een gewone enkele damwand de stabiliteit een samenspel tussen wand en het omliggende grondlichaam is, is een kistdam in principe zelfstandig waterkerend. Ook een kistdam moet tot in het Pleistocene zand aangebracht worden (Royal HaskoningDHV, 2012). Deze techniek van dijkversterking bestaat al erg lang, als voorbeeld de kistdam in Figuur 38 bevindt zich in Zeeland en is al meer dan 30 jaar in gebruik.



Figuur 38 Kistdam in een dijk in Zeeland met een uitstekende kop
Bron: (De Beeldbank, 1986)



Figuur 39 Visualisatie Kistdam (zonder uitstekende kop)

Naast een kistdam bestaat er ook een diepwand als zelfkerende constructie. Een zelfkerende constructie is een constructie die op zichzelf de druk en opstuwing van een hoogwaterperiode aan kan zonder hulp van de dijk. Dus een dijk met een goede kistdam of damwand zou in principe compleet kunnen wegschuiven en dan zou de kistdam of damwand het achterland nog beschermen. Dit geeft meteen al een goed beeld hoe diep deze constructies moeten zitten om de krachten van hoogwater zelf aan te kunnen en hoeveel moeite en geld het kost om deze constructie te realiseren. Een diepwandconstructie bestaat uit een enorme wand van gewapend beton, die in de dijk geplaatst wordt tot een redelijk stuk in het Pleistocene zand (dragende grondlaag). Het uitsnijden van de gleuf waar een diepwand in wordt aangebracht wordt uitgevoerd door een speciale machine. Het extra ruimtebeslag voor de diepwand en de kistdam is er bij de standaard situatie niet aangezien alles onder de grond zit. Zodra deze constructie meegekoppeld wordt in het bestrijden van het hoogteprobleem/hoogtetekort van een dijk dan is er daadwerkelijk wel ruimtebeslag zoals te zien is op Figuur 38 van de dijk in Zeeland. Ondanks dat het ruimtebeslag van deze maatregelen klein is, is bij de aanleg van de zelfkerende constructies een redelijke werkruimte nodig.

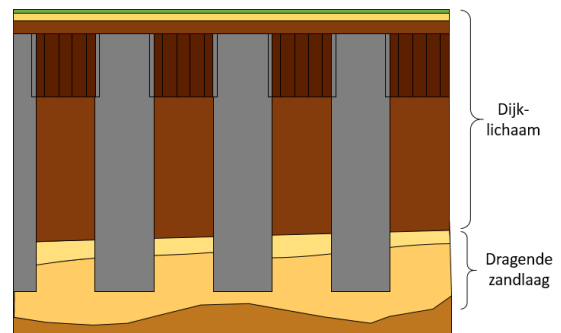
Meekoppeling: Deze maatregel/bouwsteen is zelfkerend en neemt naast het stabiliteitsprobleem ook het pipingprobleem en, indien de diepwand ook bovenuit de dijk steekt, het hoogteprobleem op zich.

2.12. Diepwand baretten

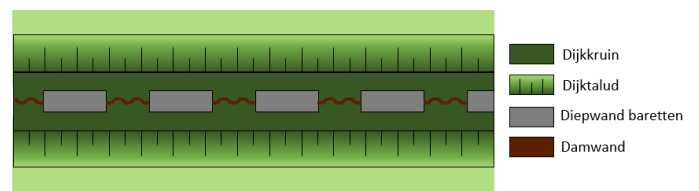
Diepwandbaretten zijn in de grond gevormde betonnen funderingselementen van rechthoekige afmetingen die tot grote diepten (ca 60 m) in de bodem kunnen worden aangebracht. Ze worden om en om aangebracht met een lege afstand van een paar meter ertussen. Terwijl deze elementen gestort worden wordt er 1 damwandpaneel aan de twee zijanten uitgestoken. Zodra alle diepwandbaretten op hun plaats liggen met de respectievelijke ruimte ertussen, worden de uitstekende damwandpanelen aan beide kanten van de lege ruimte aan elkaar verbonden met een damwand. Deze methode is net als een standaard diepwand een bouwsteen voor instabiliteit en het hoogteprobleem van de dijk, echter zijn de diepwand baretten niet een maatregel voor piping. Dit komt doordat de diepwand baretten net zo diep als de standaard diepwand in de kruin geplaatst worden, maar de tussenliggende damwanden deze diepte niet halen. Het ruimtebeslag zal, indien deze combinatiewand niet gebruikt wordt voor het hoogteprobleem, niet aanwezig zijn aangezien alles zich onder de grond bevindt. Zodra het hoogteprobleem wel wordt aangepakt met deze maatregel zal er op de kruin ruimtebeslag zijn van het uitstekende element. De kosten van deze methode ten opzichte van een standaard diepwand zijn vele malen lager.



Figuur 40 Visualisatie diepwand op een knelpunt locatie
Bron: (Waterschap Rivierenland, 2015)



Figuur 41 Zij-aanzicht Diepwand baretten



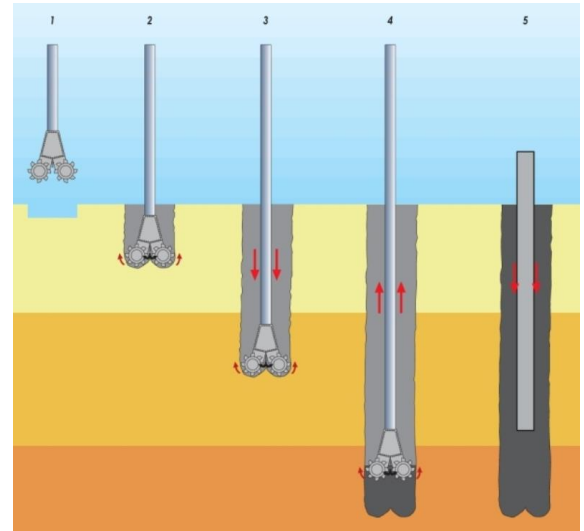
Figuur 42 Boven-aanzicht diepwand baretten

Meekoppeling: Deze bouwsteen is zelfkerend en neemt naast het stabiliteitsprobleem, mogelijk ook het hoogteprobleem op zich.

2.13. Soil mix wand (CSM)

Een cutter soil mix wand heeft veel weg van een diepwand qua afmetingen en vorm, echter bestaat de soil mix wand uit een ander materiaal en is wordt het op een efficiëntere manier in de dijk geplaatst. Een cutter soil mix wand (CSM-wand) is een aansluitende kerende wand bestaande uit elkaar overlappende panelen gevormd door het intens in situ mechanisch mengen van de plaatselijke grond met een continu geïnjecteerd hydraulisch bindmiddel. De grondkerende functie ontstaat door boogwerking na verharding van het mengsel “grond in situ-bindmiddel” tussen profielen, geplaatst in vloeibare fase.

De cutter soil mix wand zit op dezelfde manier in de dijk als een diepwand en heeft daardoor ook hetzelfde ruimtebeslag. Echter de plaatsing van de soil mix wand is beduidend anders en is weergegeven in Figuur 43. Waarbij eerst de grond wordt ingefreest en losgewoeld tot de CSM frees het gewilde dieptepunt bereikt waarna de frees wordt opgetrokken en het cementmengsel samen met de omgewoelde grond wordt gemengd door de nog draaiende frees. In dit cement/grond mengsel worden de profielen geplaatst (Franki Grondtechnieken, 2009)



Figuur 43 Werking Cutter Soil Mix frees
Bron: (Franki Grondtechnieken)

2.14. Verleggen kwelsloot

Het verleggen van de kwelsloot is reeds uitgelegd in 1.9. Deze maatregel kan ook gebruikt worden bij instabiliteit, omdat het verleggen van de kwelsloot de kwelstroom dempt en dit zorgt voor een kleinere waterspanning in de dijk en dus voor een grotere stabiliteit. Daarnaast zorgt het verleggen van de kwelsloot voor een verlengde/grotere glijcirkel. De grotere glijcirkel zorgt ervoor dat het grondpakket meer weerstand ondervindt, wat betekent dat het grondpakket minder snel zal afschuiven.

Meekoppeling: Dit is ook een maatregel tegen piping

2.15. Verzwaren waterbodem

Het verzwaren van de waterbodem was een onderdeel van de oplossing van 1.11 en is ook op zichzelf effectief tegen het macro-stabiliteitsprobleem van binnendijs afschuiven. Bij een binnendijs waterlichaam in de buurt van de dijk kan er nog steeds een berm worden gerealiseerd indien deze doorloopt in het waterlichaam als een waterbodem verzwarende. De deels onder- en deels bovenwatergelegen stortstenen nemen het gewicht en daarmee te tegendruk van het missende stuk berm over met het voordeel dat deze zware keien niet kunnen eroderen of verplaatsen op een redelijk lange termijn. De combinatie van deze berm en de verzwaarde waterbodem geven een tegendruk op de dijk om zo afschuiving te voorkomen. Het is ook een methode om het afschuiven van het waterlichaam zelf tegen te gaan, hierbij wordt er tegendruk gegeven op de oever. Het afschuiven van de oever zou geen direct waterveiligheidsprobleem vormen, al zou het wel indirect, indien het niet verholpen wordt, kunnen leiden tot instabiliteit in het binnentalud.

2.16. Ondoorlatend binnentalud door kleilaag

Deze maatregel is ontworpen voor op het moment dat er overslag plaatsvindt en er water over het binnentalud begint te lopen. Het water ondoorlatend maken van het binnentalud wordt gerealiseerd met een 1 meter dikke kleilaag. Zodra er water over de dijk loopt zal deze beperkt infiltreren in de dijk, waardoor het freatisch vlak van de dijk niet stijgt. Het freatisch vlak is een visualisatie hoe het hoogste punt van hoogwater de dijk infiltreert aan de buitendijkse zijde en hoe deze zijn weg vervolgd door het dijklichaam, zie Figuur 29. Zodra dit freatisch vlak hoog ligt in de dijk zal de dijk sneller afglijden aan het binnen- of buitentalud (in het algemeen(gesimplificeerd)). Bij een overslagmoment waarbij water over een doordringbare laag loopt zal het freatisch vlak snel ophogen. Het ondoordringbaar maken van deze laag zal de macro-stabiliteit binnenwaarts verbeteren zodra er overslag plaats vindt. Het ruimtebeslag van deze bouwsteen is minimaal aangezien alleen de bekleding en een laag van de dijk wordt vervangen door een kleilaag.

Meekoppeling: Kan ook gerealiseerd worden in een grondconstructie achter de dijk (bermen, verflauwingen). Is ook een maatregel voor overslag

2.17. Gewapende grond

Over het algemeen bestaat gewapende grond uit een kunststof doek en een zand/grond-pakket. Het pakket zand of grond wordt op het doek aangebracht en verdicht, waarna het doek wordt omgeslagen over het zandpakket heen. Vervolgens komt er een volgend doek waardoor er een soort matras ontstaat, weergegeven in Figuur 44 Doordat het kunststof doek een roosterachtige structuur heeft krijgt het de functie van wapening. Gewapende grond is vele malen goedkoper dan een traditionele oplossingen zoals stalen damwanden of een betonnen wanden.

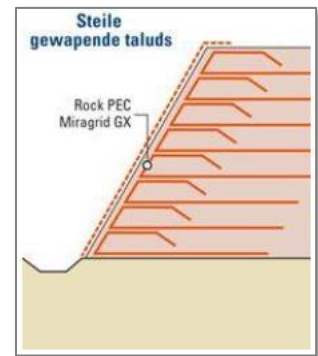
De gewapende grond is een techniek die al redelijk lange tijd bestaat. Al duizenden jaren geleden gebruikte men gewapende grond. Zo hebben de Romeinen rieten matten toegepast om de wegopbouw stevig te maken.



Figuur 45 Voorbeeld gewapende grond
Bron: (Molhoek, 2016)

Deze techniek gebruikt hetzelfde principe als de steunberm: het opwekken van tegendruk tegen de binnendijkse zijde van de dijk door een grote hoeveelheid gewicht ertegenaan te zetten. Echter is het zand/grondpakket zo compact in elkaar gedrukt in matrassen dat het gewicht per volume een stuk groter is dan een stabiliteitsberm. Dit zorgt voor een kleinere hoeveelheid grond en daarmee ook een kleiner ruimtebeslag dan een traditionele steunberm.

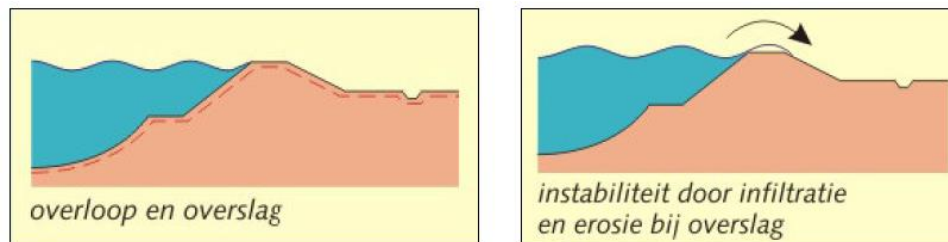
Conflict: De pipingberm gaat niet samen met deze maatregel door conflicterend ruimtebeslag.



Figuur 44 Zijaanzicht van een gewapend talud
Bron: (de Vree)

3. Overslag

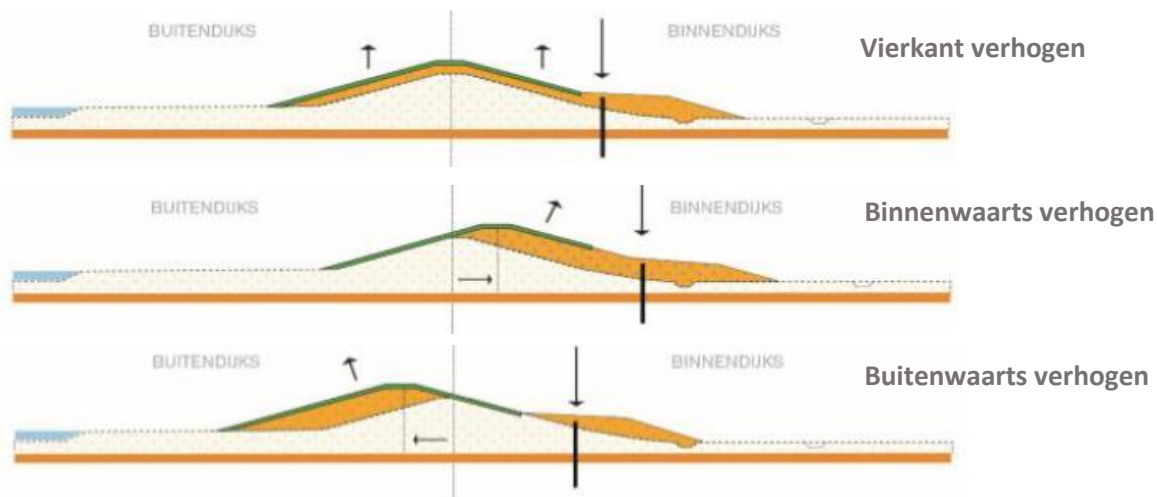
Het meest zichtbare en meest bekende faalmechanisme is overtopping of overslag waarbij een dijk te laag is om vaker voorkomend hoogwater te keren. De meeste mensen zullen het falen van een dijk zien als een te lage dijk waar water overheen zal stromen wat een overstroming veroorzaakt (dit is natuurlijk maar bij een klein deel van de gevallen juist). Bij golfoverslag slaat of golft er onregelmatig water over de dijk. De hoeveelheid water kan veel zijn, maar de duur is steeds kort. Golfoverslag ontstaat door een combinatie van een hoge buitenwaterstand en een grote golfhoogte (ten gevolge van een harde wind of scheepvaart). Het water hoeft dus nog niet tot aan de kruin te staan in geval van overslag. De hoeveelheid water dat over de dijk komt zal meestal niet het probleem zijn (Van der Meer, 2002). Om de overslag bij een dijk te voorkomen moeten er maatregelen genomen worden. Hierbij klinkt het simpel ophogen van de dijk met grond als een logische oplossing, maar dit is niet altijd de meest gewenste oplossing. Om noodwerkzaamheden aan de dijk bij hoogwater mogelijk te maken en vanwege onzekerheden in de berekeningen geldt een minimale waakhogte van 0,5 m. Om golfoverslag afdoende te beperken, is vaak een grotere marge noodzakelijk (van der Linde & Verkerk, 2008). De hoeveelheid water die in het geval van overslag over de kruin slaat, wordt 'overslagdebiet' genoemd. Een te groot overslagdebiet kan leiden tot erosie van kruin en binnentalud of tot instabiliteit van het dijklichaam door infiltratie van water in de dijk. Daarnaast kunnen te grote hoeveelheden water die over de dijk slaan leiden tot onbeheersbare situaties bij hoogwater. Vanwege de karakteristieke rivierdijken in het traject Zwolle - Olst met veel verschil in taludhelling steilheid en de ontwikkeling van een sterke grasmat, wordt de dijkhoogte over het algemeen getoetst aan een overslagdebiet van $1 \text{ l} / \text{m}^1 / \text{s}$. In Figuur 46 is het faalmechanisme gevisualiseerd, in Figuur 54 bij het faalmechanisme bekleding is de instabiliteit door erosie aan het binnentalud bij overslag gedetailleerder weergegeven.



Figuur 46 Veiligheidsprobleem kruinhoogte
Bron: (de Groot, 2006)

3.1. Dijkophogen in grond

Dit is de meest standaard oplossing voor een hoogteprobleem, het verhogen van de dijk met meer grond. Bij de techniek wordt meestal ook de dijk verbreed, aangezien het talud anders verschuift naar een te steiler talud dan de norm van 1:3. Dus 1 meter dijkophogen betekent aan onderkant aan weerszijden 3 meter breder (Groenewoude, 2014). Verder is deze techniek relatief goedkoop aangezien het bijna alleen bestaat uit grond neerleggen. Er zijn enkele nadelen aan deze vrij eenvoudig methode die vaak resulteren in een lastigere oplossing. Zodra er huizen of andere panden op of achter de dijk staan hebben deze vaak uitzicht op de rivier en de natuur op de buitendijkse zijden, dit is ook een groot aandeel in de huis zijn waarde. Bij het verhogen van de dijk met grond is er veel tegenspraak aangezien het uitzicht verloren kan gaan en daarmee ook de huiswaarde zakt. Dit probleem is erg specifiek voor de enkele locaties waar dit voorkomt, maar het speelt wel een grote rol in keuze (ligt er ook aan hoeveel verhoging er moet komen en hoe hoog de huizen staan). Daarnaast wordt de dijk ook verbreed op sommige stukken, dit kan huizen of panden raken waardoor dit ook niet gewenst is. Bij het dijkophogen is er nog een keuze hoe deze verhoogd wordt, vierkant, binnenwaarts of buitenwaarts verhogen.



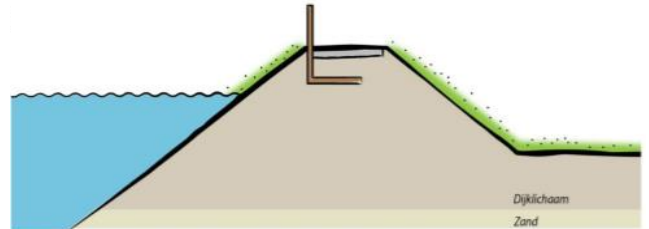
Figuur 47 Varianten voor dijkverhoging
Bron: (van Zundert, Sedee, & Nije Bijvank, 2018)

3.2. Tuimelkade (grond)

Een tuimelkade is als het ware een heuveltje, in een dijkvorm met hetzelfde talud als de dijk, die op de kruin wordt geplaatst aan de binnen- of buitenzijde. Het toepassen van een tuimelkade als dijkversterking wordt overwogen als om bepaalde redenen een aanpassing van de kruin over de volle breedte niet wenselijk of mogelijk wordt geacht. Een tuimelkade biedt dan enige voordelen, zoals het gebruik van minder materiaal. Dit geeft financieel voordeel en beperkt wellicht eventuele zettingen. Als nadeel kan worden genoemd dat een tuimelkade minder breed is dan de kruin bij een vergelijkbare gewone dijkverbetering. Daardoor zal na het ontstaan van eventuele schade sneller falen kunnen optreden dan het geval is bij een dijk met een kruin, die over de volle breedte is verhoogd. Een ander nadeel van een tuimelkade is het belemmeren van het zicht. Afhankelijk van de ligging van de kade wordt het zicht ontnomen op het buitenwater of op het gebied binnendijks (Johanson, 1990). Het onderhoud zal bij deze bouwsteen erg meevallen en het ruimtebeslag valt ook relatief mee, in vergelijking met de andere bouwstenen, aangezien het minder dan de helft van de kruin bevat.

3.3. Tuimelkade (constructie op de kruin)

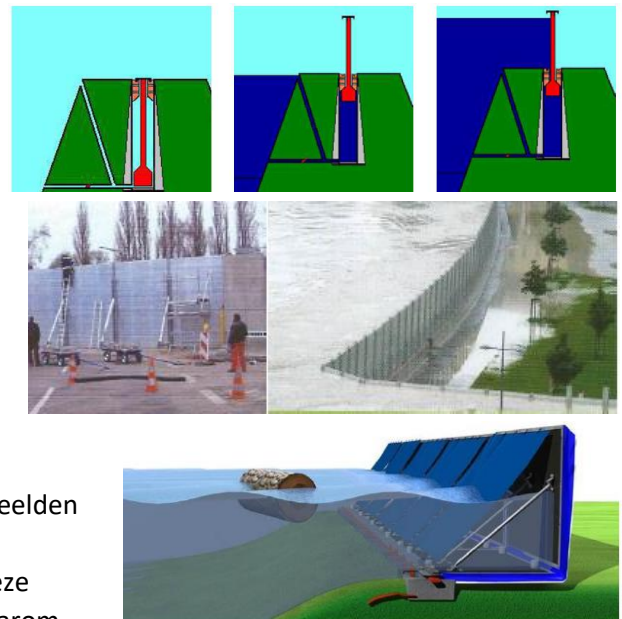
Als alternatief voor een tuimelkade dient de mogelijkheid van het plaatsen van een keermuur of een verhoging met caissons te worden genoemd. Een keermuur is letterlijk een gemetselde muur of betonnen muur van een bepaalde dikte die zich op de kruin bevindt en hierboven uitsteekt. Dit muurtje moet sterk genoeg zijn om golven aan te kunnen en hoog genoeg zijn om golfoverslag te voorkomen. Caissons zijn betonelementen zonder bodem die aan elkaar worden gekoppeld en met grond worden gevuld, voor deze elementen geldt hetzelfde als het muurtje. Naast deze twee bekende tuimelkade constructies op de dijk zijn er meerdere varianten. In het algemeen zullen dergelijke constructies in de onderhoudssfeer enige extra werkzaamheden vereisen (Johanson, 1990). Dit komt vooral door het onregelmatig maken van de toplaag van de dijk (maaien kan bijvoorbeeld een stuk ingewikkelder worden). Deze bouwsteen is een prijzige bouwsteen in vergelijking met de tuimelkade van grond, maar is daarnaast wel robuuster en kan niet eroderen of makkelijk aangetast worden door menselijke ingrepen. Het ruimtebeslag is groot aangezien het een muurtje is, echter treedt er wel verlies aan uitzicht op (vooral voor huizen achter of op de dijk).



Figuur 48 Vaste keermuur op de kruin
Bron: (Royal HaskoningDHV, 2014)

3.4. Beweegbare kering (permanent op de locatie aanwezig)

Een beweegbare kering die permanent op de locatie aanwezig is, is een kering die bij gebruikelijke normale waterstanden niet actief is, maar bij hoogwater wel in actie komt. De beweegbare kering is een zeer algemene term aangezien er vele oplossingen bestaan hiervoor. Een coupure is er 1 van waarbij er een sleuf in de dijk zit waarin een wand geplaatst kan worden, een wand omhoog komt, een wand van de zijkant komt, twee deuren inzitten, enz. (zelfs hierin is ook al heel veel keuze). Alle beweegbare keringen die er bestaan hebben in gemeen dat ze zijn gemaakt van robuust materiaal dat niet losse grond is, aangezien ze een semi-zelfkerend karakter moeten hebben. Sommige keringen moeten handbediend worden zodra er hoogwater opgemerkt is, andere meer geavanceerde beweegbare keringen hebben sensoren die de stijging van het water bijhouden. In de figuren hiernaast zijn een aantal voorbeelden gegeven van innovatieve beweegbare keringen die minder onderhoud of minder beheer nodig hebben (Infram, 2016). Deze beweegbare keringen zijn echt nog niet goed getest en zijn daarom niet compleet betrouwbaar. Voor deze bouwsteen wordt voor nu uitgegaan van een standaard muur die zelf omhoog gehaald moet worden.



Figuur 49 Innovatieve ideeën voor kruinhoogtetekort (Self closing flood barrier, Systeemwanden & Aquafence)
Bron: (Infram, 2016)

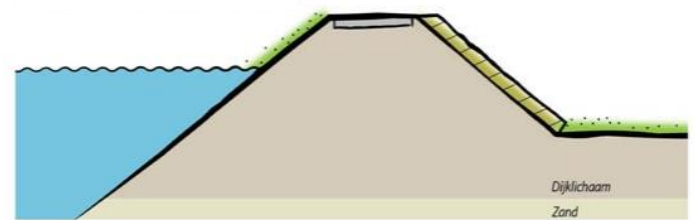
3.5. Taludverflauwing aan de binnendijkse zijde

Een taludverflauwing is reeds uitgelegd in 2.2. Meestal wordt overslaan van golven niet geaccepteerd bij een dijk maar in sommige gevallen komt dit toch voor. Hierbij is dan belangrijk dat de dijk het aankan en

het achterliggende gebied het water kan verwerken. Deze bouwsteen is ontworpen om het overslaan van golven te accepteren. De binnenkant van de dijk moet dan wel extra worden beschermd tegen het overslaande water zodat er geen erosie ontstaat, dit kan worden behaald met het verruwen van het binnentalud of het verflauwen van het talud. Qua afmetingen moet deze verflauwing ook de regels volgen die uitgelegd zijn in “2.2. Talud verflauwen” onder stabiliteit (Waterschap Rivierenland, 2010)). De mate van ruimtebeslag is in een directe relatie met de steilheid van het talud en de steilheid van het talud die behaald wil worden met een taludverflauwing. De rivierdijken rond het project dijktraject hebben meestal een 1:3 of 1:4 helling als maximale steile helling. Hieruit kan geconcludeerd worden dat, indien een taludverflauwing wordt toegepast (naar 1:4 of 1:5) zal er een redelijk stuk land binnendijks bedekt worden door het nieuwe talud. Deze bouwsteen heeft relatief gemiddelde kosten, geen moeilijke technieken of constructies, alleen maar goedkope grond. Daarentegen is er wel veel grond nodig.

3.6. Overslagbestendigere dijk (huidig talud erosiebestendig maken)

Een overslagbestendigere dijk volgt hetzelfde principe als een taludverflauwing, je laat het overslaan van golven toe en beschermt het talud en het land erachter door deze erosiebestendig te maken. “Bij een overslag bestendige dijk wordt het toegestane overslagdebiet verruimd. De dijk kan meer overslaand water verwerken zonder dat een bres in de dijk ontstaat. Dit gebeurt door bekleding en binnentalud te versterken en eventueel het binnentalud ook enigszins te verbreden.” (Lammers, 2018). Deze techniek heeft zijn voor en nadelen ten opzichte van een taludverflauwing. Deze maatregel heeft een stuk minder ruimtebeslag door alleen de bekleding van het talud aan te pakken in plaats van de dijk een stuk breder te maken. Echter zorgt deze maatregel er wel voor dat het groen en de natuur op de dijk verdwijnen door het verruwen van het talud m.b.v. stenen. Door het verstenen van de dijk is er een verlaagde hoeveelheid onderhoud nodig en dit maakt de dijk goedkoper, echter is deze bouwsteen financieel wel een stuk duurder dan een taludverflauwing door de hoeveelheid dure stenen ten opzichte van goedkope grond.



Figuur 50 Overslagbestendigere dijk
Bron: (Royal HaskoningDHV, 2014)

3.7. Ondoorlatend binnentalud door kleilaag

Zie 2.16 Ondoorlatend binnentalud door kleilaag onder 2. Stabiliteit.

3.8. Taludverflauwing aan de buitendijkse zijde

Bij een kruinhoogtetekort zijn er mogelijkheden om golfoploop tegen de dijk en daarmee de hoeveelheid water die over de dijk slaat te beperken. Dit kan door het buitentalud te verflauwen, waardoor tegen de dijk slaande golven eerder "uitgeput" raken. Ophogen van de dijk is dan wellicht niet nodig (Royal HaskoningDHV, Verzwaring of aanleg van een binnenberm). Een buitendijkse taludverflauwing zorgt voor een veel bredere dijk maar zolang alleen de ruimte op het voorland wordt benut of de rivier net wordt geraakt, waarbij deze nog wel



Figuur 51 Verflauwing buitentalud
Bron: (Royal HaskoningDHV, Verzwaring of aanleg van een binnenberm)

genoeg ruimte heeft, is deze bouwsteen mogelijk. De kosten van deze verflauwing zullen dezelfde kosten bevatten als een verflauwing binnendijks, wat grotendeels afhangt van de steilheid van de dijk.

Meekoppeling: kan in combinatie met “dijkverlaging”

3.9. Taludverruwing (breuksteen etc. op buitentalud)

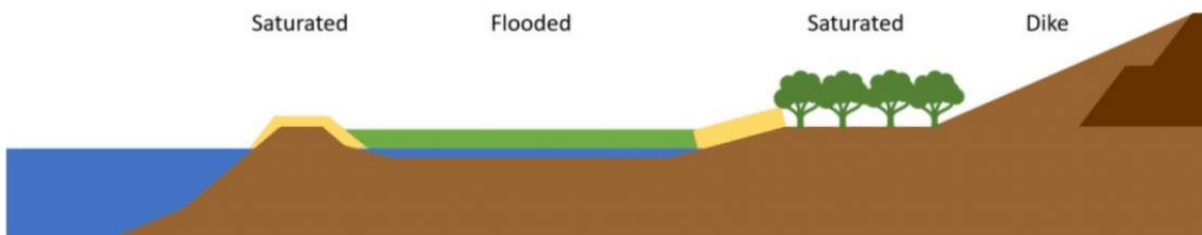
Bij een kruinhoogtetekort zijn er mogelijkheden om golfloop tegen de dijk en daarmee de hoeveelheid water die over de dijk slaat te beperken. Dit kan door het buitentalud te verruwen door bijvoorbeeld een andere steenbekleding toe te passen, waardoor tegen de dijk slaande golven eerder "uitgeput" raken (van der Linde & Verkerk, 2008). Deze bouwsteen maakt gebruik van een robuust systeem die betrouwbaar is, echter schaadt het de natuur door de grasmat en/of kleine struiken van het buitentalud af te halen. Deze methode zou, indien het buitentalud vaak onder water zou staan, een meerwaarde zijn voor de natuur (Jaspers, Leeuwis, de Krijger, & Bergstra, 2015), door de vestiging van onderwaterplanten en organismen tussen de breukstenen. Echter is dit niet het geval. Het ruimtebeslag van deze bouwsteen is minimaal door alleen de bekleding te vervangen.



Figuur 52 Buitentalud verruwing
Bron: (Royal HaskoningDHV, 2014)

3.10. Golf dempende maatregelen in het voorland: natuur

Om golfoverslag te voorkomen hoeft niet altijd de dijk aangepast worden. Golven kunnen ook voordat ze bij de dijk aankomen gebroken worden, zolang hier ruimte voor is. Een oplossing is het gebruiken van de natuur, de vegetatie, op het voorland als een golfbreker. Een groot voordeel van deze bouwsteen is het bevorderen van het behoud en de uitbreiding van natuur in de uiterwaarden en op de dijk. Er zijn veel verschillende soorten vegetatie die het golf breken bevorderen maar de tot nu toe meest effectief bewezen is een bos van bomen, voornamelijk wilgen, met een grote takdichtheid. Deze maatregel voor overslag heeft een erg groot ruimtebeslag door de afstand die nodig is van de locatie van de bomen tot de dijk. Daarnaast is er een mogelijkheid om deze natuur aan te sluiten op de natuur die zich er al bevindt. Het onderhoud is redelijk groot aangezien de natuur binnen de perken moet blijven. Het is erg afhankelijk van de soort vegetatie die wordt gepland maar bij wilgen bijvoorbeeld is er vaak onderhoud nodig in de vorm van takken bijknippen. Een locatie waar deze techniek is toegepast is de dijk bij Fort Steurgat waar het uitzicht en de natuurlijke waarde bewaard moest blijven maar de dijk ook op gebied van waterveiligheid goed in elkaar moest zitten (en hierbij in eerste instantie verhoogd moest worden). Het projectteam (de Vries & Dekker, 2009) heeft met behulp van Building with Nature (natuurlijke golfdempende maatregelen in het voorland) beide vraagstukken beantwoord. Deze techniek bevordert

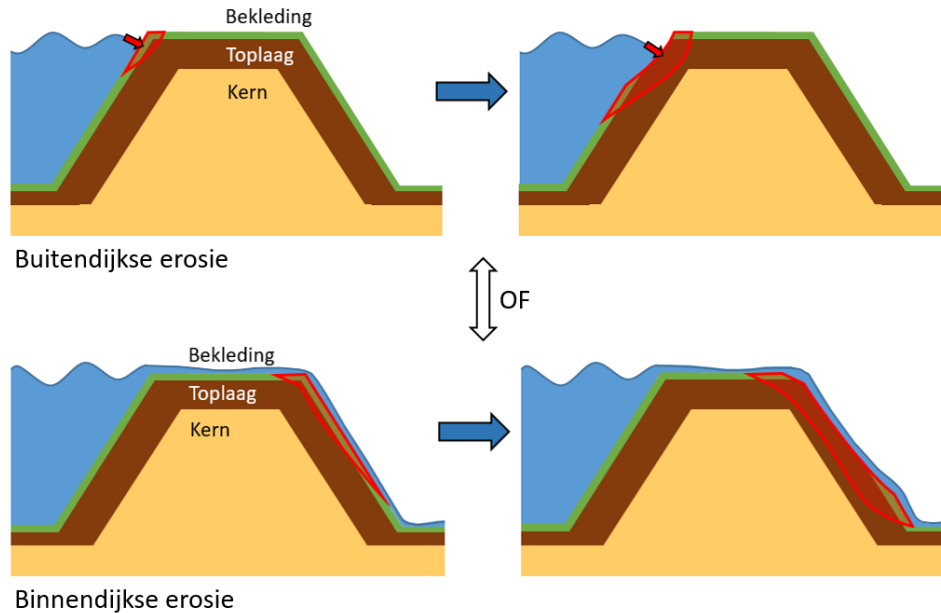


Figuur 53 Golfdempende maatregelen, zoals mattenbies, riet en wilgen
Bron: (Exterkate, et al., 2017)

ook, met behulp van een variatie aan vegetatie, verblijfsgebieden voor organismen, waardoor veel nieuwe soorten zich kunnen vestigen in de uiterwaarden.

4. Bekleding

De bekleding is een belangrijk deel van de dijk, het is de buitenste-, toplaag van een dijk en heeft te maken met alle krachten en gebeurtenissen van buitenaf. De grootste effecten op deze buitenste laag komen door de mens (vervoerspaden, grazende en gravende dieren, enz.) en door erosie (wind, golfslag, regen, etc.). Deze toplaag krijgt dus veel te verduren en moet hierom sterk genoeg zijn. De meeste dijken in het traject Zwolle-Olst zijn complete zanddijken met hier en daar een andere grondlaag in de

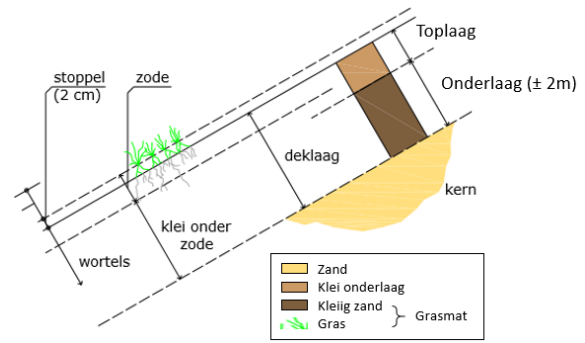


Figuur 54 De verschillende manieren waarop een dijk kan falen op bekledingsproblemen

dijk (vooral het noorden van het traject). Zand kan door het slaan van golven en door andere vormen van erosie langzaam verdwijnen achter, voor, in en/of op een dijk. Dit gebeurt erg geleidelijk en is niet meteen zichtbaar of merkbaar. Zodra teveel zand is verdwenen is de dijk erg verzwakt en heeft deze een grotere kans op falen tijdens een hoogwaterperiode, dit faalmechanisme is weergegeven in Figuur 54. Bij de tweede mogelijkheid van erosie wordt ervan uitgegaan dat er al water over de dijk slaat, uitgelegd bij het faalmechanisme "Overslag". Om bekleding falen te voorkomen moet er op tijd ingegrepen worden en een oplossing bedacht worden, in dit hoofdstuk worden deze mogelijke oplossingen tot dijkversterking voor bekleding besproken.

4.1. Kleibekleding

Om het faalmechanisme van bekleding tegen te gaan in de vele zanddijken op dit traject is een simpele oplossing: het aanbrengen van een grondlaag die zich in de rest van de omgeving ook bevindt, namelijk klei. Klei is water ondoorlatend en vrij sterk tegen de verschillende erosiemethoden, zoals golfslag. Bovenop de kleilaag wordt een dunne laag zand teruggelegd zodat de grasmat van de dijk snel terug groeit en de natuurlijke factor van een dijk behouden blijft. Klei is een prima materiaal voor dijken: het is vaak stevig, vormvast en samenhangend, ook onder invloed van water (Technische Adviescommissie voor Waterkeringen, 1996). Conform de Leidraad Rivieren dient deze kleilaag qua dikte aan de buitenzijde uit te wijgen: van 1 m aan de kruin tot 2 m aan de teen. De LR is (vooral) gericht op dijken langs rivieren in midden en west Nederland, met vaak grote kerende hoogte. Voor de IJssel geldt dat deze over het algemeen lager zijn (Viehofer & Hergarden, 2015). Deze klei zal echter niet een groot ruimtebeslag hebben aangezien de klei wordt ingegraven en de grasbekleding wordt teruggelegd.



Figuur 55 Kleibekleding met een grasmat
Bron: (Galema, de Jong, Pruis, & Wisse, 2006)

4.2. Golfremmer: Taludverruwing

Zie 3.9. Taludverruwing onder 3. Overslag

4.3. Cementeren buitentalud

Het cementeren van het buitentalud is een vrij radicale methode om erosie van de dijk tegen te gaan. De grond wordt gemixt met grout, waardoor een harde laag ontstaat die gelijk staat aan een cement laag. "Grout is een mengsel van cement, water en eventueel ook gemengd met toeslagmateriaal en hulpstoffen. Door grout in de bodem te spuiten en met de grond te vermengen ontstaan er groutkolommen die een matige sterkte hebben." (Vree, Grout, 2007). Deze harde laag van het buitentalud dient als schild tegen overslag en andere erosiemethoden en indien deze laag met een bepaald patroon wordt gecementeerd kan het ook dienen als goede golfbreker voor de bouwsteen overslag. Het cementeren van het buitentalud geeft echter grote nadelen ten behoeve van de natuur en het algemene uiterlijk van de dijk, het landschappelijke karakter van de dijk zal worden doorbroken. Daarnaast heeft deze techniek ook een redelijk prijskaartje door het inkopen van grout en de uiteindelijke beheer en onderhoudskosten.

4.4. Toepassen harde bekleding (Asfalt, Zetsteen, Stortsteen)

Deze techniek is gefocust op het erosiebestendig maken van de dijk door een hard buitentalud te creëren. De methode en het karakter van de bouwsteen zijn hetzelfde als 4.3. Cementeren buitentalud. Hierbij worden echter andere bekledingsmaterialen gebruikt, namelijk asfalt, zetsteen of stortsteen.

4.5. Verflauwen talud

Zie 3.8. Taludverflauwing aan de buitendijkse zijde onder 3. Overslag

4.6. Golfremmer: Uiterwaard natuur

Zie 3.10 Golf dempende maatregelen in het voorland onder 3. Overslag

III. Detailrapport

1. Maatwerklocatie “Surfgat”

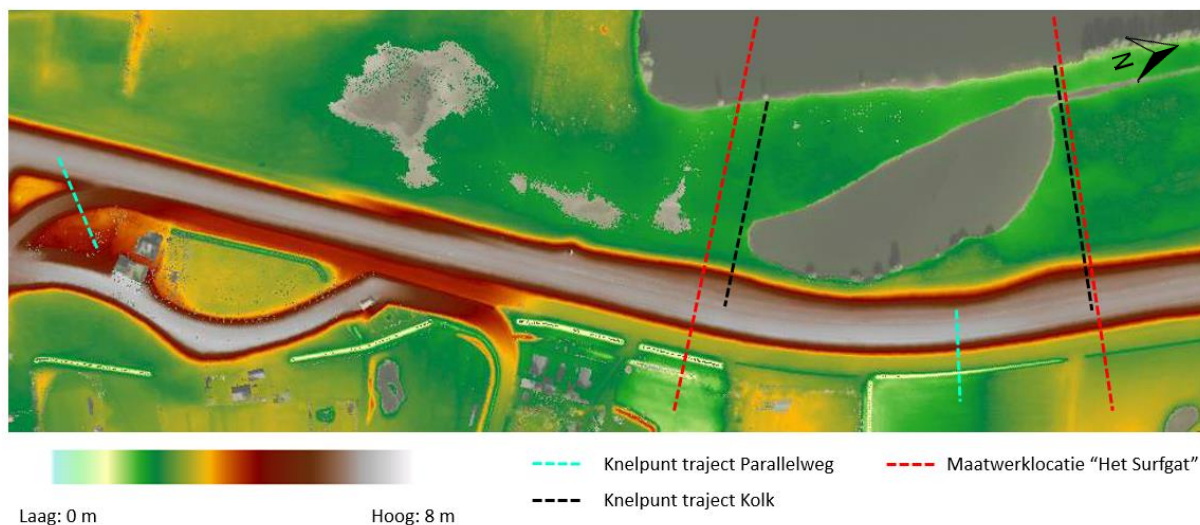
Maatwerklocatie “Het Surfgat” omvat de knelpunten van het binnendijkse vervoerspad: de “Parallelweg t.h.v. Het Surfgat” en het buitendijkse waterlichaam: de “Kolk t.h.v. Het Surfgat”.

1.1. Buitendijks

De kolk

De kolk ligt ter hoogte van Het Surfgat en bevindt zich ongeveer in het midden van het deeltraject Wijhe Noord (deeltraject 8). De kolk en omliggend buitendijks gebied is in beheer van Staatsbosbeheer. Het knelpunt van de kolk ligt tussen hectometer 2961 en hectometer 2985. De kolk heeft een waterlijn van rond de 1,85 meter boven NAP, vanaf deze waterlijn gemeten een diepte van 2,25 meter 10 meter van de oever (vanaf de dichtstbijzijnde oever van dijk gerekend) en 4,10 meter op het diepste punt (rond het midden). De diepte van de kolk is één van de grote redenen op deze locatie waarom kansrijke alternatieven in hun geheel afvallen. De kolk bevindt zich in een land met een maaiveldhoogte van 2 meter met rond de kolk een 2 tot 2,7 meter maaiveldhoogte richting de dijk (zie Figuur 56). Rond de kolk bevindt zich lage begroeiing (gras), en een aantal gemiddeld tot hoge struiken en enkele kleine boompjes.

Hoogtekaart maatwerklocatie “Het Surfgat”



Figuur 56 Visualisatie knelpuntrajecten (Het Surfgat)
Bron: (Actueel Hoogtebestand Nederland, 2016)

De kolk ligt in een Natura-2000 gebied, dit is over bijna het gehele buitendijkse traject van Zwolle-Olst niet te vermijden (Waterschap Drents Overijsselse Delta, 2017) en de kolk ligt in een NNN-gebied (Natuur Netwerk Nederland). “Voor het verkrijgen van toestemming/een vergunning moet onderbouwd worden dat er geen ander alternatief gekozen had kunnen worden dat gunstiger zou zijn voor de beschermde natuurwaarden, er sprake is van een dwingende reden van groot openbaar belang en dat het verlies gecompenseerd kan worden” (Waterschap Drents Overijsselse Delta, 2017). Verder valt de kolk qua natuurwaarde in dezelfde categorie als de meeste buitendijkse kolken en geulen, deze zijn in principe niet beschermd en kunnen gedempt worden. Echter geven deze kolken en geulen een landschappelijk wisselend karakter en zijn ze een toevoeging aan landschappelijke waarde van de

uiterwaarden, daarnaast zijn deze kolken en geulen oud en hebben ze een link met historische gebeurtenissen. Om deze redenen worden de kolken en geulen zoveel mogelijk behouden en zullen ze niet gedempt worden als dit niet van uiterst belang is. Onder de natuurwaarden van een kolk vallen ook de beschermde soorten en houtopstanden die behouden moeten blijven, indien aanwezig. Beide zijn in dit geval niet aanwezig. Daarnaast zijn op archeologisch gebied ook geen vondsten of knelpunten bekend in dit traject. Naast de kolk zijn buitendijks op deze maatwerklocatie geen andere elementen om mee te nemen in de locatiedetails.

1.2. De kruin

Op de kruin van de dijk bevindt zich een fietspad en een provinciale weg (de N-337 (Rijksstraatweg)) met een houten vangrail die over het gehele deeltraject lopen. Op het noordelijke deel van de kruin bevindt zich een heg die de provinciale weg scheidt van het fietspad. Op de kruin en op de taluds zijn kleine groepjes planten gesitueerd die op de rode lijst staan als Kwetsbaar volgens de Flora- en Faunawet (tabel II), het Rapunzelklokje (Rijksoverheid, 2017). De flora en fauna die in dit traject aangegeven zijn als beschermd, zijn weergegeven in Figuur 57.



Figuur 57 Beschermd Flora en Fauna (Het Surfgeat)
Bron: (Waterschap Drents Overijsselse Delta, 2017)

1.3. Binnendijks

Parallelweg

Het knelpunt van de parallelweg ligt tussen hectometer 2917 en 2976 en begint in één van de noordelijkste bebouwde punten van Wijhe tot aan de helft van de eerder benoemde kolk ter hoogte van het Surfgeat. De parallelweg ontsluit meerdere huizen en boerderijen en heeft meerdere kleine op- en afritten over het dit deeltraject. De parallelweg blijft vanaf Wijhe de rest van het deeltraject dicht naast de dijk lopen. De parallelweg is 5,5 meter breed en loopt over het knelpuntraject van hectometer 2917 tot 2926 (begin knelpuntraject) van 6,2 meter naar 4,2 meter, van hectometer 2926 tot 2945 ligt het maaiveld op een constante 4,2 meter en van 2946 tot 2976 (eind knelpuntraject) op een constante 3 meter hoogte (zie Figuur 56). Deze parallelweg is erg belangrijk voor het vervoer van de huizen en boerderijen aan deze weg en voor het vervoer van grondeigenaren met binnendijks grondbezit. Rond de parallelweg liggen over het gehele parallelwegknelpuntraject door duikers met elkaar verbonden sloten die de parallelweg afscheiden van de rest van het binnendijkse land. Dit geldt alleen niet voor hectometer 2936 tot 2947 waar de parallelweg is ingesloten door de dijk en een slingerende afrit van de dijk (die deels ook op dijkhoogte ligt). Tussen de dijk en de parallelweg bevindt zich alleen gras als lage begroeiing. Rond de parallelweg liggen een aantal planten die volgens de Flora- en Faunawet (tabel II) op de rode lijst staan als kwetsbaar (zie Figuur 57). Dit zijn een klein aantal Rapunzelklokjes en Sikkelklavers (Waterschap Drents Overijsselse Delta, 2017).

De kwelsloten naast de parallelweg liggen gemiddeld op 1 meter maaiveldhoogte, dit is twee meter lager dan het grootste deel van de parallelweg. De kwelsloten staan normaliter vrij leeg met een diepte van rond de 15 tot 20 cm. Achter de kwelsloten liggen verscheidene percelen met verschillende functies. In het meest zuidelijke deel van het parallelknelpuntraject ligt het huis aan Jan Meesterweg 3, in het midden van het traject ligt de verhoogde weg (oude ijsveldijk), en aan de noordelijke zijde liggen een aantal geclusterde huizen van de woningstichting Sallandwonen, met daarnaast de voormalige Stortplaats Het Anem (Figuur 58). Deze stortplaats is een risicovolle locatie aangezien hier een geval van bodemverontreiniging aanwezig is (Waterschap Drents Overijsselse Delta, 2017). Voor de rest is de omliggende omgeving gevuld met weilanden.



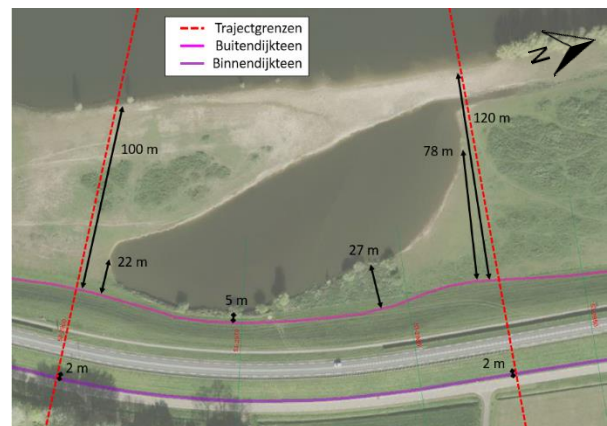
Figuur 58 Buitendijkse percelen

1.4. Locatiekeuze en verdere details

Met al deze informatie en een logische blik op de kansrijke alternatieven en de kansrijke bouwstenen is de eerder gestelde “inpassing”, een aanpassing van het kansrijke alternatief B, een logische oplossing voor dit probleem. Op de locatie waar de kolk en de parallelweg beide knelpunten hebben is een inpassing een goede oplossing, mede omdat andere kansrijke alternatieven hier niet mogelijk zijn. Op de rest van het parallelwegknelpuntraject is een inpassing ook mogelijk, echter is op dit korte traject ook een klei-ingraving buitendijks mogelijk (alternatief C en D zijn hier kansrijk). De uiteindelijke keuze voor dit gedeelte zal onder de overkoepelende keuze vallen van het aansluitende gebied van Wijhe en Wijhe-Noord tot aan het knelpunt van de kolk en de parallelweg. Hierdoor is het onderdeel van het traject waar de focus op ligt in de vervolg stappen de maatwerklocatie “Het Surf gat” (rode lijnen in Figuur 59). Het traject waar de focus op ligt loopt van hectometer 2960 tot 2985, dit traject bevat dijkdoorsnede 1892 tot 1917 (25 doorsnedes), hiervan zijn er een aantal weergegeven in Bijlage IV.1 (ontworpen door geëxtraheerde data uit de AHN kaarten te combineren met de gegevens uit het geometrisch onderzoek van kolken en één dwarsprofiel per kolk). Het traject is wijder gekozen dan de knelpuntlocatie “Kolk t.h.v. Het Surf gat” en noordelijker dan de noordzijde van “Parallelweg t.h.v. Het Surf gat” om zo de overgangsgebieden van inpassing naar origineel kansrijk alternatief B (noordelijk van de parallelweg) en inpassing naar een mogelijk ander kansrijk alternatief (zuidelijke van de kolk) te bevangen. Dit zal het onderzoek bruikbaar maken in het WDOD project van Zwolle-Olst. In dit traject is er aan de gehele binnenzijde tussen de parallelweg en de dijkteen een ruimte van 2 meter en aan de buitendijkse zijde van 5 tot 120 meter tussen de kolken en de buitenste dijkteen, voor een duidelijker beeld weergegeven in Figuur 59. Naast wat je bovengronds kan zien is de ondergrond van groot belang zodra gekeken wordt naar bouwstenen die gebruik

1.4. Locatiekeuze en verdere details

Met al deze informatie en een logische blik op de kansrijke alternatieven en de kansrijke bouwstenen is de eerder gestelde “inpassing”, een aanpassing van het kansrijke alternatief B, een logische oplossing voor dit probleem. Op de locatie waar de kolk en de parallelweg beide knelpunten hebben is een inpassing een goede oplossing, mede omdat andere kansrijke alternatieven hier niet mogelijk zijn. Op de rest van het parallelwegknelpuntraject is een inpassing ook mogelijk, echter is op dit korte traject ook een klei-ingraving buitendijks mogelijk (alternatief C en D zijn hier kansrijk). De uiteindelijke keuze voor dit gedeelte zal onder de overkoepelende keuze vallen van het aansluitende gebied van Wijhe en Wijhe-Noord tot aan het knelpunt van de kolk en de parallelweg. Hierdoor is het onderdeel van het traject waar de focus op ligt in de vervolg stappen de maatwerklocatie “Het Surf gat” (rode lijnen in Figuur 59). Het traject waar de focus op ligt loopt van hectometer 2960 tot 2985, dit traject bevat dijkdoorsnede 1892 tot 1917 (25 doorsnedes), hiervan zijn er een aantal weergegeven in Bijlage IV.1 (ontworpen door geëxtraheerde data uit de AHN kaarten te combineren met de gegevens uit het geometrisch onderzoek van kolken en één dwarsprofiel per kolk). Het traject is wijder gekozen dan de knelpuntlocatie “Kolk t.h.v. Het Surf gat” en noordelijker dan de noordzijde van “Parallelweg t.h.v. Het Surf gat” om zo de overgangsgebieden van inpassing naar origineel kansrijk alternatief B (noordelijk van de parallelweg) en inpassing naar een mogelijk ander kansrijk alternatief (zuidelijke van de kolk) te bevangen. Dit zal het onderzoek bruikbaar maken in het WDOD project van Zwolle-Olst. In dit traject is er aan de gehele binnenzijde tussen de parallelweg en de dijkteen een ruimte van 2 meter en aan de buitendijkse zijde van 5 tot 120 meter tussen de kolken en de buitenste dijkteen, voor een duidelijker beeld weergegeven in Figuur 59. Naast wat je bovengronds kan zien is de ondergrond van groot belang zodra gekeken wordt naar bouwstenen die gebruik



Figuur 59 Beschikbare ruimte

maken van de draagkracht op een grondlichaam of die methodes gebruiken waarbij sommige grondlagen bepaalde karakteristieken nodig hebben. Alle grondlagen in en onder de dijk zijn weergegeven in Bijlage V.1 als segment geëxtraheerd uit het geotechnisch grondonderzoek van normtraject 53 (Zwolle-Olst) en deels aangepast om bruikbaar te zijn voor dit onderzoek. De bijlage bestaat uit twee onderzoeken, een verhoudingsschema van een puntboring (waar de dijk op geprojecteerd staat en lengte profielen van de volledige dijk op dat traject. Uit dit grondonderzoek is te verkrijgen dat het dijklichaam voornamelijk zand is, met enkele kleilagen bovenin de dijk, de bovenste laag van de ondergrond bestaat ook voornamelijk uit zand met kleine kleilaagjes en zwak tot matig humeus, de grond tot 2,5 á 3 meter bestaat uit een fijn tot grof zandige en zwak siltige grond met mogelijk hout- en grindresten. Hierna bevindt zich tot 5 meter een variabele fijnheid zandige en vaak grindige grond. Dit wil zeggen dat de draagkracht van deze grond vrij groot is tot een goede diepte waardoor veel bouwstenen, die op draagkracht rusten, op deze locatie implementeerbaar zijn.

2. Maatwerklocatie “Oude IJsselgeul”

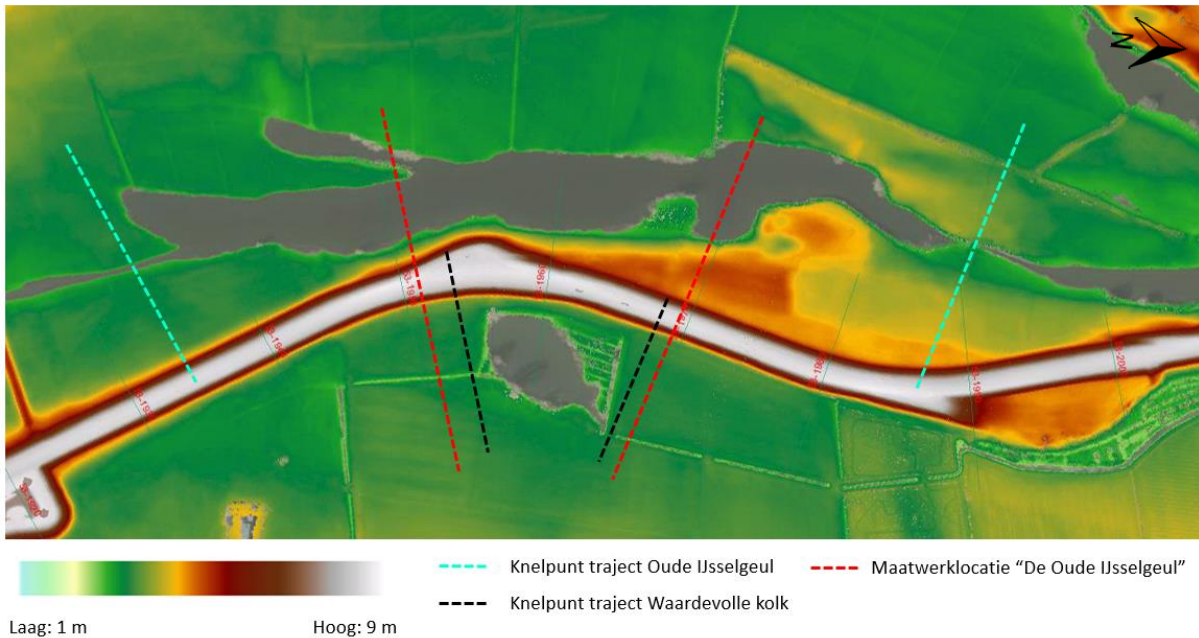
Maatwerklocatie “Oude IJsselgeul” omvat de knelpunten van het binnendijks waterlichaam: de “Waardevolle kolk” en het buitendijks waterlichaam: “De Oude IJsselgeul”.

2.1. Buitendijks

De Oude IJsselgeul

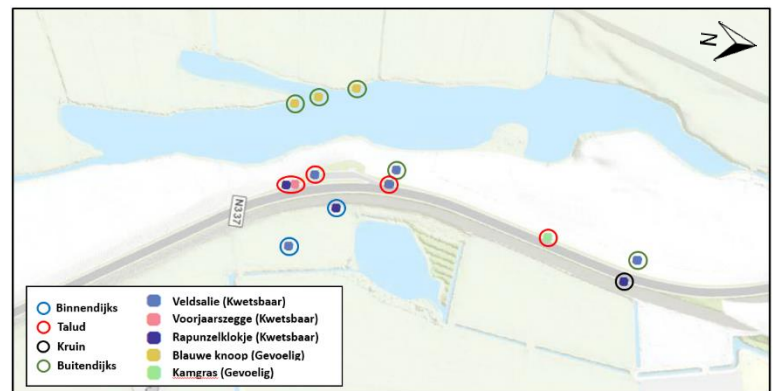
Buitendijks bevindt zich een groot waterlichaam, die verbonden zit via kleine kanaaltjes met andere waterlichamen. Deze waterlichamen leken ooit aan elkaar vast te zitten en vormden destijds de rivier de IJssel, die later steeds meer is gaan uitwijken in de buitenbocht en na vele honderden jaren nu op een andere locatie ligt. Doordat de IJssel hier ooit stroomde is de ondergrond uitgesleten en zijn lager gelegen gebieden ontstaan waarvan sommigen nog vol staan met water. Het eerste en grootste deel van het overblijfsel van deze oude IJsselgeul staat weergegeven in Figuur 61 en is één van de knelpunten op deze locatie en het knelpuntraject van deze oude geul is dan ook logischerwijze de breedte van dit waterlichaam geprojecteerd op de dijk. Dit waterlichaam ligt in het tweede deeltraject van De Haere (1.2) net na de deeltrajectgrens en bevindt zich tussen hectometer 1934 en hectometer 1992. De geul en het buitendijks gebied eromheen zijn deels in bezit van Staatsbosbeheer (het noorden van het traject) en deels in bezit van R.J.H. Keurhorst (het midden en het zuiden van het traject. Het waterlichaam heeft een waterlijn van rond de 2,85 meter boven NAP, vanaf deze waterlijn gemeten een diepte van 3,50 meter 10 meter van de oever (vanaf de dichtstbijzijnde oever van dijk gerekend) en 4,50 meter op het diepste punt (rond het midden). De diepte van de geul is één van de grote redenen op deze locatie waarom kansrijke alternatieven in hun geheel afvallen. De geul ligt tussen een hoger stuk grond ten noordoosten en noordwesten van de geul, ten oosten ligt het waterlichaam vrij strak tegen de buitenbocht van de dijk aan. Daarnaast ligt ten westen, zuidwesten, zuiden en zuidoosten van de geul een land met een constante hoogte tussen de 2,7 meter en 3,1 meter maaiveldhoogte. Ten noordwesten van de geul is het land verhoogt tot 4 meter t.o.v. NAP, daarnaast is het land ten noorden/noordoosten van de oude geul een stuk flink stuk hoger (4 tot 5 meter boven NAP) wat ontstaan is omdat hier heeft in het verleden de dijk heeft gelegen.

Hoogtekaart maatwerklocatie “De Oude IJsselgeul”



Figuur 61 Visualisatie knelpunttrajecten (De Oude IJsselgeul)
Bron: (Actueel Hoogtebestand Nederland, 2016)

Rond de rand van de geul is veel vegetatie aanwezig, van gras tot riet tot lage struiken, tot middelhoge bomen. De geul valt binnen het buitendijkse Nature-2000 gebied dat zich over een groot deel van de uiterwaarden op het traject Zwolle-Ols uitstrekt. Daarnaast valt het waterlichaam ook onder het Netwerk Natuur Nederland, “Voor het verkrijgen van toestemming/een vergunning moet onderbouwd worden dat er geen ander alternatief gekozen had kunnen worden dat gunstiger zou zijn voor de beschermde natuurwaarden, er sprake is van een dwingende reden van groot openbaar belang en dat het verlies gecompenseerd kan worden” (Waterschap Drents Overijsselse Delta, 2017). Verder valt de geul qua natuurwaarde in dezelfde categorie als de meeste buitendijkse kolken en geulen, zoals eerder besproken, deze zijn in principe niet beschermd en kunnen gedempt worden. Echter geven deze kolken en geulen een landschappelijk wisselend karakter en zijn ze een toevoeging aan landschappelijke waarde van de uiterwaarden, daarnaast zijn deze kolken en geulen oud en hebben ze een link met historische gebeurtenissen. Om deze redenen worden de kolken en geulen zoveel mogelijk behouden en zullen ze niet gedempt worden als dit niet van uiterst belang is. Daarnaast zijn er geen beschermde diersoorten of houtopstanden aanwezig, echter zijn er wel een aantal beschermde planten volgens de Flora en Faunawet (Rijksoverheid, 2017). In het buitendijkse gebied in het knelpunttraject van de oude IJsselgeul bevinden zich de Blauwe Knoop en Veldsalie, met een verschillende beschermingsniveau



Figuur 60 Beschermd flora en fauna (De Oude IJsselgeul)
Bron: (Waterschap Drents Overijsselse Delta, 2017)

(gevoelig of kwetsbaar). Verder zijn er geen elementen zoals archeologische objecten of vondsten of monumenten in het gebied aanwezig. Naast de oude IJsselgeul zijn er geen andere objecten in het buitendijkse gebied.

2.2. De kruin

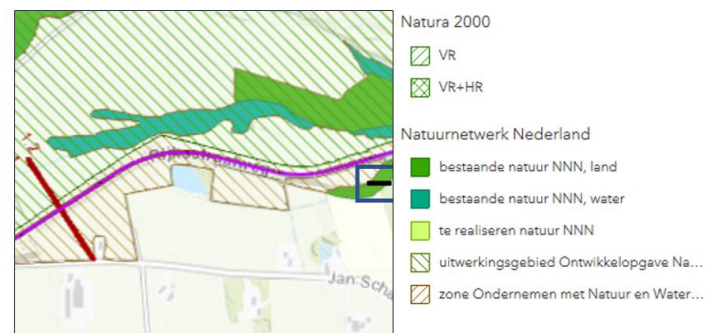
Op de kruin van de dijk bevindt zich een provinciale route, de N-337 (Rijksstraatweg), met bijbehorende hectometer paaltjes, reflectorpaaltjes en verkeersborden. Exact tussen de oude IJsselgeul buitendijks en de Waardevolle kolk binnendijks ligt een breder stuk dijk. Dit stuk dijk is redelijk recentelijk verbreed om het de functie van parkeerplaats en tijdelijke rustplaats te laten vervullen. Op dit verbrede stuk is dus een extra stuk asfalt aangelegd als parkeerplaats met een picknickbank als rustplaats. Naast deze mensgemaakte objecten bevinden zich op de dijk kruin en dijk taluds beschermde plantensoorten, de Voorjaarszegge, Veldsalie, Rapunzelklokje en Kamgras. Deze planten staan weergegeven in Figuur 60.

2.3. Binnendijks

De Waardevolle kolk

Aan de binnendijkse zijde ligt ook een waterlichaam dicht tegen de dijk aan, dit waterlichaam is een kolk en bevindt zich op het terrein van G.J. Keurhorst. Het knelpunttraject van deze kolk ligt in het begin van het tweede deeltraject van De Haere (1.2) en loopt van hectometer 1953 tot hectometer 1968 (weergegeven in Figuur 61). De kolk heeft een waterlijn van 2,63 meter boven NAP en vanaf deze waterlijn gemeten, 2,50 meter diep 10 meter van de

oever (gemeten vanaf het dichtstbijzijnde stukje oever t.o.v. de dijk) en 3,50 meter op zijn diepst. De diepte van de kolk in combinatie met de diepe IJsselgeul maakt het implementeren van kansrijke alternatieven vrij moeilijk, waardoor er op deze plek maatwerk nodig is. De percelen die rondom de kolk liggen hebben allen een constante hoogte van 3 tot 3,50 meter maaiveldhoogte. Met uitzondering van de kleine slootjes. Rond de kolk en de sloten, maar ook alleen rond de kolk en de sloten bevindt zich hogere vegetatie dan gras. De hogere vegetatie is struikgewas tot middelhoge bomen rond de kolk en riet bij de sloot oevers. De rest van het land bevat geen bomen of struiken aangezien dit land is dat verbouwd wordt voor voedingsproducten. De kolk zelf valt niet binnen het Natura-2000 of het NNN gebied net als alles aan de oostkant van deze kolk, echter is de kolk ingesloten aan de noord, zuid en west kant door een Natuurnetwerk Nederland gebied met de zone "Ondernemen met Natuur en Water (ONW)". Het implementeren van alternatieven en bouwstenen voor deze kolk zullen in ieder geval het NNN gebied tussen de kolk en de dijk raken. Kolken hebben naast deze natuurwaarde ook een landschappelijke waarde. Deze waarde komt van het landschappelijk wisselend karakter die kolken en geulen over het algemeen hebben. Ook hebben binnendijkse kolken vaak een link met de geschiedenis van het land. Dijken worden over de jaren heen, heen en weer geschoven door overstromingen, gevaarlijk hoog water of door efficiëntie, vervoerswegen of andere menselijke factoren. Hiermee kan een verschoven dijk een deel van de oude IJsselgeul afsluiten en ontstaat er een binnendijkse kolk. Een dijk heeft ook wel eens een doorbraak waardoor het land erachter overstroomt, dit water kan blijven staan in een lager gelegen deel van het land en zo kan een binnendijkse kolk ook ontstaan (zolang de kolk groot genoeg is of nog gevoed wordt door een



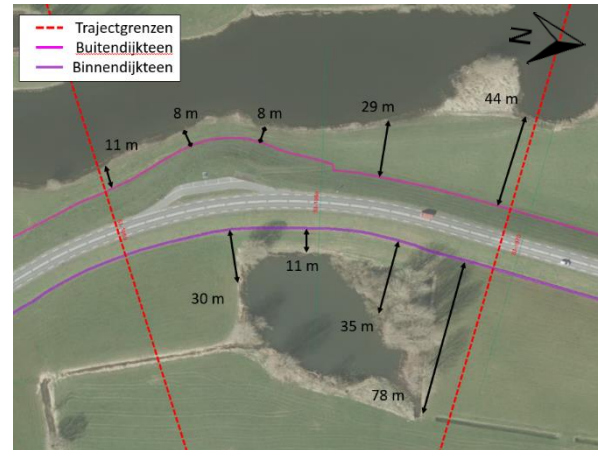
Figuur 62 Natuurgebieden bij maatwerklocatie "De Oude IJsselgeul"
Bron: (Waterschap Drents Overijsselse Delta, 2017)

tot middelhoge bomen rond de kolk en riet bij de sloot oevers. De rest van het land bevat geen bomen of struiken aangezien dit land is dat verbouwd wordt voor voedingsproducten. De kolk zelf valt niet binnen het Natura-2000 of het NNN gebied net als alles aan de oostkant van deze kolk, echter is de kolk ingesloten aan de noord, zuid en west kant door een Natuurnetwerk Nederland gebied met de zone "Ondernemen met Natuur en Water (ONW)". Het implementeren van alternatieven en bouwstenen voor deze kolk zullen in ieder geval het NNN gebied tussen de kolk en de dijk raken. Kolken hebben naast deze natuurwaarde ook een landschappelijke waarde. Deze waarde komt van het landschappelijk wisselend karakter die kolken en geulen over het algemeen hebben. Ook hebben binnendijkse kolken vaak een link met de geschiedenis van het land. Dijken worden over de jaren heen, heen en weer geschoven door overstromingen, gevaarlijk hoog water of door efficiëntie, vervoerswegen of andere menselijke factoren. Hiermee kan een verschoven dijk een deel van de oude IJsselgeul afsluiten en ontstaat er een binnendijkse kolk. Een dijk heeft ook wel eens een doorbraak waardoor het land erachter overstroomt, dit water kan blijven staan in een lager gelegen deel van het land en zo kan een binnendijkse kolk ook ontstaan (zolang de kolk groot genoeg is of nog gevoed wordt door een

watertoevoer zoals sloten of kwelwater). Om deze historische redenen worden de kolken en geulen zoveel mogelijk behouden en zullen ze niet gedempt worden als dit niet van uiterst belang is. Rond deze kolk bevinden zich geen houtopstanden die beschermt moeten blijven of dierlijke soorten die op de Rode lijst van de Flora en Fauna wet staan, daarentegen bevinden zich in het binnendijks gebied wel een aantal beschermde planten zoals weergegeven in Figuur 60. Binnendijks bevinden zich kleine groepjes Veldsalie en Rapunzelklokjes, deze planten zijn beide Kwetsbaar gevonden op de Rode lijst van de Flora en Fauna wet (Rijksoverheid, 2017).

2.4. Locatiekeuze en verdere details

Met een terugblik op de lijst met alternatieven en mogelijkheden en dit te vergelijken met het meer gedetailleerde beeld van deze locatie is te zien dat op de locatie van de Waardevolle kolk geen enkel kansrijk alternatief in zijn geheel toe te passen is, terwijl er bij delen van de Oude IJsselgeul wel kansrijke alternatieven mogelijk zijn. Hierom is uit de twee knelpuntrajecten gekozen voor de maatwerklocatie "De Oude IJsselgeul", weergegeven als rode stippellijnen in Figuur 63. Dit traject heeft veel weg van het knelpuntraject van de Waardevolle kolk, echter is dit traject iets wijder zodat deze in de verdere loop van het project gemakkelijk aan kan sluiten op de voorkeurskeuze van het project. Het traject waar de focus op ligt loopt van hectometer 1950 tot 1968, dit traject bevat dijkdoorsnede 879 tot 898 (19



Figuur 63 Beschikbare Ruimte "De Oude IJsselgeul"

doorsnedes), hiervan zijn er een aantal weergegeven in Bijlage IV.2 (ontworpen door geëxtraheerde data uit de AHN kaarten te combineren met de gegevens uit het geometrisch onderzoek van kolken en één dwarsprofiel per kolk). Rond deze dijk bevinden zich de twee waterlichamen, beide hebben een punt dicht op de dijk maar in het maatwerk traject zijn deze afstanden van waterlichaam tot dijk niet constant en dit kan de keuze voor mogelijke oplossingen beïnvloeden. De variabele afstanden van de waterlichamen tot de dijk zijn weergegeven in Figuur 63. Naast alle bovengrondse natuur en objecten, zijn er in de dijk en in de grond daaronder van allerlei verschillende grondlagen aanwezig die net zoveel, al dan niet meer invloed hebben op de keuze van de mogelijke oplossingen. Verschillende bouwstenen kunnen namelijk alleen geïmplementeerd worden als de grond een goede draagkracht heeft (damwand, diepwand, etc.) en sommigen bijvoorbeeld alleen als het voorland een niet kleiige grond bevat (Building with Nature). Alle grondlagen in en onder de dijk zijn weergegeven in Bijlage V.2 als segment geëxtraheerd uit het geotechnisch grondonderzoek van normtraject 53 (Zwolle-Olst) en deels aangepast om bruikbaar te zijn voor dit onderzoek. Deze bijlage bestaat uit een verhouding schema en gronddoorsnedes in lengterichting. In het verhoudingsschema is het dijklichaam te zien, deze bestaat voornamelijk uit zand gemixt met een gemiddeld een achtste silt en af en toe een klein erg dun laagje klei. Verder is in het grondonderzoek in lengterichting de dijk niet weergegeven, echter zijn de grondverhoudingen en grondlagen van de ondergrond beter te zien. Het grondonderzoek van de ondergrond wijst uit dat de bovenste tientallen centimeters van de grondlaag een kleine laag zand bevat (waar zich de planten en bomen in gevestigd hebben), hieronder bevindt zich een groot pakket klei van gemiddeld 2m dik. Hieronder zijn alle lagen voornamelijk zand, met enkele kleine onregelmatigheden. Deze lagen corresponderen met het lengtedoorsnede profiel. De kleilaag dicht onder de oppervlakte heeft weinig draagkracht, terwijl de lagen hieronder voornamelijk zand zijn en een sterkere draagkracht

hebben. Daarnaast kan een diepe constructie voordeel hebben aan de kleilaag, wanneer de constructie deze passeert ondervindt het kleef. Voor de bouwstenen is het sterk afhankelijk van de karakteristieken van de bouwsteen (zoals de diepte, hoek, richting, etc.), hoe groot de draagkracht van de grond is.

3. Maatwerklocatie “Nilantsweg 90”

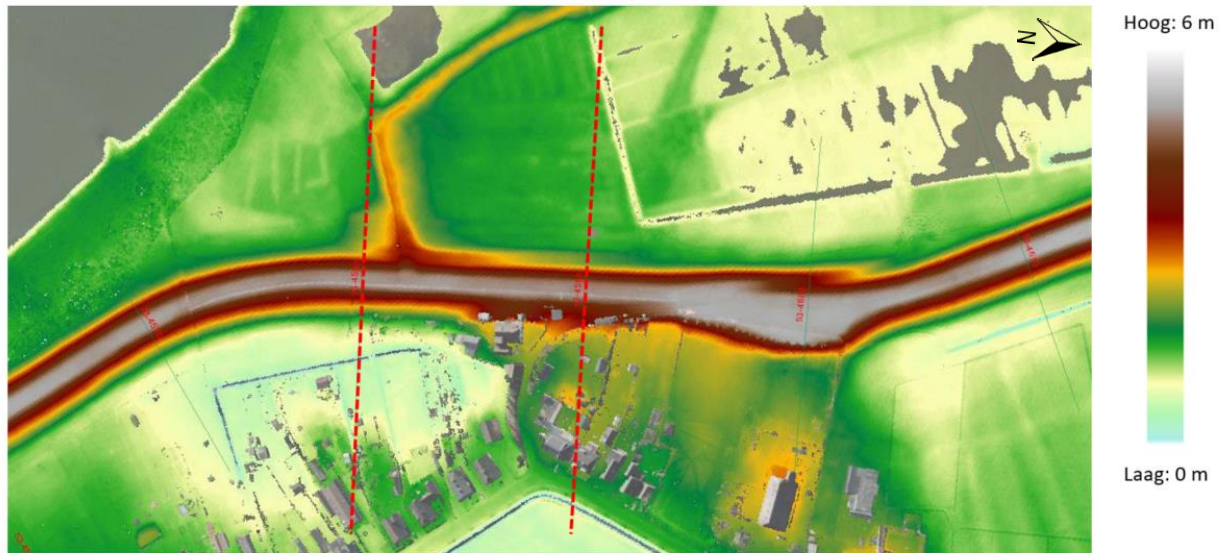
Maatwerklocatie “Nilantsweg 90” omvat de knelpunten van de binnendijkse leef- en werkomgeving: de “Huizen aan Nilantsweg 90”.

3.1. Buitendijks

Het buitendijkse land op deze locatie bestaat voornamelijk uit weilanden en zijn in beheer van J.Aalbers tot aan de IJssel. Het land heeft een maaiveldhoogte van 1,3 meter bij hectometer 4590 en loopt op naar 1,6 meter NAP richting hectometer 4580. Echter loopt het land opeens snel op door een kleine dijkvormige verhoging van maximaal 3,2 meter NAP rond hectometer 4580 (zie Figuur 64). Deze kleine dijkvormige verhoging is een zomerkade, om de rivier tijdens lage of normale waterstanden in het stroomprofiel te houden, en loopt vanaf hectometer 4580 met een boog richting het Noorden en sluit aan op de hoek van de dijk bij het huis op deze hoek aan Turnhoutsweg 3. Via satellietbeelden is te zien dat dit ingesloten stuk laaggelegen grond (0 tot 0,8 meter boven NAP) voor een deel onderloopt met hoogwater, dit hoogwater blijft hierna in dit ingesloten stuk lage grond staan. De buitendijkse gronden vóór de maatwerklocatie liggen ietwat hoger en hier zal indien er hoogwater plaatsvindt meestal geen water staan of zal het waterpakket op deze locatie vrij ondiep zijn. De weilanden bevatten alleen gras als lage begroeiing, geen andere lage begroeiing, struiken of bomen. Het gebied is buitendijks, oftewel de uiterwaarden. Dat maakt dit gebied onderdeel van het grote buitendijks Natura 2000 gebied, waarbij de algemene regel van “Voor het verkrijgen van toestemming/een vergunning moet onderbouwd worden dat er geen ander alternatief gekozen had kunnen worden dat gunstiger zou zijn voor de beschermde natuurwaarden, er sprake is van een dwingende reden van groot openbaar belang en dat het verlies gecompenseerd kan worden” (Waterschap Drents Overijsselse Delta, 2017) in werking treedt. Binnen dit Natura 2000 gebied vormt het buitendijks gelegen grasland met name geschikt foerageergebied voor weidevogels en grasetende watervogels (Waterschap Drents Overijsselse Delta, 2017). Er zijn geen

aangegeven waterlichamen, historische objecten, beschermde diersoorten, archeologische vondsten of houtopstanden aanwezig.

Hoogtekaart maatwerklocatie “Nilantsweg 90”



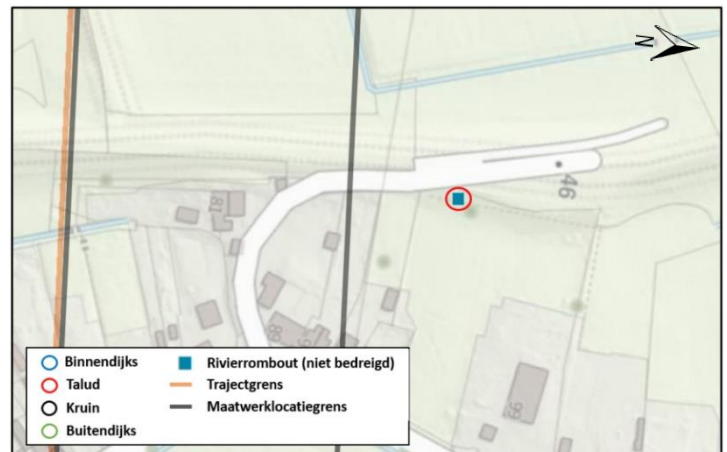
--- Maatwerklocatie “Nilantsweg 90”

Figuur 64 Visualisatie hoogte Nilantsweg 90
Bron: (Actueel Hoogtebestand Nederland, 2016)

3.2. De kruin

Deze dijk is door de huizen binnendijks, op het talud en in het talud, tezamen met de weg die diagonaal over de dijk loopt en de buitendijks gelegen zomerdijk, een erg variërende dijk. In Bijlage IV.3 zijn een aantal doorsnedes weergegeven, waaruit te concluderen is, dat de algemene traditionele dijk nauwelijks voorkomt op dit traject, maar enkel variërende aanpassingen hiervan. De dijk bevat een weg die van de binnendijkse Nilantsweg diagonaal over de dijk het maatwerklocatietraject uitloopt en aan de buitendijkse zijde weer daalt naar het laaggelegen ingesloten gebied. Daarnaast staan er een aantal huizen half in het dijktalud.

Voornamelijk de huizen Nilantsweg 81 en 83 staan in de weg voor dijkaanpassingen aangezien deze twee huizen in het talud van de dijk zijn gesitueerd. Daarnaast bevinden zich op de dijk een aantal schuurtjes rond de weg en een heg op de kruin vanaf de weg tot aan hectometer 4580. Er is geen beschermde flora of fauna op de dijk (zie Figuur 65).



Figuur 65 Beschermde flora & fauna
Bron: (Waterschap Drents Overijsselse Delta, 2017)

3.3. Binnendijks

Aan de binnendijkse zijde ligt een weg, de Nilantsweg, met zijwegen richting de dijk. Aan deze wegen zijn een heel aantal huizen gesitueerd in de buurt van de dijk op het maatwerklocatie traject. Naast de

twee huizen die volledig gesneden worden door meerdere alternatieven (Nilantsweg 81 en 83), wordt het terrein van Nilantsweg 89 geraakt. Dit is niet meteen een erg belangrijk knelpunt, maar het wordt meegenomen in de complete vergelijking, als dit raakvlak vermeden kan worden, zijn er minder kosten en minder gedoe bij de realisatie van de oplossing.



Figuur 66 Percelen maatwerklocatie Nilantsweg 90

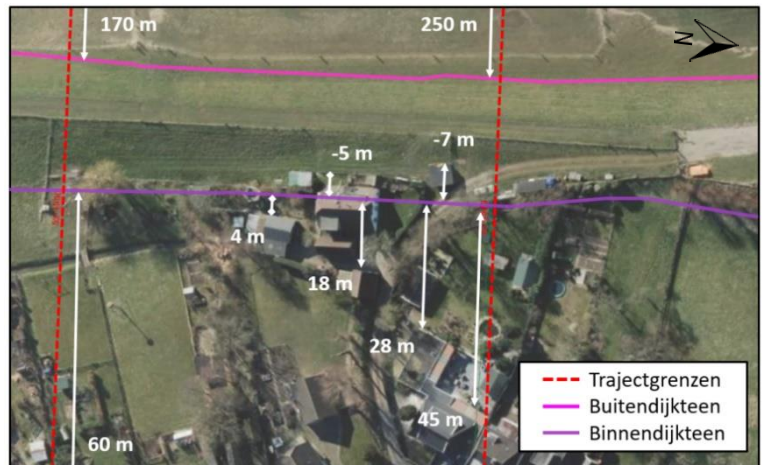
Nilantsweg 81 en 83

Deze twee huizen is in principe één huis dat opgesplitst is in twee delen, waarbij elk apart deel een andere bewoner heeft met zijn/haar eigen perceel (weergegeven in Figuur 66). Bij bijvoorbeeld alternatief B en C is op deze locatie door het stabiliteitsprobleem in de kansrijke alternatieven een 14 meter berm nodig die de twee huizen (en een deel van het terrein van Nilantsweg 89) zou bedekken (ter referentie van 14 meter, zal de berm parallel aan de dijkten staan en zal deze op de grens van Nilantsweg 83 en niet gemarkeerde oostelijke burens vallen). De huizen zijn geen historische objecten (die koste wat het kost gespaard moeten blijven), echter is het verwijderen van deze huizen en dus het uitkopen van deze mensen een grote kostenpost. Naast de huizen als knelpunt bevinden zich in de tuinen van deze huizen foeragerende huismussen en zijn deze tuinen een geschikte verblijfplaats en voedingsgebied voor foeragerende vlermuizen (Waterschap Drents Overijsselse Delta, 2017).

Naast deze huizen ligt er in het meest zuidelijke deel binnendijs naast het perceel van Nilantsweg 83 een kwelsloot met bijbehorende brug voor het verbinden van twee delen van hetzelfde perceel. Aan het eind van deze sloot (het meest noordelijke punt) bevindt zich een duiker, die de sloot verbindt met de kwelsloot aan de overkant van de Nilantsweg (weergegeven in Figuur 66).

3.4. Verdere details

Het traject waar de focus op ligt loopt van hectometer 4580 tot 4590, dit traject bevat dijkdoorsnede 3518 tot 3527 (10 doorsnedes), hiervan zijn er een aantal weergegeven in Bijlage IV.3 (ontworpen door geëxtraheerde data uit de AHN kaarten te combineren met de gegevens uit het geometrisch onderzoek van kolken en één dwarsprofiel per kolk). De satellietfoto met afstanden van de dijkteen tot het/de dijkobject(en) is weergegeven in Figuur 67 en heeft enkele negatieve afstanden aangezien de eerder besproken huizen in het talud staan en de dijkteen al gepasseerd zijn.



Figuur 67 Beschikbare ruimte maatwerklocatie Nilantsweg 90

Naast alle bovengrondse natuur en objecten, zijn er in de dijk en in de grond daaronder van allerlei verschillende grondlagen aanwezig die net zoveel, al dan niet meer invloed hebben op de keuze van de mogelijke oplossingen. Verschillende bouwstenen kunnen namelijk alleen geïmplementeerd worden als de grond een goede draagkracht heeft (damwand, diepwand, etc.) en sommigen bijvoorbeeld alleen als het voorland een niet kleiige grond bevat (Building with Nature). Alle grondlagen in en onder de dijk zijn weergegeven in Bijlage V.3 als segment geëxtraheerd uit het geotechnisch grondonderzoek van normtraject 53 (Zwolle-Olst) en deels aangepast om bruikbaar te zijn voor dit onderzoek. Deze bijlage bestaat uit een aantal gronddoorsnedes in lengterichting. In het grondonderzoek in de lengterichting op de kruin is het dijklichaam weergegeven die een zandkern heeft met een 70 cm dikke kleilaag als toplaag (een standaard dijklichaam). Onder de dijk is een 5 meter dikke kleilaag (die zwak tot matig siltig is) gesitueerd, waaronder een dunne laag van 10 tot 20 centimeter kleiig veen ligt. Onder en naast de veenlaag (aangezien deze de helft van de lengte van het traject bevat) ligt een 2,5 tot 3,5 meter dikke variërende zandlaag (fijn, grof, zwak ziltig, misschien grindhoudend) en onder -6 meter NAP ligt een dik pakket uiterst fijn tot uiterst grof zand met vaak grind. De kleilaag dicht onder de dijk heeft weinig draagkracht (karakteristiek van klei), terwijl de lagen hieronder voornamelijk zand zijn en een sterkere draagkracht hebben. Daarnaast kan een diepe constructie voordeel hebben aan de kleilaag, wanneer de constructie deze passeert ondervindt het kleef. Voor de bouwstenen is het sterk afhankelijk van de karakteristieken van de bouwsteen (zoals de diepte, hoek, richting, etc.), hoe groot de draagkracht van de grond is.

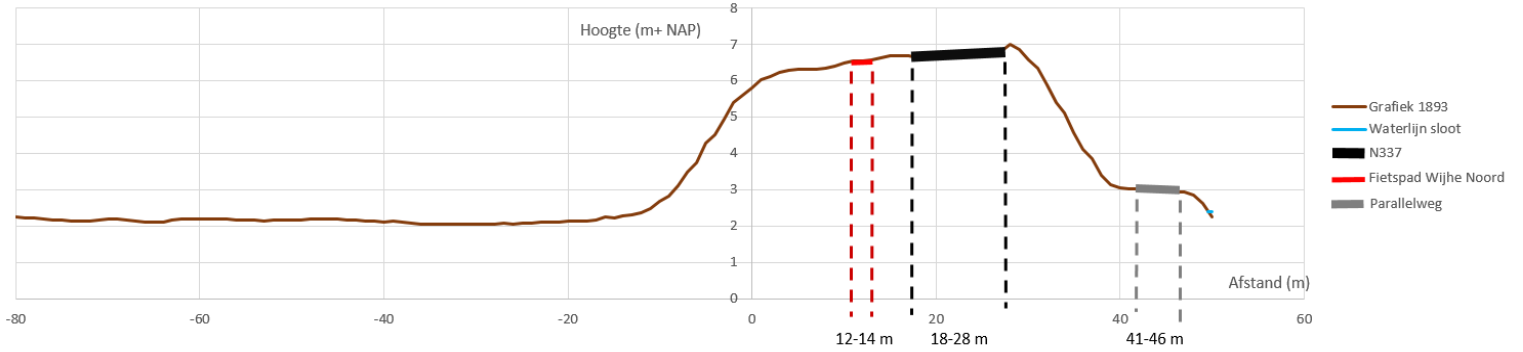
IV. Dijkdoorsnedes

1. Maatwerklocatie “Het Surfgat”

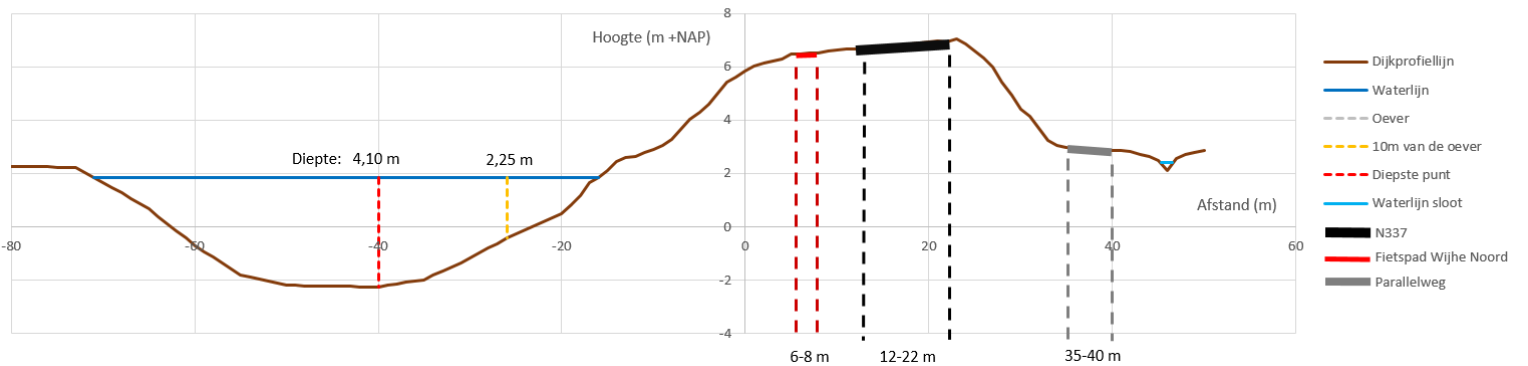
De dijkdoorsnedes van maatwerklocatie Het Surfgat, de dijkdoorsnedelocaties zijn weergegeven in het figuur hiernaast.



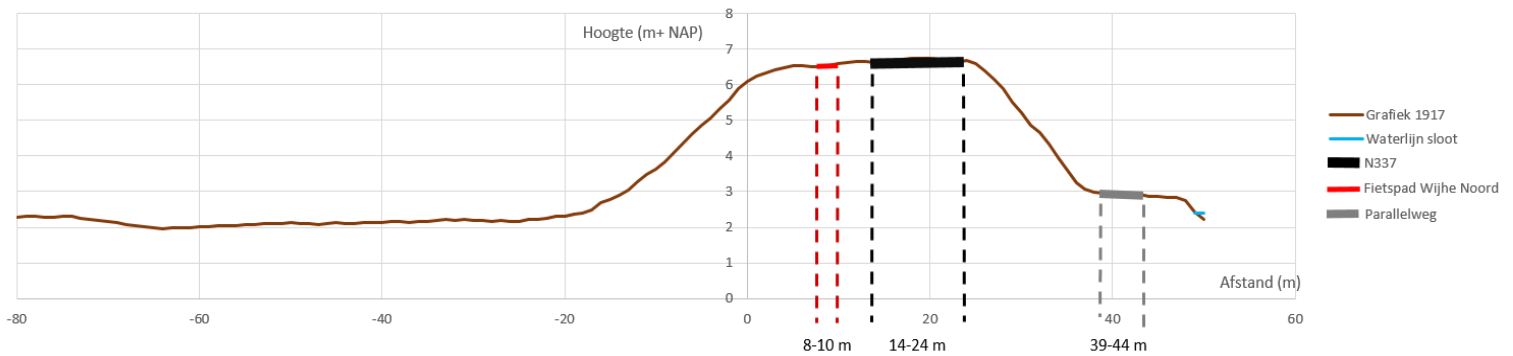
Dijkprofiel 1893 (Hectometer 2960)



Dijkprofiel 1899 (Hectometer 2967)

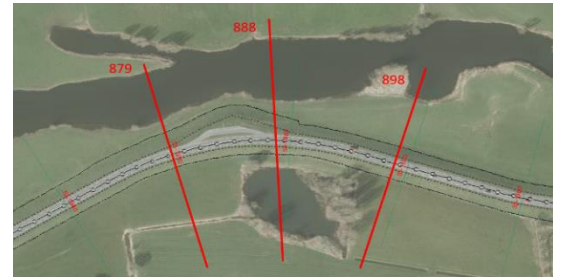


Dijkprofiel 1917 (Hectometer 2975)

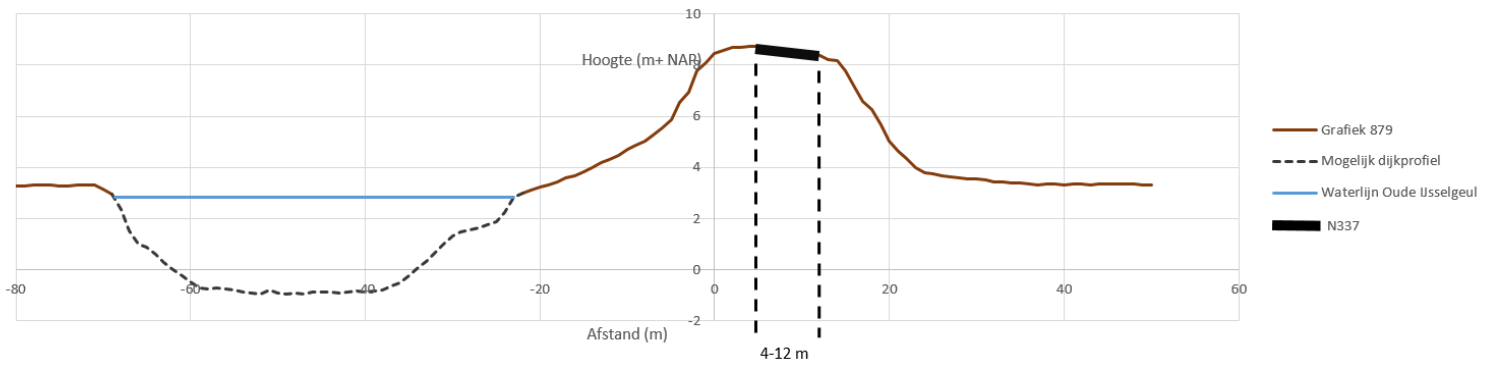


2. Maatwerklocatie “De Oude IJsselgeul”

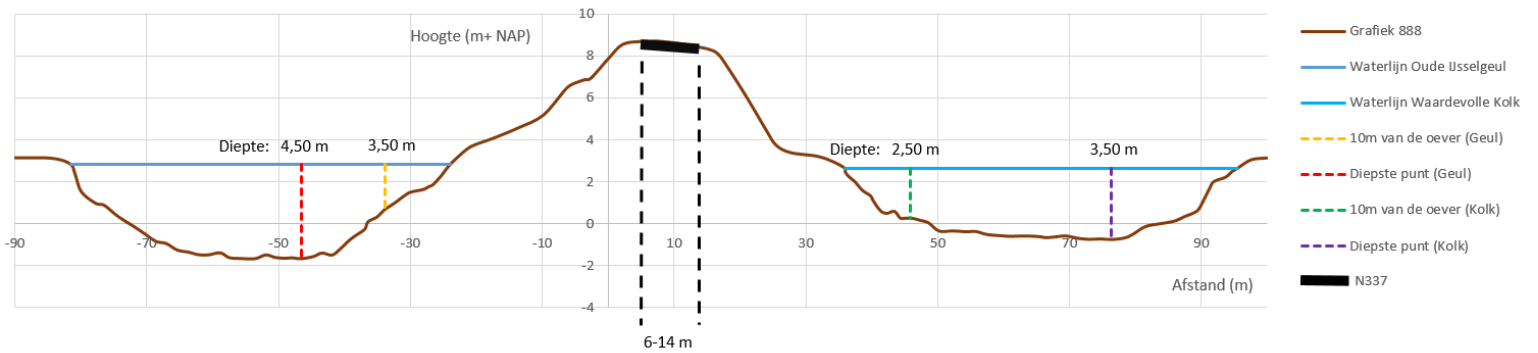
De figuren met de stippellijn “Mogelijk dijkprofiel” hadden op de locatie van het waterlichaam geen data. Hier is besloten een mogelijk dijkprofiel te tekenen op basis van de data die wel bekend is en waterdieptes geëxtrapoleerd naar een dunner stuk kolk (met een grote kans ook ondieper te zijn) bij 879 en een ondieper stuk kolk bij 898 (te zien aan kleur en locatie ten opzichte van de aanliggende uitstekende landhoofden.



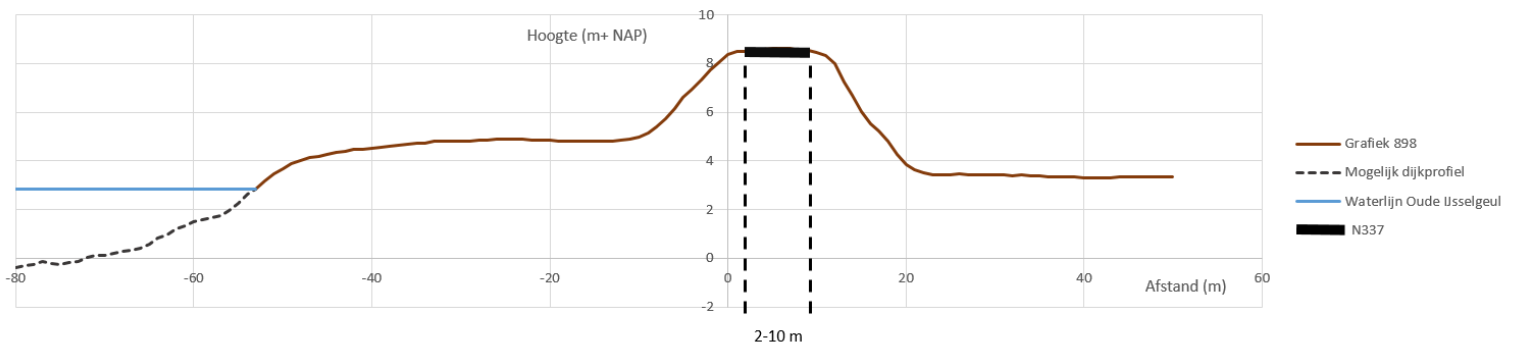
Dijkprofiel 879 (Hectometer 1950)



Dijkprofiel 888 (Hectometer 1958)



Dijkprofiel 898 (Hectometer 1968)

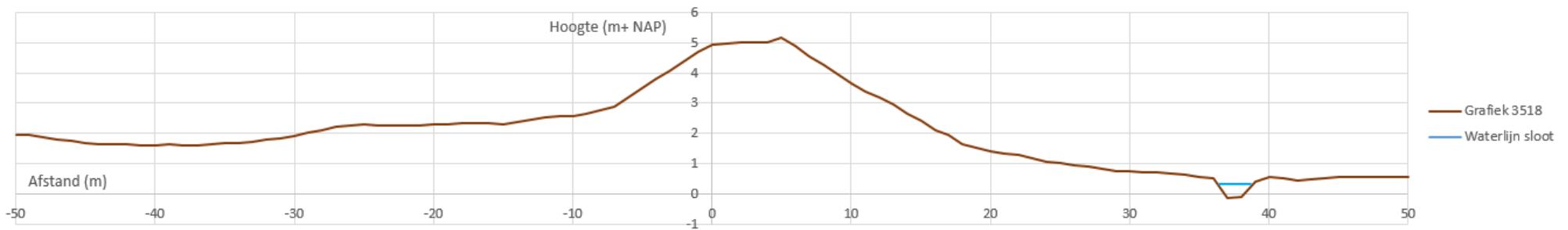


3. Maatwerklocatie “Nilantsweg 90”

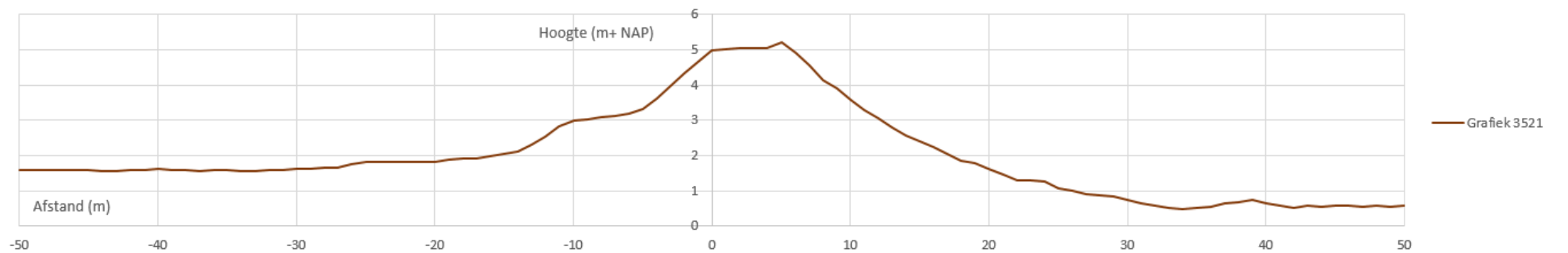
Deze bijlage is in een liggende positie om de dijk een meer realistische verhouding te geven. Dit is alleen bij maatwerklocatie Nilantsweg 90 ingevoerd om het huis een logischere verhouding te geven om beter inzicht te krijgen in de situatie. De hoogtes van de bebouwing zijn echter onbekend en daardoor zijn de ingetekende gebouwen niet natuurgetrouw, echter geeft de breedte van de huizen genoeg informatie. De zwarte stippellijn is een huisdeel dat net buiten de doorsnede valt, maar wel relevant is. Daarnaast is de grijze stippellijn de grond die zich aan de noordzijde van het huis bevindt, om een duidelijk beeld te creëren van de complete locatie. De locatie van de dijkdoorsneden is aangegeven in het figuur hiernaast.



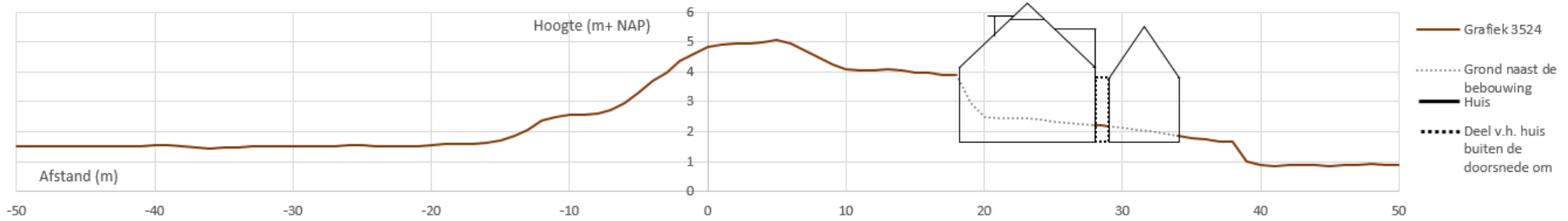
Dijkprofiel 3518 (Hectometer 4580)



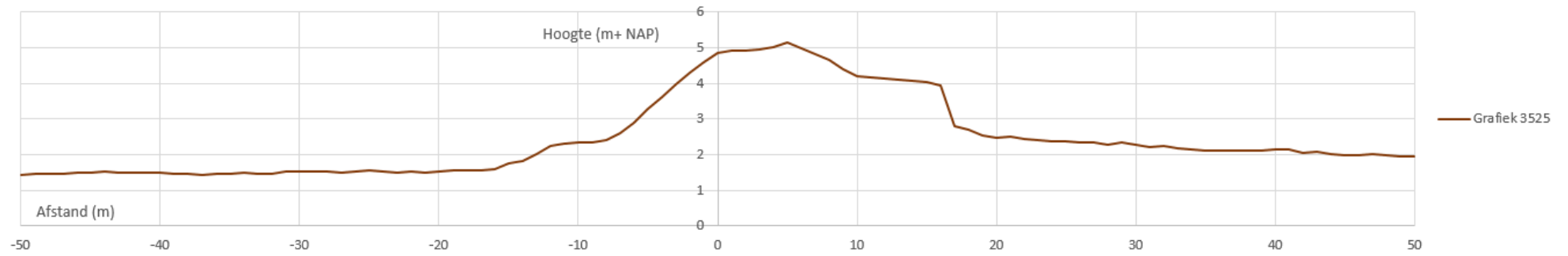
Dijkprofiel 3521 (Hectometer 4583)



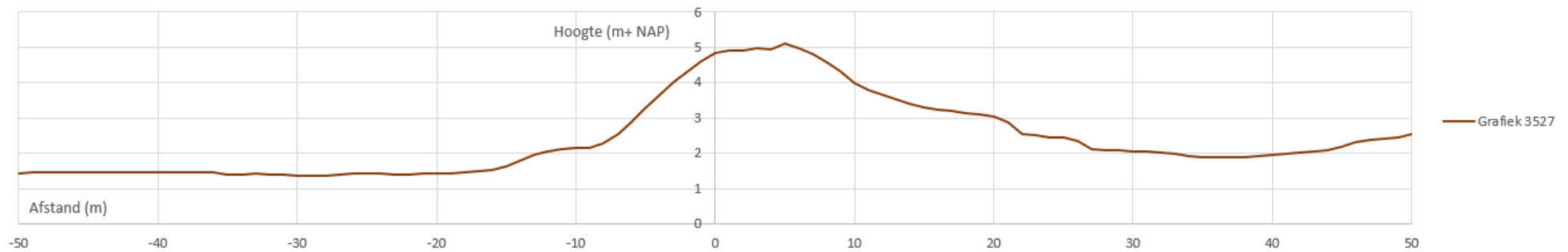
Dijkprofiel 3524 (Hectometer 4587)



Dijkprofiel 3525 (Hectometer 4588)



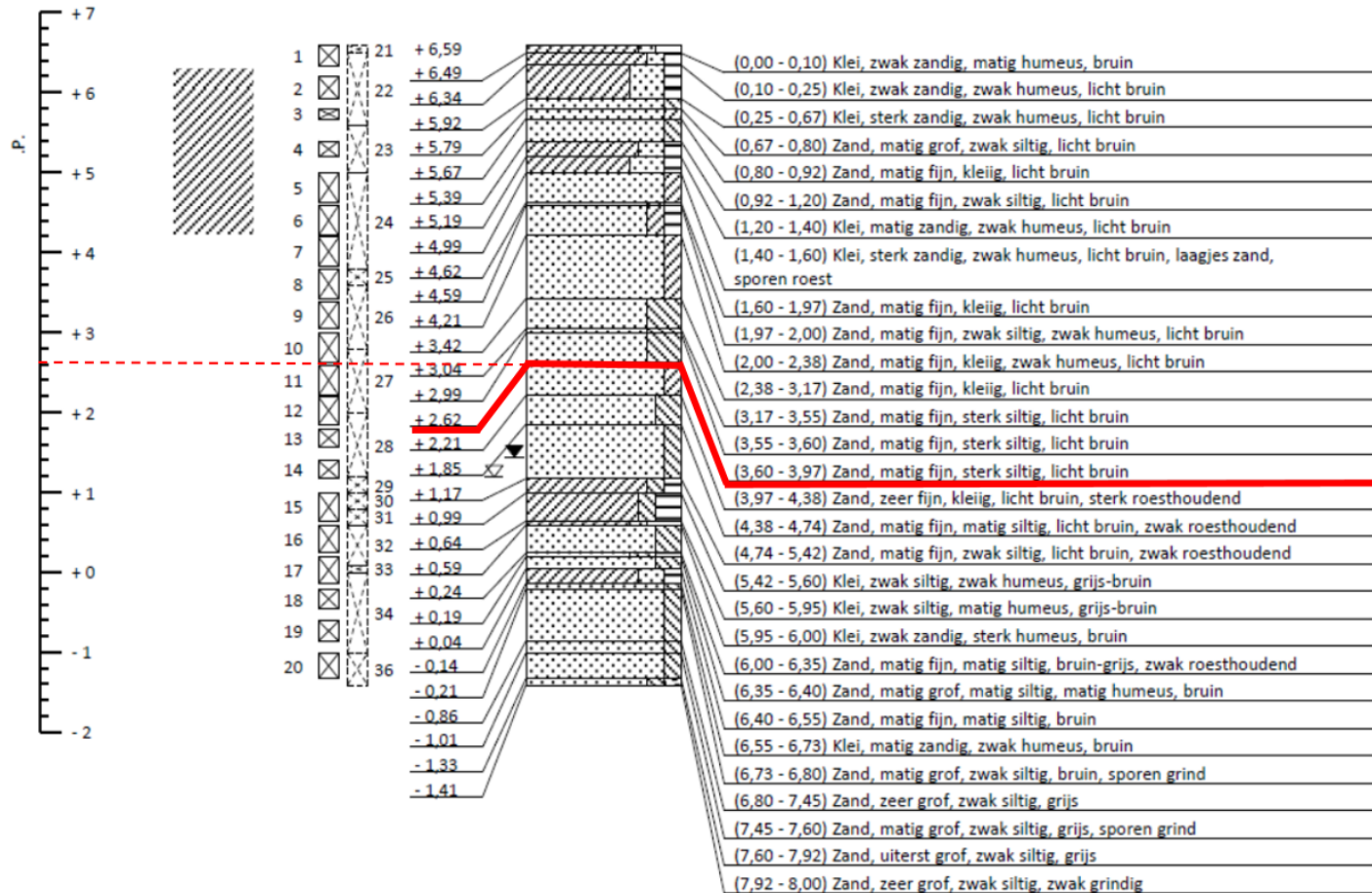
Dijkprofiel 3527 (Hectometer 4590)



V. Grondonderzoeken

1. Maatwerklocatie “Het Surfgat”

Verhoudingschema kruin

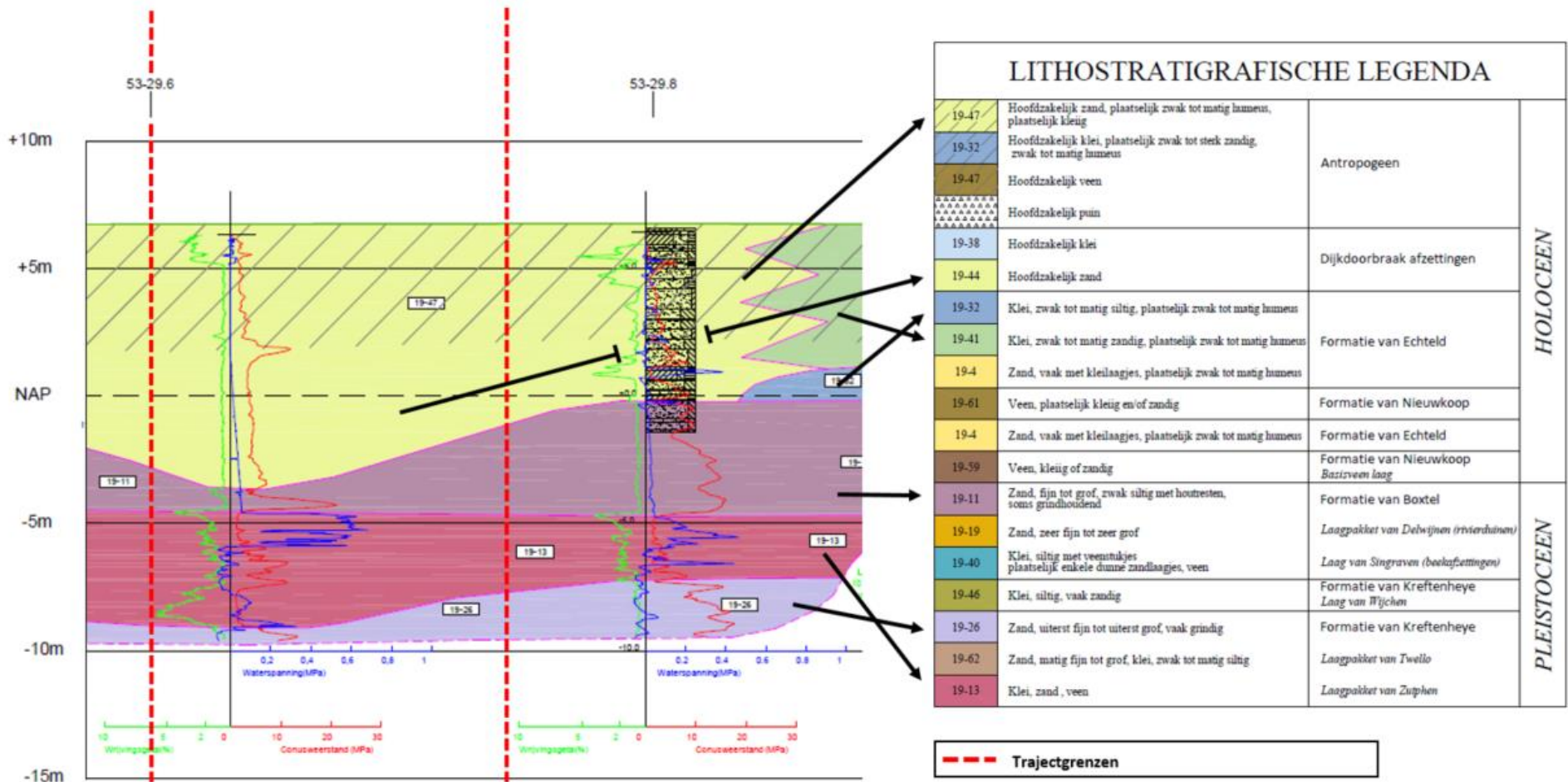


Figuur 68 Locatie puntboring

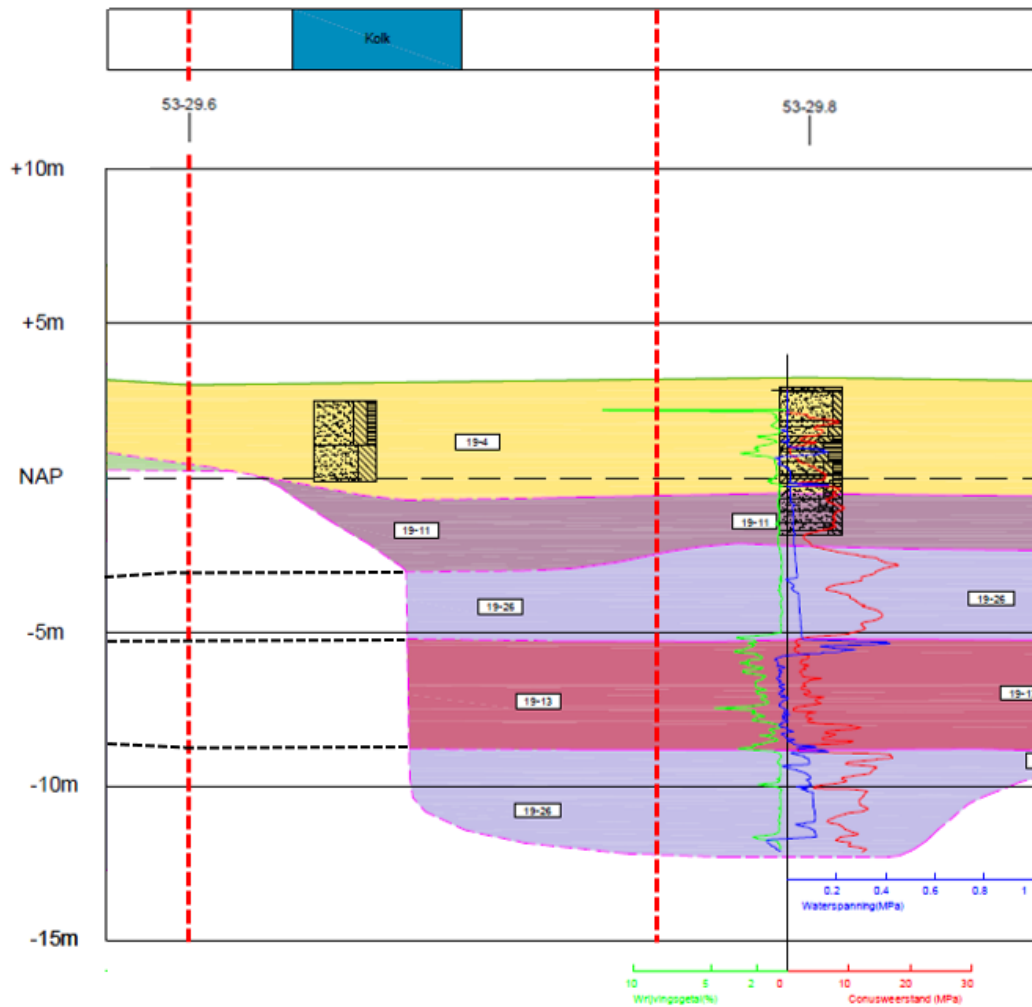
Dijklichaam

Ondergrond

Lengte doorsnede kruin



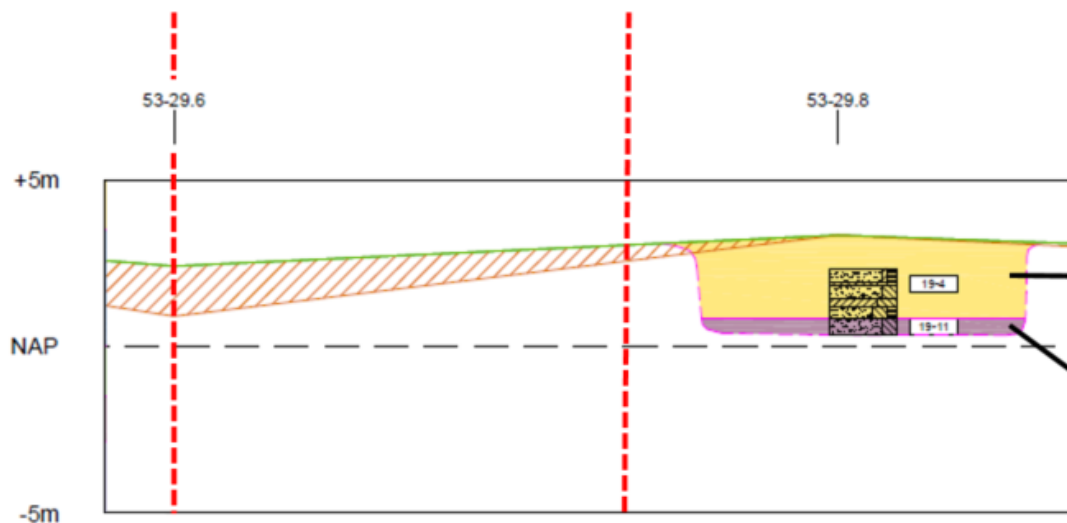
Lengte doorsnede binnendijs



LITHOSTRATIGRAFISCHE LEGENDA			
19-47	Hoofdzakelijk zand, plaatselijk zwak tot matig humeus, plaatselijk kleiig	Antropogeen	HOLOCEEN
19-32	Hoofdzakelijk klei, plaatselijk zwak tot sterk zandig, zwak tot matig humeus		
19-47	Hoofdzakelijk veen		
	Hoofdzakelijk puin	Dijkdoorbraak afzettingen	
19-38	Hoofdzakelijk klei		
19-44	Hoofdzakelijk zand	Formatie van Echteld	
19-32	Klei, zwak tot matig siltig, plaatselijk zwak tot matig humeus		
19-41	Klei, zwak tot matig zandig, plaatselijk zwak tot matig humeus		
19-4	Zand, vaak met kleilaagjes, plaatselijk zwak tot matig humeus	Formatie van Nieuwkoop	
19-61	Veen, plaatselijk kleiig en/of zandig		
19-4	Zand, vaak met kleilaagjes, plaatselijk zwak tot matig humeus	Formatie van Echteld	
19-59	Veen, kleiig of zandig	Formatie van Nieuwkoop <i>Basisveen laag</i>	
19-11	Zand, fijn tot grof, zwak siltig met houtresten, soms grindhoudend	Formatie van Boxtel	PLEISTOCEN
19-19	Zand, zeer fijn tot zeer grof	<i>Laagpakket van Delwijnen (rivierduinen)</i>	
19-40	Klei, siltig met veenstukjes plaatselijk enkele dunne zandlaagjes, veen	<i>Laag van Singraven (beekafzettingen)</i>	
19-46	Klei, siltig, vaak zandig	Formatie van Kreftenheye <i>Laag van Wijchen</i>	
19-26	Zand, uiterst fijn tot uiterst grof, vaak grindig	Formatie van Kreftenheye	
19-62	Zand, matig fijn tot grof, klei, zwak tot matig siltig	<i>Laagpakket van Twello</i>	
19-13	Klei, zand, veen	<i>Laagpakket van Zutphen</i>	

--- Trajectgrenzen
---- Aangenomen mogelijk voortzetting van grondlagen

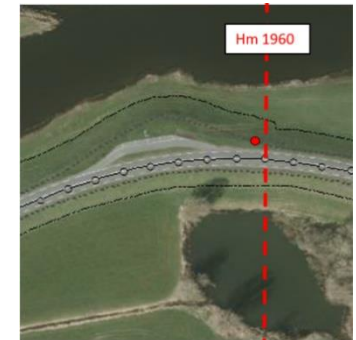
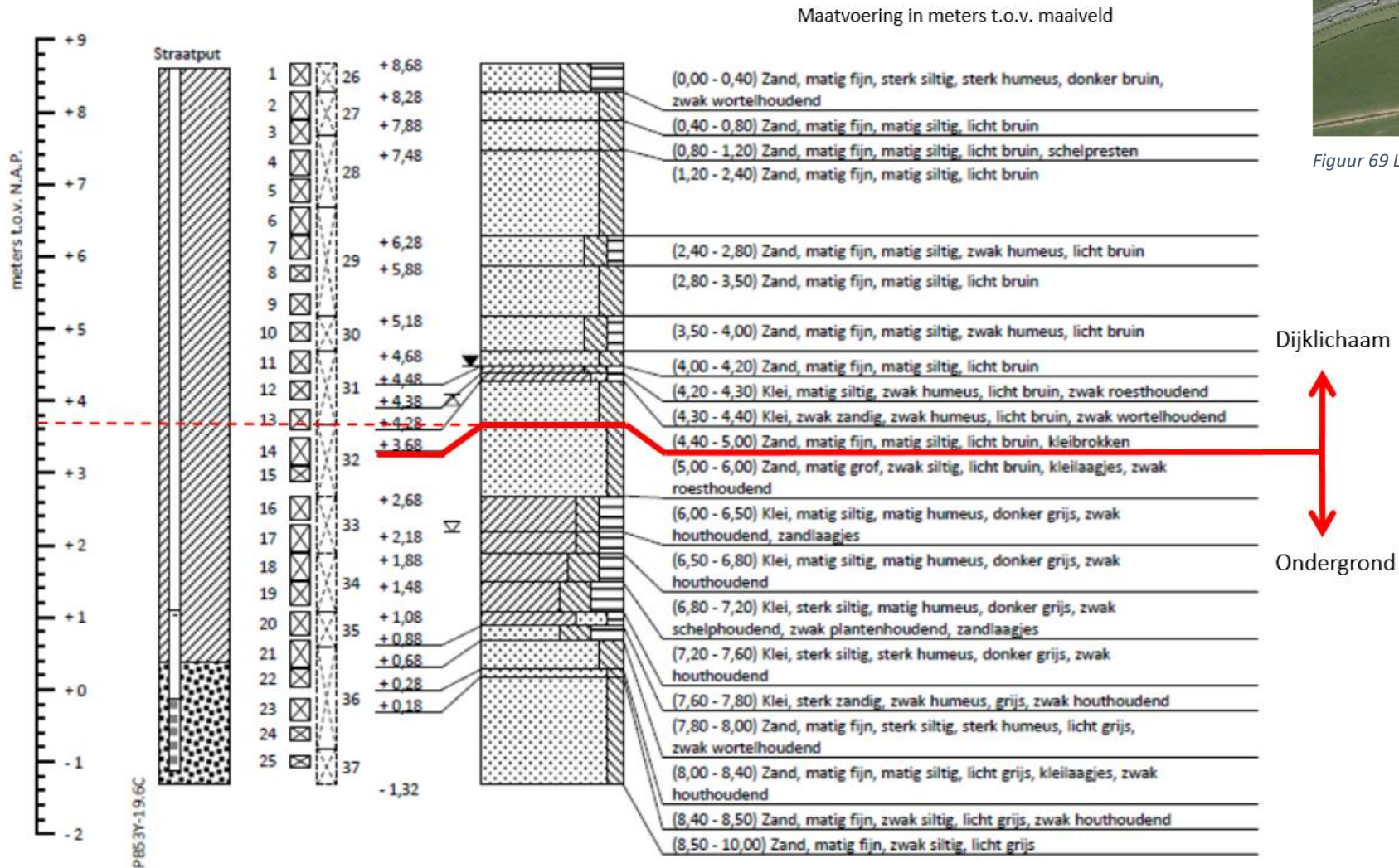
Lengte doorsnede buitendijks



LITHOSTRATIGRAFISCHE LEGENDA			
19-47	Hoofdzakelijk zand, plaatselijk zwak tot matig humeus, plaatselijk kleiig	Antropogeen	HOLOCEEN
19-32	Hoofdzakelijk klei, plaatselijk zwak tot sterk zandig, zwak tot matig humeus		
19-47	Hoofdzakelijk veen		
	Hoofdzakelijk puin	Dijkdoorbraak afzettingen	
19-38	Hoofdzakelijk klei		
19-44	Hoofdzakelijk zand	Formatie van Echteld	
19-32	Klei, zwak tot matig siltig, plaatselijk zwak tot matig humeus		
19-41	Klei, zwak tot matig zandig, plaatselijk zwak tot matig humeus		
19-4	Zand, vaak met kleilaagjes, plaatselijk zwak tot matig humeus	Formatie van Nieuwkoop	
19-61	Veen, plaatselijk kleiig en/of zandig	Formatie van Nieuwkoop	
19-4	Zand, vaak met kleilaagjes, plaatselijk zwak tot matig humeus	Formatie van Nieuwkoop	
19-59	Veen, kleiig of zandig	<i>Basisveen laag</i>	
19-11	Zand, fijn tot grof, zwak siltig met houtresten, soms grindhoudend	Formatie van Boxtel	PLEISTOCEN
19-19	Zand, zeer fijn tot zeer grof	<i>Laagpakket van Delwijnen (riversduinen)</i>	
19-40	Klei, siltig met veenschikjes plaatselijk enkele dunne zandlaagjes, veen	<i>Laag van Singraven (boekafzettingen)</i>	
19-46	Klei, siltig, vaak zandig	Formatie van Kreftenheye	
19-26	Zand, uiterst fijn tot uiterst grof, vaak grindig	Formatie van Kreftenheye	
19-62	Zand, matig fijn tot grof, klei, zwak tot matig siltig	<i>Laagpakket van Twello</i>	
19-13	Klei, zand, veen	<i>Laagpakket van Zutphen</i>	

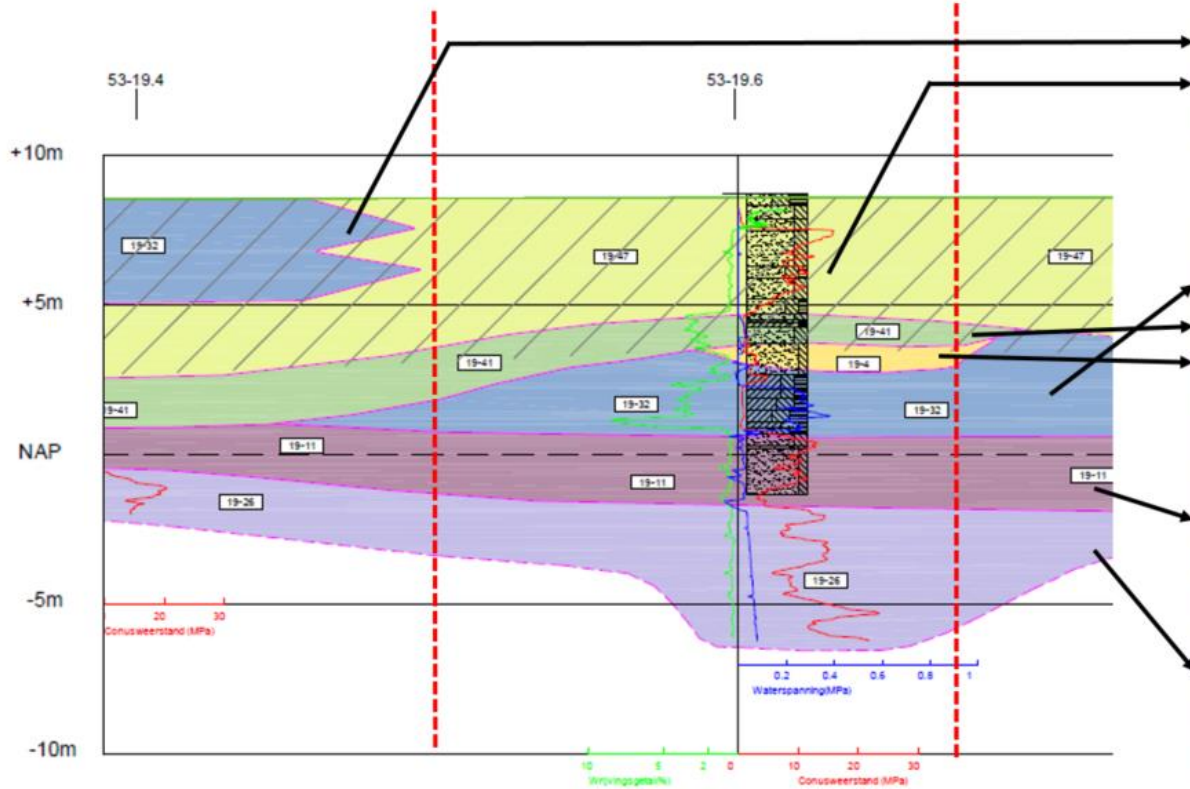
--- Trajectgrenzen

2. Maatwerklocatie “De Oude IJsselgeul” Verhoudingschema kruin



Figuur 69 Locatie puntboring

Lengte doorsnede kruin

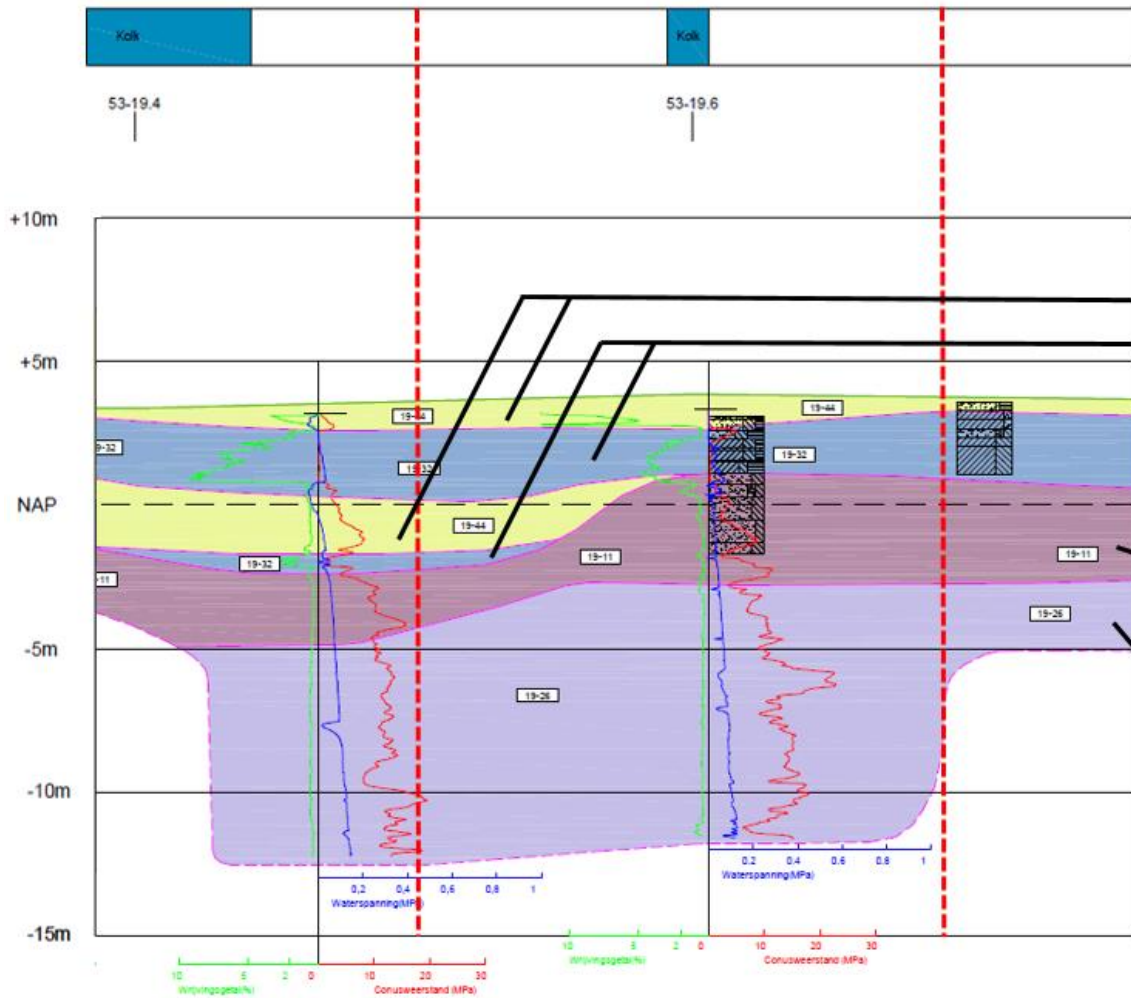


LITHOSTRATIGRAFISCHE LEGENDA

19-47	Hoofdzakelijk zand, plaatselijk zwak tot matig humeus, plaatselijk kleiig	Antropogeen	HOLOCEEN
19-32	Hoofdzakelijk klei, plaatselijk zwak tot sterk zandig, zwak tot matig humeus		
19-47	Hoofdzakelijk veen		
	Hoofdzakelijk puin	Dijkdoorbraak afzettingen	
19-38	Hoofdzakelijk klei		
19-44	Hoofdzakelijk zand	Formatie van Echteld	
19-32	Klei, zwak tot matig siltig, plaatselijk zwak tot matig humeus		
19-41	Klei, zwak tot matig zandig, plaatselijk zwak tot matig humeus		
19-4	Zand, vaak met kleilaagjes, plaatselijk zwak tot matig humeus		
19-61	Veen, plaatselijk kleiig en/of zandig	Formatie van Nieuwkoop	
19-4	Zand, vaak met kleilaagjes, plaatselijk zwak tot matig humeus	Formatie van Echteld	
19-59	Veen, kleiig of zandig	Formatie van Nieuwkoop <i>Basisveen laag</i>	
19-11	Zand, fijn tot grof, zwak siltig met houtresten, soms grindhoudend	Formatie van Boxtel	
19-19	Zand, zeer fijn tot zeer grof	<i>Laagpakket van Delwijnen (rivierduinen)</i>	
19-40	Klei, siltig met veenstukjes plaatselijk enkele dunne zandlaagjes, veen	<i>Laag van Singraven (beekafzettingen)</i>	
19-46	Klei, siltig, vaak zandig	Formatie van Kreftenheye <i>Laag van Wijchen</i>	
19-26	Zand, uiterst fijn tot uiterst grof, vaak grindig	Formatie van Kreftenheye	
19-62	Zand, matig fijn tot grof, klei, zwak tot matig siltig	<i>Laagpakket van Twello</i>	
19-13	Klei, zand, veen	<i>Laagpakket van Zutphen</i>	

--- Trajectgrenzen

Lengte doorsnede binnendijs

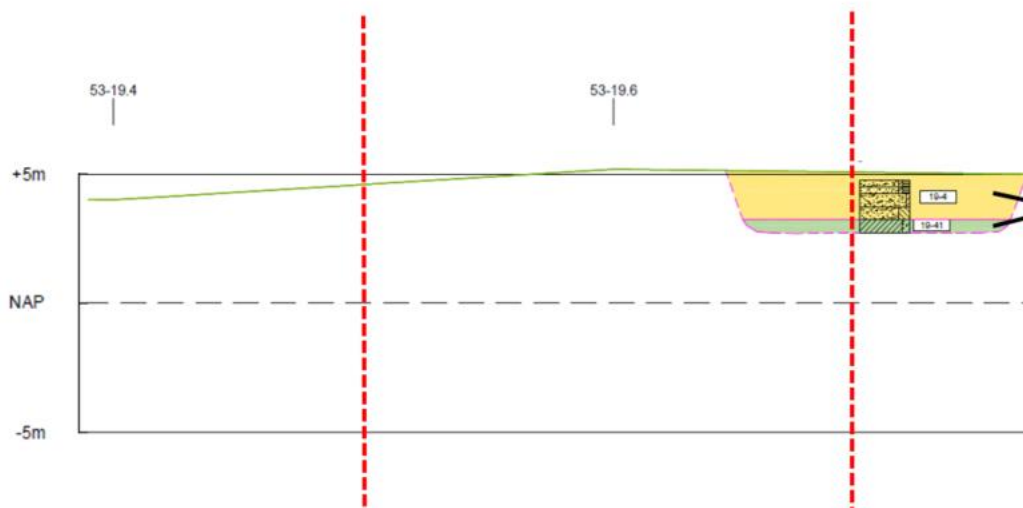


LITHOSTRATIGRAFISCHE LEGENDA

19-47	Hoofdzakelijk zand, plaatselijk zwak tot matig humeus, plaatselijk kleiig	Antropogeen	HOLOCEEN
19-32	Hoofdzakelijk klei, plaatselijk zwak tot sterk zandig, zwak tot matig humeus		
19-47	Hoofdzakelijk veen		
[Pattern]	Hoofdzakelijk puin		
19-38	Hoofdzakelijk klei	Dijkdoorbraak afzettingen	
19-44	Hoofdzakelijk zand		
19-32	Klei, zwak tot matig siltig, plaatselijk zwak tot matig humeus		
19-41	Klei, zwak tot matig zandig, plaatselijk zwak tot matig humeus	Formatie van Echteld	
19-4	Zand, vaak met kleilaagjes, plaatselijk zwak tot matig humeus		
19-61	Veen, plaatselijk kleiig en/of zandig	Formatie van Nieuwkoop	
19-4	Zand, vaak met kleilaagjes, plaatselijk zwak tot matig humeus	Formatie van Echteld	
19-59	Veen, kleiig of zandig	Formatie van Nieuwkoop <i>Basisveen lang</i>	
19-11	Zand, fijn tot grof, zwak siltig met houtresten, soms grindhoudend	Formatie van Boxtel	
19-19	Zand, zeer fijn tot zeer grof	<i>Laagpakket van Delwijnen (rivierduinen)</i>	
19-40	Klei, siltig met veenstukjes plaatselijk enkele dunne zandlaagjes, veen	<i>Laag van Singraven (boekafzettingen)</i>	
19-46	Klei, siltig, vaak zandig	Formatie van Kreftenheye <i>Laag van Wijchen</i>	
19-26	Zand, uiterst fijn tot uiterst grof, vaak grindig	Formatie van Kreftenheye	
19-62	Zand, matig fijn tot grof, klei, zwak tot matig siltig	<i>Laagpakket van Twello</i>	
19-13	Klei, zand, veen	<i>Laagpakket van Zutphen</i>	

- - - Trajectgrenzen

Lengte doorsnede buitendijks

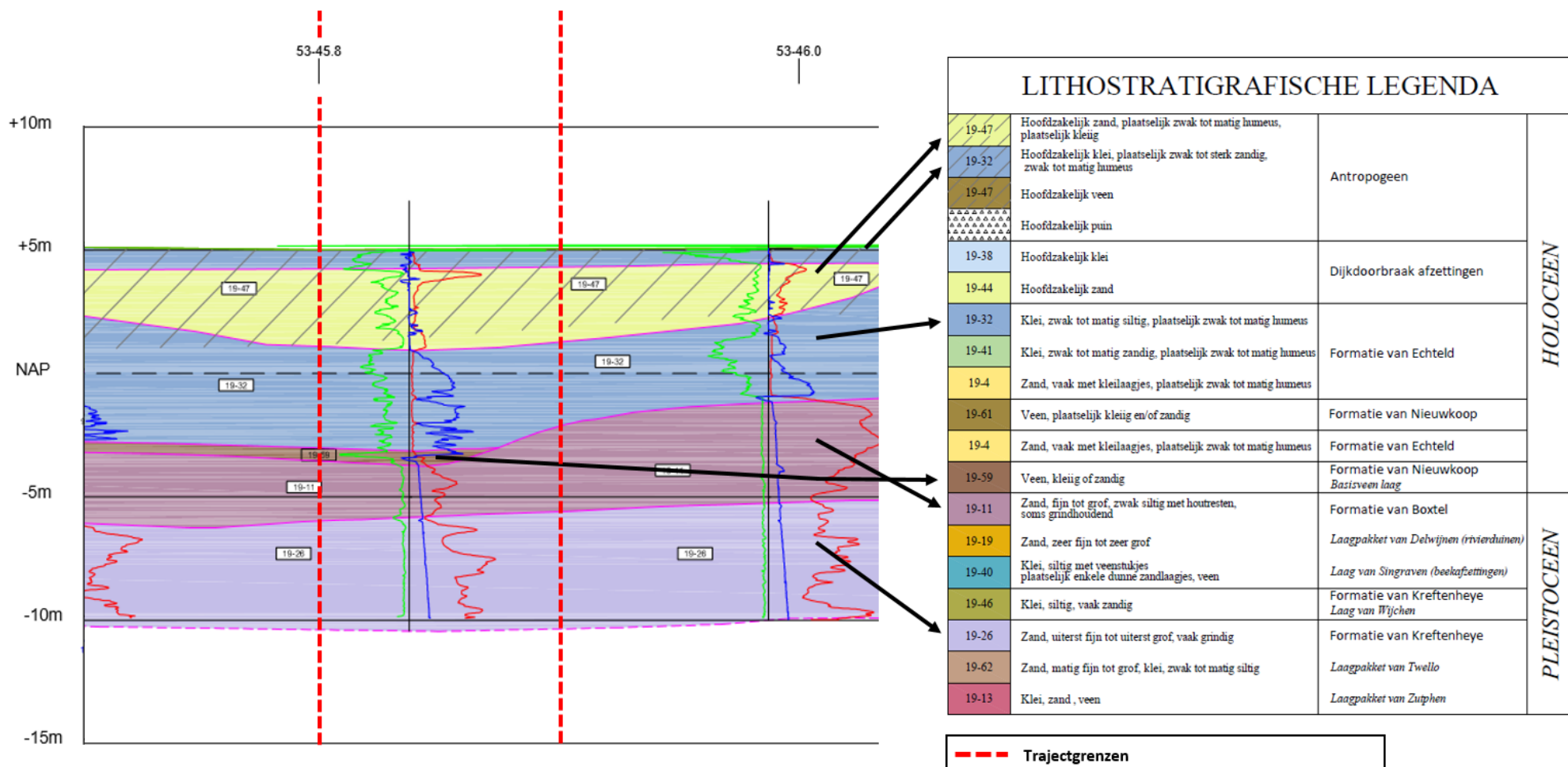


LITHOSTRATIGRAFISCHE LEGENDA			
19-47	Hoofdzakelijk zand, plaatselijk zwak tot matig humeus, plaatselijk kleig	Antropogeen	HOLOCEEN
19-32	Hoofdzakelijk klei, plaatselijk zwak tot sterk zandig, zwak tot matig humeus		
19-47	Hoofdzakelijk veen	Dijkdoorbraak afzettingen	
	Hoofdzakelijk puin		
19-38	Hoofdzakelijk klei	Formatie van Echteld	
19-44	Hoofdzakelijk zand		
19-32	Klei, zwak tot matig siltig, plaatselijk zwak tot matig humeus	Formatie van Nieuwkoop	
19-41	Klei, zwak tot matig zandig, plaatselijk zwak tot matig humeus		
19-4	Zand, vaak met kleilaagjes, plaatselijk zwak tot matig humeus	Formatie van Nieuwkoop	
19-61	Veen, plaatselijk kleig en/of zandig		
19-4	Zand, vaak met kleilaagjes, plaatselijk zwak tot matig humeus	Formatie van Nieuwkoop	
19-59	Veen, kleig of zandig		
19-11	Zand, fijn tot grof, zwak siltig met houtresten, soms grindhoudend	Formatie van Boxtel	PLEISTOCEN
19-19	Zand, zeer fijn tot zeer grof	<i>Laagpakket van Delwijnen (rivierduinen)</i>	
19-40	Klei, siltig met veenstukjes plaatselijk enkele dunne zandlaagjes, veen	<i>Laag van Singraven (beekafzettingen)</i>	
19-46	Klei, siltig, vaak zandig	Formatie van Kreftenheye	
19-26	Zand, uiterst fijn tot uiterst grof, vaak grindig	<i>Laag van Wijchen</i>	
19-62	Zand, matig fijn tot grof, klei, zwak tot matig siltig	Formatie van Kreftenheye	
19-13	Klei, zand, veen	<i>Laagpakket van Twello</i>	
		<i>Laagpakket van Zutphen</i>	

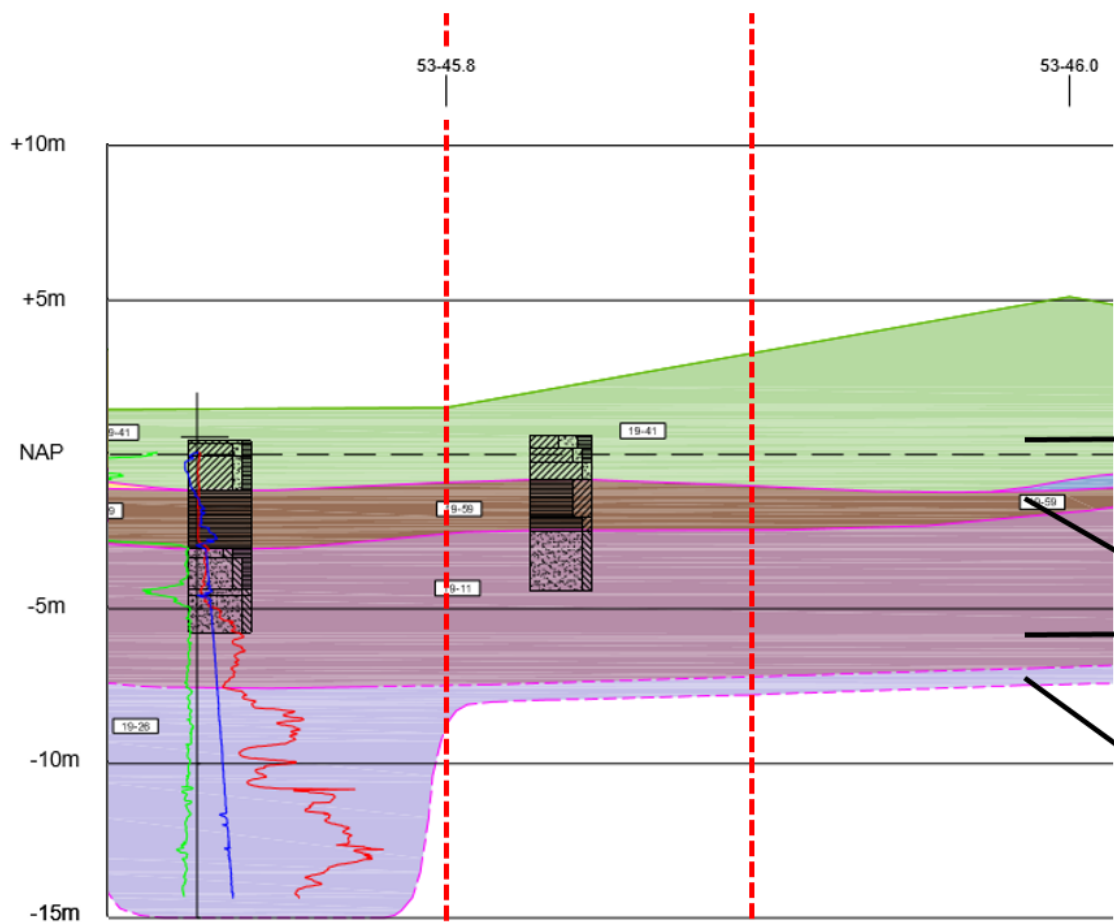
--- Trajectgrenzen

3. Meetwerklocatie "Nilantsweg 90"

Lengte doorsnede kruin



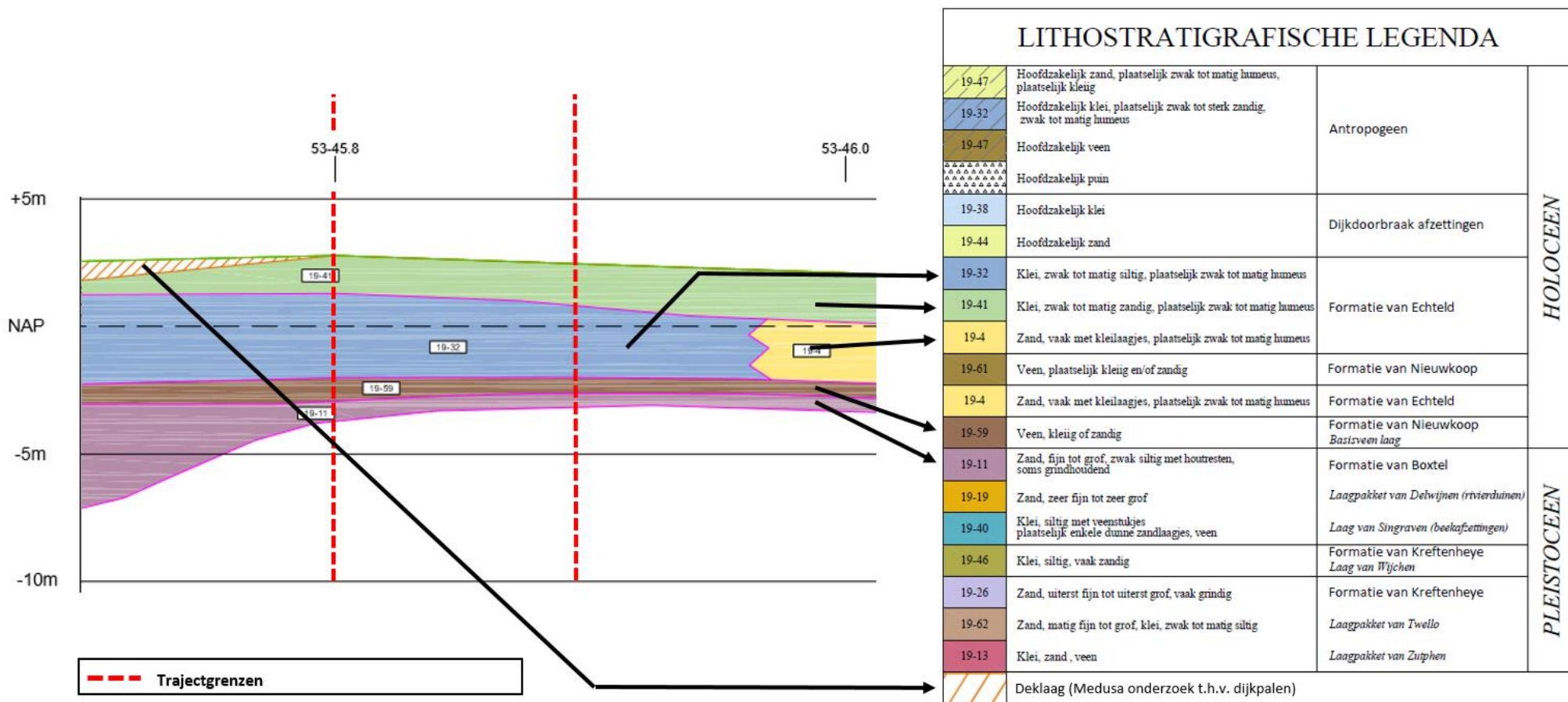
Lengte doorsnede binnendijks



LITHOSTRATIGRAFISCHE LEGENDA			
19-47	Hoofdzakelijk zand, plaatselijk zwak tot matig humeus, plaatselijk kleiig	Antropogeen	HOLOCEEN
19-32	Hoofdzakelijk klei, plaatselijk zwak tot sterk zandig, zwak tot matig humeus		
19-47	Hoofdzakelijk veen		
	Hoofdzakelijk puin	Dijkdoorbraak afzettingen	
19-38	Hoofdzakelijk klei		
19-44	Hoofdzakelijk zand	Formatie van Echteld	
19-32	Klei, zwak tot matig siltig, plaatselijk zwak tot matig humeus		
19-41	Klei, zwak tot matig zandig, plaatselijk zwak tot matig humeus	Formatie van Nieuwkoop	
19-4	Zand, vaak met kleilaagjes, plaatselijk zwak tot matig humeus		
19-61	Veen, plaatselijk kleiig en/of zandig	Formatie van Nieuwkoop <i>Basisveen laag</i>	
19-4	Zand, vaak met kleilaagjes, plaatselijk zwak tot matig humeus		
19-59	Veen, kleiig of zandig	Formatie van Boxtel	
19-11	Zand, fijn tot grof, zwak siltig met houtresten, soms grindhoudend		
19-19	Zand, zeer fijn tot zeer grof	<i>Laagpakket van Delwijnen (rivierduinen)</i>	
19-40	Klei, siltig met veenstukjes plaatselijk enkele dunne zandlaagjes, veen	<i>Laag van Singraven (boekafzettingen)</i>	
19-46	Klei, siltig, vaak zandig	Formatie van Kreftenheye <i>Laag van Wijchen</i>	
19-26	Zand, uiterst fijn tot uiterst grof, vaak grindig	Formatie van Kreftenheye	
19-62	Zand, matig fijn tot grof, klei, zwak tot matig siltig	<i>Laagpakket van Twello</i>	
19-13	Klei, zand, veen	<i>Laagpakket van Zutphen</i>	
			PLEISTOCIEEN

--- Trajectgrenzen

Lengte doorsnede buitendijks



VI. Bouwsteenkeuze

1. Opstelling Multi Criteria Analyse (MCA)

De MCA wordt in dit onderzoek gebruikt als methode om een keuze te maken uit mogelijke bouwstenen voor een maatwerkoplossing op een specifieke locatie. “Bij een MCA beoordeelt men de effecten van een maatregel systematisch via een aantal criteria. Deze criteria worden bijvoorbeeld onderscheiden in clusters, zoals de bijdrage aan het verbeteren van de bereikbaarheid, de potentiële bijdragen aan het vestigingsklimaat voor bedrijven, de effecten op milieu en verkeersveiligheid e.d.. Een standaardaanpak is dat men de effecten weergeeft in een evaluatietabel. Vervolgens dient het belang van de verschillende criteria bepaald te worden (weging). De gewichten kunnen zowel kwantitatief als kwalitatief worden uitgedrukt. Toepassing van de gewichten en scores van de evaluatietabel maken het mogelijk tot een bepaalde rangschikking van alternatieven te komen.” (CROW, 2012).

Een opstelling van deze MCA is als volgt beschreven door het Waterschap Drents Overijsselse Delta en is een opstapje naar het MCA in dit onderzoek (Krol & van Zundert, 2018):

De afweging van de kansrijke alternatieven wordt gebaseerd op een beoordeling van drie thema's. Per traject wordt voor elk thema die informatie verzameld, die relevant is voor de afweging van de alternatieven. Het gaat daarbij om de informatie met betrekking tot zinnvolle effecten, eventuele No Go's en andere informatie die onderscheidend is voor de alternatieven.

De volgende drie thema's, met de aspecten waarop getoetst wordt, worden toegepast om een goede afweging en keuze voor het VKA te maken:

Thema	Doel	Aspecten
Techniek	Inzicht in het risico- en kansenprofiel op gebied van betrouwbaarheid, onderhoud en toekomstbestendigheid	<ul style="list-style-type: none">- uitvoerbaarheid- areaal beheer en onderhoud- hoogwaterveiligheid- toekomstbestendigheid- kansen regionaal systeem
Impact op omgeving	Inzicht in de onderscheidende negatieve effecten of positieve meerwaarde voor waarden en functies in de omgeving, nader uitgewerkt in NRD	<ul style="list-style-type: none">- negatieve effecten op of meerwaarde voor milieuwwaarden (zoals bodem, water, natuur, landschap, cultuurhistorie, archeologie)- negatieve effecten of meerwaarde op functies zoals wonen, werken (ruimtebeslag) en recreëren
Kosten	Inzicht in de kosten van een alternatief én de kostenbepalende posten	<ul style="list-style-type: none">- totale maatschappelijke kosten, zijnde incl. kosten voor verlegging K&L ten laste van nutsbedrijven- investeringskosten voor het waterschap- levensduurkosten (inclusief beheer en onderhoud)

Tabel 13 Criteria MCA (en de aspecten waar de scores op gebaseerd worden)

Naast deze criteria wordt er per thema bij het waterschap gebruik gemaakt van een vijfpuntenschaal met groen tot donkeroranje om de criteria scores te geven, echter wordt er in dit onderzoek gebruik gemaakt van een tienpuntenschaal omdat dit voor mij makkelijker was te beoordelen en in te delen (dit is een persoonsgebonden voorkeur). Daarnaast is er bij het waterschap geen gebruik gemaakt van een verschil in gewichten tussen Techniek, Omgevingsimpact en Kosten. Dit is wel toegevoegd in dit onderzoek aangezien de Techniek impact op de waterveiligheid heeft, Kosten mogelijk maakt of de waterveiligheid behaald kan worden en Natuur een bijzaak is, die wel subsidies kan ontvangen, regelgeving makkelijker maakt en kan zorgen voor minder protest tegen de getroffen maatregelen maar in het algemeen minder impact heeft op het project. Hierom heeft Natuur een lage gewicht in de MCA in dit onderzoek.

2. Maatwerklocatie “Het Surfgat”

Bouwsteen	Mogelijk?	Reden
Piping		
Pipingberm	Nee	Geen ruimte, parallelweg
Klei-ingraving	Nee	Geen ruimte, te diepe kolk
Cementeren bovenlaag	Nee	Geen ruimte, te diepe kolk
Drainage: DMC, waterontspanner	Ja	-
Damwand	Ja/Nee	Geen ruimte nodig voor berm, echter werkruimte
VZG	Ja/Nee	Geen ruimte voor berm, parallelweg, echter kan in talud geplaatst worden
Doorlatende kunststof damwand met filter	Ja/Nee	Geen ruimte voor berm, parallelweg, echter kan in talud geplaatst worden
Grofzand barrière	Ja	Geen ruimte voor berm, parallelweg, echter kan in talud geplaatst worden
Kwelsloten verleggen	Ja	-
Peilopzetten in de sloot	Ja	-
Verzwaren waterbodembodem & horizontaal filter	Nee	Geen binnendijs waterlichaam
Bekleding		
Kleibekleding	Ja	-
Verflauwen talud	Ja/Nee	Geen ruimte door kolk, wel naast de kolk, dus kan gebruikt worden als overgangsgebied indien deze bouwsteen wordt gebruikt in de trajecten ernaast.
Toepassen harde bekleding	Ja	-
Golfremmers: Uiterwaard natuur	Nee	Niet genoeg ruimte om over het gehele maatwerktraject golven te remmen, door de kolk(en) kan hier geen natuur worden geplaatst.
Golfremmer: taludverruwing op de dijk	Ja	-
Cementeren buitentalud	Ja	-
Alternatieve oplossing		
Dempen waterlichaam	Ja/Nee	Het behouden van kolken is een streven, maar indien andere oplossingen niet kunnen is dit een mogelijkheid (niet specifiek een speciale kolk)
Verleggen waterlichaam	Ja/Nee	Deels dempen en verleggen is een goede mogelijkheid.
Verleggen parallelweg	Ja/Nee	Het verleggen van de parallelweg is erg duur, daarnaast zal de weg over de sloten komen te liggen die dan verplaatst moeten worden, maar deze kunnen nergens heen want kort hierop staan huizen (veel kosten, veel gedoe en overlast), indien echt niet anders kan is dit een mogelijkheid

Piping

Drainage: DMC, waterontspanner

De waterontspanner is een mogelijkheid bij dit traject. Deze apparaten zullen zich dan naast parallelweg, aan de kant van de huizen vestigen. Hier is mogelijke ruimte tussen de ontspanner en de dijk. Echter deze bouwsteen is relatief vrij prijzig, door het aanleggen van de buizen moet er werk gebeuren aan de weg, moeten er veel geulen gegraven worden en zal er veel overlast zijn voor de aanwonenden. Daarnaast moeten er veel waterontspanners op dit kleine traject gerealiseerd worden aangezien het pipingdebiet vrij groot is op dit traject (kwelweg tekort is $\pm 150\text{m}$) waardoor er veel water tegelijk opgevangen moet worden en de waterontspanners moeten erg veel water onttrekken door de meters dikke watervoerende zandpakketten om de druk genoeg te verminderen om piping tegen te gaan.

Damwand

Het is gewenst de damwand in de binnenteen te zetten, dit is echter niet mogelijk aangezien de werkruimte (het graven van de geul) te groot is voor de beschikbare ruimte. De damwand kan ook in het

onderste deel van het talud worden geplaatst. Dit is een mogelijkheid zonder de weg te verleggen. De kosten van de damwand in het talud van de dijk is vrij laag, de dijk hoeft niet afgegraven te worden.

Verticaal zanddicht geotextiel (VZG)

Een verticaal zanddicht geotextiel heeft weinig ruimte nodig op zichzelf en de berm erbovenop zal net wel of net niet conflicteren met de parallelweg. Desalniettemin wil het projectteam sensoren aanbrengen naast het VZG aan beide kanten en hierdoor zal deze bouwsteen niet passen in de binnenteen naast de parallelweg. De reden hiervoor is dat deze techniek wel theoretisch bewezen is en in de praktijk zijn er een aantal pilots gedaan, maar dit betekent niet dat deze techniek compleet bewezen is. Echter kan net als bij de damwand het geotextiel in het talud van de dijk geplaatst worden, hierbij moet de dijk wel afgegraven worden en moet er een rechte etage gecreëerd worden. Met deze techniek is er wel genoeg ruimte en is er geen extra berm nodig aangezien, indien het scherm diep genoeg geplaatst wordt, de toplaag van de dijk zelf genoeg tegendruk geeft. Geotextiel is financieel erg gunstig en samen met het inbrengen (kleine geul) is deze bouwsteen op deze locatie relatief goedkoop vergeleken de andere opties. Door de afgraving van de dijk of het verleggen van de parallelweg komen er wel extra kosten bij.

Doorlatende kunststof damwand met filter

Deze bouwsteen gedraagt zich in deze afweging hetzelfde als een VZG (niet genoeg getest, berm erboven, extra sensoren). Echter is deze bouwsteen wel een heel stuk duurder door het extra materiaal, de nog redelijk onbekende techniek, de grotere werkruimte en het grotere onderhoud.

Grofzand barrière

Deze bouwsteen heeft ook hetzelfde karakter als het VZG in deze afweging door de kleine hoeveelheid pilots en testen in de praktijk, de berm erboven en de extra sensoren, hierdoor zal ook de conclusie van deze grofzand barrière hetzelfde zijn als het VZG, niet mogelijk in de binnenteen, wel mogelijk in het talud of onder de parallelweg. Deze bouwsteen is door het gebruik van alleen maar grof zand relatief goedkoop vergeleken de andere bouwstenen. Echter is deze techniek pas dit jaar tot het licht gekomen en is er nog maar één goede pilot gestart waarover nog weinig bekend is.

Kwelsloten verleggen & Peilopzetten in de sloot

Het verleggen van de kwelsloot of het omhoog halen van het waterpeil van de kwelsloot zijn beide technieken die bewezen zijn piping tegen te gaan en lijken mogelijk in deze situatie. Desalniettemin heeft de techniek van peilopzetten niet genoeg impact op het pipingprobleem in dit traject. Het projectteam Zwolle-Olst heeft het verschil van zomer en winterpeil (waarin de sloot vol of bijna leeg staat) getest en hieruit bleek dat, "Bij de toetsing op piping is als uitgangspunt gehanteerd dat het polderpeil gelijk is aan het winterpeil uit het peilbesluit. ... Voor het minimale peil wordt het zomerpeil gehanteerd. Indien hier vanuit wordt gegaan, is de lengte van het afgekeurde deel van de waterkering nagenoeg gelijk" (IPM-Techniek, 2016). De kwelsloot verleggen op deze locatie betekent dat de sloot achter de huizen moet komen te liggen om zo het kwelwegtekort te behalen. Met de zandige grond (Bijlage V.1) tussen de nieuwe locatie en de dijk, zal opbarsting of wateroverlast een nieuw probleem vormen. Er bevindt zich een bodemverontreiniging bij Het Anem en een slootverlegging brengt sanering aan de orde. Dit zal de kosten flink verhogen, echter zal het de bodemkwaliteit verbeteren (Waterschap Drents Overijsselse Delta, 2017).

Bekleding

Kleibekleding

Een kleibekleding kan geïmplementeerd worden bij deze nieuwe locatie, daarbij zullen wel de beschermde planten op de Rode lijst op het buitentalud tijdelijk verplaatst moeten worden. Het ruimtegebruik van deze techniek is vrij klein aangezien de grond wordt teruggelegd op de plek waar het al lag, met wellicht een extra meter. Deze techniek is vrij goedkoop in vergelijking met de andere bekleding bouwstenen, aangezien klei een grondstof is die veel voorkomt in Nederland en daardoor niet prijzig is.

Harde bekleding

Het ruimtegebruik is iets groter als dat van klei-bekleding doordat dit materiaal bovenop het talud ligt. Deze techniek heeft wel een grote impact op de omliggende natuur aangezien het de grasbedekking weghaalt en stenen ervoor in de plaats legt. Daarnaast is deze methode moeilijk vergunbaar in het Natura-2000 gebied waar het buitentalud van de dijk ook onder valt en de beschermde planten zullen permanent verplaatst moeten worden. Deze bouwsteen is vrij duur door de kosten van het asfalt of de stenen in verhouding met de kleibekleding oplossing.

Taludverruwing buitendijks

Deze bouwsteen, al is het gebaseerd op een andere manier van dijkbescherming, lijkt het veel op de Harde bekleding. Deze methode heeft ook een grote impact op de natuur, de gras en plantenbedekking wordt niet volledig weggehaald maar zal wel voor de helft verdwijnen door neergelegde breukstenen. Deze methode heeft ook vergunningen nodig voor het storen van een Natura-2000 gebied en is lastig te realiseren door de beschermde planten van de Flora en Fauna wet. Deze bouwsteen is door de breuksteen vrij duur, maar wordt zelfs nog duurder door de nodige intensieve onderhoud. De planten die tussen de breukstenen groeien kunnen moeilijk gemaaid worden en afval blijft makkelijk hangen tussen de stenen.

Cementeren buitentalud

Het cementeren van het buitentalud komt op hetzelfde neer als de harde bekleding echter met een ander materiaal. Naast de meekoppeling met mogelijke andere alternatieven dan de harde bekleding zal deze bouwsteen dezelfde voordelen en nadelen volgen als die van de harde bekleding.

Alternatieve oplossingen

Dempen kolk

De dempen van de kolk wordt zal niet als voorkeursalternatief beschouwd worden en komt alleen aan het licht als andere alternatieven excessief duur worden doordat ze moeilijk te realiseren zijn. Doordat de kolk vrij diep is zal het dempen van deze kolk, indien dit echt nodig is, vrij veel geld kosten. Naast dat er een erg grote hoeveelheid aan zand nodig is, dient het water ook weggepompt te worden. Op deze locatie zijn er al mogelijke bouwstenen die goedkoop kunnen worden gerealiseerd en daarom zal deze optie niet worden meegenomen in de keuze.

Verleggen kolk

Het verleggen van de kolk waarbij een deel gedempt wordt en aan de tegenoverstaande oever wordt verbreed, waarbij de oppervlakte, de flora en fauna behouden blijft. Echter is dit geen optie, de kolk kan niet verlegd worden in buitendijkse richting aangezien hier zich ook een kolk bevindt (Het Surf gat), het verplaatsen van de kolk naar links of rechts zal alleen het probleem verschuiven aangezien de

parallelweg over een groot deel van het deeltraject aan de binnendijkse zijde ligt met dezelfde beschikbare ruimte, hierdoor blijven bij een kolkverlegging dezelfde knelpunten ontstaan.

Verleggen parallelweg

Het verleggen van de parallelweg is met het huidige ruimtebeslag vanaf de dijkteen een realistische oplossing op de problemen van ruimtetekort. Echter is het verleggen van een weg een kostenpost en veroorzaakt veel overlast. Dit moet afgewogen worden tegen de aangepaste bouwstenen waarbij bijvoorbeeld verticale constructies zoals een damwand of VZG in het talud worden geplaatst in plaats van in de dijkteen.

Meekoppeling

Geen meekoppelingen tussen bouwstenen in de bouwsteenkeuze voor deze locatie.

Afweging in tabelvorm

Bij deze afweging is gebruik gemaakt van een multicriteria-analyse waarbij elke bouwsteen wordt beoordeeld op meerdere criteria die dit onderzoek stelt aan alle bouwstenen. Aan elk criteria hangt een bepaald gewicht, dit gewicht is gebaseerd op hoe belangrijk dit criteria is voor het realiseren van een bouwsteen. De criteria Kosten en Techniek hebben het hoogste belang in deze afweging. Daarnaast krijgt elke bouwsteen een score van 1 tot 10 op een bepaald criteria. Een 10 is een erg positief effect op het criteria en een 1 is een erg negatief effect op het criteria. De scores zijn erg locatie afhankelijk en zullen daarom voor een bouwsteen bij deze locatie anders zijn dan dezelfde bouwsteen op een andere locatie.

Bouwsteen	Kosten	Techniek	Omgeving	Totaal
Gewicht	2	2	1	
Piping				
1. DMC, waterontspanner	7	4	7	29
2. Damwand	9	10	10	48
3. VZG	4	9	10	36
4. Kunststof damwand	2	5	8	22
5. Grofzand barrière	5	7	10	34
6. Kwelsloten verleggen	4	3	6	20
7. Peilopzetten kwelsloot	10	1	9	31
Bekleding				
1. Kleibekleding	10	10	9	49
2. Harde bekleding	6	8	4	32
3. Taludverruwing (buitentalud)	5	7	5	29
4. Cementeren buitentalud	6	7	4	30

3. Maatwerklocatie “De Oude IJsselgeul”

Bouwsteen	Mogelijk?	Reden
Piping		
Pipingberm	Nee	Geen ruimte, diepe kolk
Klei-ingraving	Nee	Geen ruimte, diepe geul
Cementeren bovenlaag	Nee	Geen ruimte, diepe geul
Drainage: DMC, waterontspanner	Nee	Gezien de dikke waterdoorlatende lagen (watervoerend pakket) en de kennis verschaft van de vorige bouwsteenkeuze zal ook hier teveel water afgevoerd moeten worden.
Damwand	Ja	-
VZG	Ja	-
Doorlatende kunststof damwand met filter	Ja	-
Grofzand barrière	Ja	-
Kwelsloten verleggen	Nee	Geen kwelsloten aanwezig
Peilopzetten in de sloot	Nee	Geen kwelsloten aanwezig
Verzwaren waterbodem & horizontaal filter	Ja	-
Stabiliteit		
Steunberm	Nee	Geen ruimte, diepe kolk
Gewapende grond	Nee	Geen ruimte, diepe kolk
Talud verflauwen	Nee	Geen ruimte, diepe kolk
Taludverzwaring (zetstenen)	Ja	-
Taludbogen	Nee	Een wild idee, de bogen gaan waarschijnlijk niet genoeg effect hebben (geen goede pilotlocatie)
Ondoorlatend binnentalud	Ja	-
Draineren zandkern of berm	Nee	Door de grote piping opgave met een groot debiet wordt het draineren van de dijk vrijwel onmogelijk met de hoeveelheid
DMC/waterontspanner	Nee	Zie Draineren zandkern of berm.
Dijk vernageling	Ja	-
Dijk deels verlagen	Ja	-
Licht ophoog materiaal	Ja	-
Damwand / Palenrij	Ja	-
Kistdam / Diepwand	Ja	-
Diepwand baretten	Ja	-
Cutter Soil Mix wand	Ja	-
Verleggen kwelsloot	Nee	Er zijn geen kwelsloten in de buurt
Verzwaren waterbodem	Ja	-
Bekleding		
Kleibekleding	Ja	-
Verflauwen talud	Nee	De 8 meter tot aan de oude IJsselgeul is te weinig voor een taludverflauwing bij deze dijk. Het verflauwen van het 1:4 talud naar een talud dat flauw genoeg is zal teveel ruimte eisen, die niet beschikbaar is.
Toepassen harde bekleding	Ja	-
Golfremmers: Uiterwaard natuur	Nee	Diepe geul zit in de weg, hier kan het wel achter geplant worden maar dan kan het van de zijkanten nog steeds golfopslag opwekken. Het hele gebied om die reden volplanten zal zorgen voor een te immense geldsom.
Golfremmer: taludverruwing op de dijk	Ja	-
Cementeren buitentalud	Ja	-
Alternatieve oplossing		
Dempen waterlichaam binnendijks	Ja/Nee	Het behouden van kolken is een streven, daarnaast is deze kolk als waardevol beschouwd, maar indien andere oplossingen niet kunnen is dit een mogelijkheid.

Verleggen waterlichaam binnendijks	Ja/Nee	De kolk kan ook deels gedempt worden waarbij de tegenoverliggende oever wordt uitgebreid en de kolk als het ware verschuift, hierbij wordt gestreefd om dezelfde planten en dezelfde oppervlakte als de oude kolk te behouden
Dempen waterlichaam buitendijks	Nee	Niet mogelijk, naast dat zich beschermde planten in deze kolk bevinden is het dempen van deze kolk een enorme geldsom aangezien deze kolk erg groot en diep is.
Verleggen waterlichaam buitendijks	Nee	Zie "Dempen waterlichaam buitendijks".

Piping

Damwand

De damwand is een goedkope en bewezen techniek en past op de locatie, bij implementeren damwand zijn er geen problemen. Deze techniek gaat ook instabiliteit tegen.

VZG

Het VZG heeft een kleine berm nodig die past op de locatie, is erg goedkoop en met meetapparatuur eromheen, wat ook past, zal dit een goedkope makkelijke oplossing voor piping zijn op deze locatie.

Doorlatende kunststof damwand met filter

De doorlatende kunststof damwand met filter past ook op de locatie, is duurder dan de bouwstenen vermeldt hierboven. Deze bouwsteen gaat ook instabiliteit tegen.

Grofzand barrière

Deze nog niet goed bewezen techniek is erg goedkoop aangezien het alleen het zand is. Op deze locatie is de ruimte ervoor aanwezig, echter is deze locatie geen goede locatie voor een pilot voor deze techniek aangezien dit problemen mee kan brengen in de dijkstevigheid indien deze maatregel toch niet goed blijkt te functioneren.

Verzwaren waterbodem & horizontaal filter

De binnendijkse kolk geeft een mogelijkheid tot deze bouwsteen, deze techniek goed betrouwbaar en kan met aanpassingen ook een bouwsteen voor stabiliteit zijn. De bouwsteen bevat goedkoop geotextiel en een goedkoop wiepenrooster, echter is de hoeveelheid breuksteen om alles op zijn plek te houden, wat al redelijk duur is, vrij groot. Daarnaast is de beheerbaarheid en onderhoud slecht aangezien het onderwater is. Hierdoor zal de geldsom van deze bouwsteen relatief groot zijn.

Stabiliteit

Taludverzwaring (zetstenen)

Een taludverzwaring is mogelijk op deze locatie. Hierbij wordt de uitvoerbaarheid wel belemmerd door de beschermde planten die op de dijk staan. Daarnaast haal je de natuur van de dijk om deze dijk een hard en robuust karakter te geven in plaats van een landschappelijk karakter. Ook zijn zetstenen vrij duur om over een aantal honderden meters neer te leggen.

Ondoorlatend binnentalud

Een ondoorlatend binnentalud zal net als de taludverzwaring het landschappelijke en natuurlijke karakter van één talud ombouwen tot een robuuste kering. Er is ruimte binnendijks om deze bouwsteen te realiseren. Echter is deze techniek alleen relevant bij één type instabiliteit, namelijk via overslag. Dit type instabiliteit komt niet voor op deze locatie. De kosten van deze bouwsteen kunnen variëren met het soort materiaal dat gebruikt wordt, hierbij wordt uitgegaan van stenen zoals zet- of stortstenen. Wordt niet meegenomen in de MCA aangezien dit type stabiliteit niet voorkomt.

Dijk vernageling

Dijk vernageling is mogelijk op deze locatie, de dijk is een zanddijk en het is daarom niet gebruikelijk dijk vernageling toe te passen aangezien het meestal voor zwaardere dijken gebruikt wordt. Echter het is wel een mogelijkheid, er is weinig ruimtebeslag bij het gebruik of de aanlegfase. Deze techniek heeft wel een redelijke geldsom door de lange nagels met ongebruikelijke materialen en een vreemde techniek met specifieke voertuigen voor de realisatie. De natuur wordt echter niet geschaad aangezien de nagel vrijwel nauwelijks zichtbaar zijn.

Dijk deels verlagen

De dijk deels verlagen is een oplossing die normaliter weinig geld kost aangezien je alleen grond weghaalt, daarnaast bevat het normaliter ook geen ruimtebeslag. Echter bij deze locatie met een provinciale weg op de kruin zal het verlagen van een deel van de dijk niet kosteloos zijn. Doordat een deel van de dijk op hetzelfde niveau blijft en een deel verlaagd wordt, wordt de kruin te smal voor de provinciale weg en moet deze verlegd worden, wat een enorme geldsom betreft. Dit is niet realistisch en hierdoor zal deze bouwsteen niet meegenomen worden in de MCA.

Licht ophoog materiaal

Het gebruik van licht ophoogmateriaal is mogelijk en het heeft in principe geen ruimtebeslag. Het lichte ophoogmateriaal moet sterk genoeg zijn om de druk van een drukke provinciale weg aan te kunnen en niet te verzakken. Deze materialen bestaan wel, maar zijn redelijk prijzig. Daarnaast moet voor het vervangen van het bovenste deel van de dijk de provinciale N337 tijdelijk verlegd worden. Dit levert een enorme geldsom op en zal vergeleken andere mogelijke bouwstenen erg duur zijn. Dit is niet realistisch en hierdoor zal deze bouwsteen niet meegenomen worden in de MCA.

Damwand / Palenrij

De damwand is reeds uitgelegd als piping oplossing maar voor stabiliteit kan deze techniek ook een oplossing zijn. De palenrij daarentegen is geen oplossing voor piping, de palenrij bevat namelijk openingen. Daarnaast is een palenrij een stuk duurder dan de damwand door de materiaalkosten en de duurdere realisatiefase door de grotere werkruimte die een palenrij nodig heeft. Deze maatregel heeft geen negatieve effecten op de natuur in de omgeving.

Kistdam / Diepwand

Deze bouwsteen is een zelfkerende bouwsteen. Een diepwand en een kistdam zijn vrij duur door de grootte van het object dat in de dijk wordt geplaatst en ook de diepte die gegraven moet worden om deze diepe objecten in te plaatsen. Het object wordt in de kruin geplaatst en heeft daardoor geen binnendijkse of buitendijkse natuur verstoringen. Door het verleggen van de provinciale weg in andere bouwstenen ligt deze bouwsteen qua kosten gemiddeld. Ook een maatregel voor piping.

Cutter Soil Mix wand

De CSM is een verbetering en een opvolger van de diepwand door het toepassen van een innovatieve techniek. Deze wand heeft daardoor dezelfde eigenschappen als een diepwand. Doordat de diepwand al vaak gebruikt is en bewezen is, is deze techniek erg betrouwbaar. Echter is de CSM, die minder bekend en betrouwbaar is, wel goedkoper door de innovatieve techniek van het insnijden van de grond tot grootte diepte en het makkelijker plaatsen van het profiel. Deze techniek is net als de diepwand in de kruin en heeft daardoor geen binnendijkse of buitendijkse verstoringen. Ook een maatregel voor piping.

Diepwand baretten

De diepwand baretten, de combinatie tussen damwanden en diepwanden, neemt net zoveel ruimte in beslag als de diepwand. Door het gebruik van de helft van de totale hoeveelheid materiaal voor een diepwand en dit te vervangen door goedkope damwanden en de totale afgraaf afstand, is deze techniek goedkoper dan een damwand, echter is deze techniek niet een maatregel voor piping.

Verzwaren waterbodem

Het verzwaren van de waterbodem kan binnen- of buitendijks uitgevoerd worden wanneer het stabiliteitsprobleem binnen- of buitendijks aanwezig is. De verzwaren van de waterbodem is een redelijke kostenpost aangezien het breuksteen en stortsteen dat hiervoor gebruikt wordt in grote getale nodig is en vrij veel kost in verhouding met andere grondsoorten zoals zand of klei.

Bekleding

De bekleding is bij de vorige bouwsteen keuze van maatwerklocatie "Het Surfkat" besproken en zal bijna gelijk lopen met de bekleding in dit alternatief. Aangezien de toplagen van de dijk op dezelfde manier worden aangepast zullen de uitkomsten hetzelfde zijn, met uitzondering van beschermde planten in de Flora en Fauna wet, die op deze locatie wel op het buitentalud in de weg staan. Deze zullen bij een kleibekleding tijdelijk verplaatst moeten worden en bij de andere bouwstenen permanent verwijderd moeten worden.

Alternatieve oplossingen

Dempen waterlichaam binnendijks

Naast de normale oplossingen en kansrijke bouwstenen, is er ook een mogelijkheid tot demping van het binnendijkse waterlichaam. Echter de kolk is als waardevol aangestipt en daarnaast worden kolken over het algemeen zoveel mogelijk gespaard in dit project door de historische waarde. Het dempen van deze kolk is niet gewenst en door de diepte zal dit ook een flinke geldsom bedragen. Indien andere oplossingen duurder worden, of er geen andere mogelijkheid is wordt het dempen van de kolk overwogen.

Verleggen waterlichaam binnendijks

Het verleggen van de kolk waarbij een deel gedempt wordt en deze oppervlakte voor de kolk wordt teruggewonnen aan de tegenoverliggende zijde (een verlegging) is een mogelijkheid op dit traject. Het verleggen van deze kolk zou toestaan om het originele kansrijke alternatief hier te implementeren, terwijl de natuurwaarde hetzelfde blijft. Echter ligt een groot deel van de natuur om de kolk aan de kant van de dijk waardoor het verleggen van de kolk ook het verwijderen van de natuur inhoudt.

Meekoppeling

Zoals bij sommige bouwstenen vermeld staat, zijn dit methodes voor zowel piping als stabiliteit. Deze bouwstenen kunnen als enige oplossing geïmplementeerd worden en hiermee beide problemen verhelpen, dit zou de kosten, de uitvoerbaarheid, het overlast en de beheerbaarheid van een dijkversterking flink verminderen. De meekoppeling wordt in de afweging weergegeven als extra criteria waarop gescoord kan worden.

Afweging in tabelvorm

De methode is uitgelegd in de bouwsteenkeuze van maatwerklocatie "Het Surfkat" (dezelfde techniek van afwegen en dezelfde criteria zijn gebruikt). Sommige bouwstenen kunnen dubbel staan (zoals damwand), terwijl bouwstenen zoals (Kistdam/Diepwand) er maar één keer in staan. Dit komt door de

onwaarschijnlijkheid van een bouwsteen dat hij als bouwsteen wordt gezien voor een ander faalmechanisme. Bijvoorbeeld, een diepwand is geen logische oplossing voor een pipingprobleem, aangezien er veel makkelijkere, minder dure oplossingen zijn met hetzelfde karakter, maar als de diepwand een stabiliteitsprobleem moet oplossen, kan het piping wel als meekoppelskans meenemen.

Bouwsteen	Kosten	Techniek	Omgeving	Meekoppeling	Totaal
Gewicht	2	2	1	-	
Piping					
1. Damwand	9	10	9	Stabiliteit	47
2. VZG	9	9	10	Nee	46
3. Kunststof damwand	6	5	8	Stabiliteit	30
4. Grofzand barrière	8	6	10	Nee	38
5. Verzwaren waterbodem & Horizontaal filter	8	7	7	Verzwaren waterbodem	37
Stabiliteit					
1. Taludverzwaring	6	8	4	Nee	32
2. Dijkvernageling	4	3	9	Nee	23
3.1. Damwand	9	10	9	Piping	47
3.2. Palenrij	8	9	9	Nee	43
4. Kistdam / Diepwand	3	10	8	Piping	34
5. Diepwand baretten	5	10	8	Nee	38
6. CSM	6	10	8	Piping	40
7. Verzwaren waterbodem	8	7	7	Horizontaal geotextiel	37
Bekleding					
1. Kleibekleding	10	10	9	Nee	49
2. Harde bekleding	6	8	4	Nee	32
3. Taludverruwing (buitentalud)	5	7	5	Nee	29
4. Cementeren buitentalud	6	7	4	Nee	30

4. Maatwerklocatie “Nilantsweg 90”

Bouwsteen	Mogelijk?	Reden
Piping		
Pipingberm	Nee	Geen ruimte, bebouwing
Klei-ingraving	Ja	-
Cementeren bovenlaag	Ja	-
Drainage: DMC, waterontspanner	Nee	Zoals uit eerder onderzoek blijkt, levert dit niet genoeg effect op
Damwand	Ja	-
VZG	Ja	-
Doorlatende kunststof damwand met filter	Ja	-
Grofzand barrière	Ja	-
Kwelsloten verleggen	Nee	Zoals uit eerder onderzoek blijkt, levert dit niet genoeg effect op
Peilopzetten in de sloot	Nee	Zoals uit eerder onderzoek blijkt, levert dit niet genoeg effect op
Verzwaren waterbodem & horizontaal filter	Nee	Geen waterlichaam
Stabiliteit		
Steunberm	Nee	Kan om het huis heen, maar zou zorgen voor het ingraven van een deel v.h. huis
Gewapende grond	Nee	Geen ruimte, bebouwing
Talud verflauwen	Nee	Kan om het huis heen, maar zou zorgen voor het ingraven van een deel v.h. huis
Taludverzwaring (zetstenen)	Ja	-
Taludbogen	Nee	Geen ruimte, bebouwing
Ondoorlatend binnentalud	Nee	Niet infiltreren van water gaat veel wateroverlast opleveren voor binnendijkse huizen
Draineren zandkern of berm	Nee	Zoals uit eerder onderzoek blijkt, levert dit niet genoeg effect op
DMC/waterontspanner	Nee	Zoals uit eerder onderzoek blijkt, levert dit niet genoeg effect op
Dijk vernageling	Nee	Geen ruimte, bebouwing
Dijk deels verlagen	Nee	Hoogteprobleem aanwezig
Licht ophoog materiaal	Ja	-
Damwand / Palenrij	Ja	-
Kistdam / Diepwand	Ja	-
Diepwand baretten	Ja	-
Cutter Soil Mix wand	Ja	-
Verleggen kwelsloot	Nee	Zoals uit eerder onderzoek blijkt, levert dit niet genoeg effect op
Verzwaren waterbodem	Nee	Geen waterlichaam
Overslag		
Dijkophogen in grond	Ja	-
Permanente beweegbare kering	Ja	-
Tuimelkade in grond	Ja	-
Tuimelkade constructie	Ja	-
Overslagbestendige dijk	Ja	-
Taludverflauwing binnendijks	Nee	Kan om het huis heen, maar zou zorgen voor het ingraven van een deel v.h. huis
Taludverflauwing buitendijks	Ja	-
Taludverruwing buitendijks	Ja	-
Golf dempende maatregelen voorland	Ja	-
Bekleding		
Kleibekleding	Ja	-
Toepassen harde bekleding	Ja	-
Cementeren buitentalud	Ja	-
Verflauwen talud	Ja	-
Golfremmer: taludverruwing op de dijk	Ja	-
Golfremmers: Uiterwaard natuur	Ja	-

Alternatieve oplossing		
Asverschuiving (alternatief Da)	Ja	-
Huizen verplaatsen / slopen	Ja/Nee	Het verplaatsen van de huizen is alleen mogelijk als deze huizen geen ondergrondse constructies zoals kelders of diepe stabiliteitspalen bevatten. Daarnaast is de techniek van een huis verplaatsen vrij prijzig en zorgt het voor veel ongemak en overlast voor de bewoners en omwonenden. Het uitkopen van de mensen en het slopen van de huizen is vrijwel uitgesloten, dit zou alleen kansrijk gesteld kunnen worden als op deze locatie geen enkele bouwsteen mogelijk is en de huizen onmogelijk te verplaatsen zijn.

Piping

Klei-ingraving

Een klei-ingraving is goed mogelijk in het voorland. Er is ruimte, het is goed financieerbaar, het is natuurlijk en zit niks in de weg. Bij een grote ingraving is het mogelijk wel duurder dan andere bouwstenen.

Cementeren bovenlaag

Evengoed mogelijk in het voorland. Heeft dezelfde eigenschappen als de klei-ingraving, echter schaadt deze manier het buitendijkse natuurgebied.

Verticale oplossingen: Damwand, VZG, Doorlatende kunststof damwand met filter & grofzand barrière

Een verticale oplossing is als piping oplossing mogelijk op dit maatwerklocatietraject, echter niet in de teen of in het binnendijkse land. In de teen staan huizen in de weg en in het binnendijkse land zal opbarsting ontstaan onder het huis tussen de verticale oplossing en de dijk. Deze verticale oplossingen kunnen echter wel in het bovenste deel van het talud en/of in de kruin worden geplaatst ter hoogte van het taludgelegen huis en met een bocht terug in de teen worden geplaatst in de rest van het traject. De kosten zullen hierdoor wel beduidend hoger worden dan de traditionele manier van implementeren van verticale oplossingen. De andere karakteristieken van elk van deze verticale oplossingen zijn al eerder besproken dit onderzoek.

Stabiliteit

De stabiliteitsopgave op deze locatie zit vreemd in elkaar. Door het taludgesitueerde huis spelen er op die exacte locatie veel verschillende krachten. Deze krachten zijn voornamelijk voordelig, aangezien het huis dat op het binnentalud staat tegendruk geeft op de glijcirkel (zelfde karakter als een steunberm). Deze tegendruk is zelfs erg betrouwbaar op deze locatie aangezien het huis niet wegzakt of kan eroderen. Zelfs zodra dit huis verlaten raakt en/of een bouwval wordt, zal het dezelfde functie behouden tot deze gesloopt wordt.

Taludverzwaring (zetstenen)

Deze bouwsteen is vrij prijzig aangezien er veel zetstenen nodig zijn om een heel talud te bedekken. Daarnaast zullen de stenen tegen het huis aan komen te liggen, dit is waarschijnlijk ongewenst en de bewoners zullen hier tegenin gaan. De zetstenen vervangen de originele grasbedekking wat zorgt voor een natuurvermindering en een minder mooi aanzicht voor de bewoners. Daarnaast zal het water minder snel de dijk infiltreren waardoor er overlast kan ontstaan bij de binnendijks gelegen huizen.

Licht ophoogmateriaal

Deze locatie is geschikt voor het implementeren van licht ophoogmateriaal. Deze bouwsteen is echter

wel prijzig door het afgraven van een groot deel van de dijk en het te vervangen met duurder licht materiaal. Daarnaast zal het afgraven van de dijk in de buurt zijn van het taludgesitueerde huis. Dit kan veel overlast veroorzaken. De natuur wordt niet groots geschaad aangezien de grasmat wordt teruggelegd na het implementeren van het licht ophoogmateriaal.

Damwand/Palenrij

Voor stabiliteit is een damwand of een palenrij een mogelijkheid zolang deze in de kruin worden gesitueerd aangezien er rond het huis niet genoeg ruimte is om het in het talud of de dijkteen aan te leggen. Voor een palenrij is de kruin gebruikelijk aangezien deze palen vrij lang zijn. Echter voor een damwand in de kruin moet er een diep aaneengesloten scherm van damwanden gemaakt worden. De verankering van deze techniek is dan belangrijk zodat het scherm de krachten op zich kan nemen. De palenrij houdt geen piping tegen, de damwand mogelijk wel.

Bouwstenen: Kistdam/Diepwand & Cutter Soil Mix wand

Deze zelfkerende constructies kunnen in principe op elke locatie, ze werken voor de faalmechanismen stabiliteit, piping en overslag indien ze boven de kruin uitsteken. Meestal als geen andere bouwstenen kunnen, worden deze methodes ingezet. De prijs van deze bouwstenen is namelijk vrij duur door de grote diepte en de grote betonnen wand.

Diepwand baretten

De diepwand baretten is een bouwsteen die alleen voor stabiliteit (en mogelijk overslag met aanpassingen) een oplossing biedt. Het is een goedkopere versie van een diepwand door de helft van het diepwand materiaal in principe te vervangen door dunne damwanden. Deze kruingesitueerde bouwsteen komt niet in aanraking met de knelpunten op deze locatie. Deze bouwsteen is naast dat hij goedkoper is dan de damwand nog steeds redelijk prijzig. Deze bouwsteen heeft geen negatieve natuureffecten.

Overslag

Op de kaart in het hoofdverslag waar de faalmechanismen staan weergegeven (Figuur 17), is ook het minimaal, gemiddeld en maximaal hoogtetekort bij de dijk weergegeven. Er wordt in het project Zwolle-Olst en daarom ook in dit onderzoek uitgegaan van de gemiddelde hoogtetekort grens van 1,3 meter.

Dijkophogen in grond

Ondanks dat het huis in het dijktalud staat is een grond ophoging wel mogelijk op dit traject. Door de extra etage die het huis creëert is het mogelijk de extra grond hierop de laten rusten. Het huidige helling getal is 1/4,17 meter (verhouding 1 meter in de hoogte is 4,17 meter in de breedte) en de dijk heeft een tekort van 1,3 meter, dit betekend dat bij een verhoging van 1,3 meter er in de breedte 5,42 meter bij moet om het 1 op 4 talud te behouden. Deze ruimte is aanwezig, waarbij het nieuwe talud het huis niet raakt. Echter, als een 1 op 4 talud niet gewenst is kan het nieuwe talud ook als 1 op 3 talud gerealiseerd worden, dit voldoet aan de normen van rivierdijken (Waterschap Rivierenland, 2010). Echter zorgt deze bouwsteen er wel voor dat het uitzicht mogelijk verloren raakt voor de bovenste etage van het huis. De extra grond zorgt wel voor extra druk op de dijk en hierdoor een verergerd stabiliteitsprobleem.

Permanente bewegende kering

Een bewegende kering is een vrij breed begrip en omvat veel verschillende soorten. Echter blijft deze oplossing duur vergeleken meer traditionele technieken. De beweegbare kering is echter we een

robuuste en betrouwbare bouwsteen, door gebruik te maken van een beweegbare kunnen het uitzicht en enige functies die de dijk heeft behouden blijven.

Een tuimelkade in grond

Deze bouwsteen is goed mogelijk, een tuimelkade zal de dijk deels verhogen. Deze kade bevindt zich aan de buitendijkse kant van de kruin en is redelijk licht, waardoor er geen extra druk op de dijk komt te staan. Daarnaast is deze wel minder robuust en zal ook deze het uitzicht wegnemen.

Een tuimelkade constructie

Een stuk robuuster en betrouwbaarder dan een kleine grond tuimelkade, echter wordt de natuur geschaad, neemt deze constructie de schoonheid af (uitzicht verminderd door teruggenomen schoonheid) en daarnaast zal ook deze constructie het uitzicht wegnemen.

Overslagbestendigere dijk

Dit is mogelijk, het zal binnendijks echter wel om het huis heen moeten worden gelegd. Hierbij moet een goede afsluiting gemaakt worden tegen het huis aan zodat er geen water kan infiltreren. Deze bouwsteen heeft echter een laag klei bij het overslaan van water niet infiltreert, dit zal resulteren in een enorm overlast binnendijks bij de huizen.

Taludverflauwing buitendijks

In dit voorland is ruimte voor een buitendijkse taludverflauwing. Ook deze oplossing is goedkoop en een betrouwbare oplossing, door het verminderen van de golfslag. Echter zijn op deze locatie door de ligging ten opzichte van de IJssel vrij hoge golven. De dijk heeft een 1,3 meter tekort aan hoogte, met een taludverflauwing wordt dit tekort niet genoeg aangevuld. Een taludverflauwing zorgt voor een additionele hoogte van 0,8135 meter (Krewinkel, Hydraulisch Belasting Nivea (HBN) Zwolle-OIst 2075 IJsseldelta, 2018). Dit is genoeg voor de minimale grens (van 0,8 meter), maar om de veiligheid te waarborgen met de gemiddelde grens dienen additionele maatregelen toegevoegd te worden om het overige tekort op te vangen.

Taludverruwing buitendijks

Deze bouwsteen is eerder besproken en is hier mogelijk omdat er genoeg ruimte is. De bouwsteen heeft echter een slechte onderhoudskarakter en is het redelijk duur deze aan te leggen. Om nog niet te spreken van de natuur die vervangen wordt door verruwingsstenen. Dit robuuste systeem is echter wel daadkrachtig en werkt goed en is betrouwbaar als golfslag remmend middel.

Natuur op het voorland

Deze techniek wordt nog niet veel gebruikt in dijkversterking, maar is deels bewezen te helpen met golfslag vermindering. Doordat er veel ruimte is in dit voorland (100 – 125 tot de IJssel op dit traject) is deze bouwsteen mogelijk. Daarentegen moet, zodra deze bouwsteen gebruikt wordt, de aansluitende trajecten ook een voorland van natuur creëren om de golven van alle zijden te dempen en geen gaten te laten vallen bij overgangsgebieden. Doordat het voorland bij Spoolde vanaf de Katerveersluis tot het Zwollekanaal niet erg groot is, is deze bouwsteen, indien deze overall over dit traject wordt aangelegd, een realistische optie. Echter is het tekort aan hoogte bij de dijk (1,5 meter maximaal, 0,8 meter minimaal) een erg groot tekort en ook al vormen de golven op deze locatie een groot deel van dit tekort, het deels dempen van de golven blijkt niet significant genoeg om het tekort toe te komen.

Bekleding

Alle bekleding bouwstenen zijn mogelijk doordat ze allemaal op het buitentalud zijn gesitueerd.

Klei bekleding

Klei bekleding is een betrouwbare, goed financierbare bouwsteen die weinig natuur schaadt en zelfs kan zorgen voor een toename van de natuur, de kleibekleding is mee te koppelen met andere klei-oplossingen zoals de klei in het voorland.

Bouwstenen Harde bekleding & Cementeren buitentalud

Deze twee bouwstenen zijn eerder besproken en schaadden allebei de natuur, daarnaast zijn ze ook beduidend duurder dan andere bouwstenen. Ze zijn daarentegen wel erg betrouwbaar doordat er niks kan eroderen of door menselijke ingrepen kan verplaatsen, verzakken of kapot kan gaan (indien er niet excessief geweld wordt gebruikt).

Bouwstenen: Talud verflauwen, Taludverruwing & Natuur op het voorland

Deze bouwstenen zijn reeds besproken bij "Overslag", met zelfde karakteristieken. Echter wordt bij bekleding een andere functie nagestreefd, namelijk het dempen van de golfslag om dijkerosie, dijk aantasting en dijkbeschadigingen te voorkomen.

Alternatieve oplossingen

Asverschuiving

Bij een asverschuiving wordt de het middelpunt van de dijk (de as) verplaatst naar binnen of buiten. Een asverschuiving zat in kansrijk alternatief Da en dit is op deze locatie een vrij realistische aanpak van het probleem. Door de vele faalmechanismen waarop deze dijk faalt, waarom zou je de dijk niet weghalen en de grond hiervan gebruiken om een nieuwe sterke dijk bouwen iets verder buitendijks waar veel ruimte is? Dit is een goede manier van denken. Een asverschuiving lost erg veel problemen op doordat, na het construeren van de dijk de meest goedkope bouwstenen geïmplementeerd kunnen worden. De Asverschuiving, waarbij een hele dijk afgegraven moet worden, deze dijk opnieuw opgebouwd moet worden (al dan wel met hetzelfde materiaal), alsnog bouwstenen geïmplementeerd moeten worden (zoals voor piping) en de aansluiting op de oude dijk een soepele connectie moet worden (waar geen nieuwe problemen kunnen ontstaan), kost echter veel geld.

De huizen verplaatsen of slopen

Zoals in de tabel staat aangegeven, is het verplaatsen of slopen van de huizen een noodoplossing als alle andere bouwstenen en/of alternatieve oplossingen niet mogelijk zijn. Bij deze locatie zijn er genoeg combinaties tussen bouwstenen mogelijk en is de alternatieve oplossing van een asverschuiving goedkoper dan deze oplossing. Hierom is deze oplossing uitgesloten.

Mee koppeling

Zoals bij sommige bouwstenen vermeld staat, zijn dit methodes voor meerdere bouwstenen. Deze bouwstenen kunnen als enige oplossing geïmplementeerd worden en hiermee meerdere problemen verhelpen, dit zou de kosten, de uitvoerbaarheid, het overlast en de beheerbaarheid van een dijkversterking flink verminderen. De mee koppeling wordt in de afweging weergegeven als extra criteria waarop gescoord kan worden.

Afweging in tabelvorm

De methode is uitgelegd in de bouwsteenkeuze van maatwerklocatie "Het Surfkat" (dezelfde techniek

van afwegen en dezelfde criteria zijn gebruikt). In de tabel hieronder zijn dezelfde kolommen gebruikt waarop getoetst wordt (de gewicht kolommen en de mee koppeling), echter staan bij de meekoppeling nu gele kolommen. Deze kolommen bevatten een mee koppeling (bij verflauwing: Overslag en bekleding) maar daarnaast bevatten ze ook een negatief onderdeel die meegenomen moet worden door de grote gevolgen en/of aanpassingen (bij verflauwing: zoals eerder in deze bijlage is uitgelegd, op deze

Bouwsteen	Kosten	Techniek	Omgeving	Meekoppeling	Totaal
Gewicht	2	2	1	-	
Piping					
1. Klei-ingraving	10	9	9	Aansluiten kleibekleding & overslagbestigere dijk	47
2. Cementeren bovenlaag	9	7	3	Nee	35
3. Damwand	7	8	7	Stabiliteit, Overslag	37
4. VZG	6	8	8	Nee	36
5. Kunststof damwand	4	4	5	Stabiliteit	21
6. Grofzand barrière	5	6	6	Nee	28
Stabiliteit					
1. Taludverzwaring	5	7	4	Nee	28
2. Licht ophoog materiaal	5	5	7	Nee	27
3.1. Damwand	6	9	7	Piping	37
3.2. Palenrij	7	9	9	Nee	41
4. Kistdam / Diepwand	3	10	8	Piping, Overslag	34
5. Diepwand baretten	6	10	8	Overslag	40
6. CSM	6	10	8	Piping, Overslag	40
Overslag					
1. Dijkophogen in grond	9	9	6	Tegelijk met andere grondoplossingen	42
2. Permanente beweegbare kering	4	9	5	Nee	31
3. Tuimelkade in grond	10	8	9	Tegelijk met andere grondoplossingen	45
4. Tuimelkade constructie	5	9	3	Nee	31
5. Overslagbestendige dijk	9	3	2	Aansluiten klei-ingraving & kleibekleding	26
6. Taludverflauwing buitendijks	10	1	10	Bekleding, + Additionele Overslagbouwsteen	32
7. Taludverruwing buitendijks	5	7	5	Bekleding, Aansluiten op binnendijkse verruwing	29
8. Natuur op het voorland	6	5	9	Bekleding, + Natuur op aansluitend traject	31
Bekleding					
1. Kleibekleding	10	10	9	Aansluiten overslagbestendige dijk & kleibekleding	49
2. Harde bekleding	6	8	4	Nee	32
3. Cementeren buitentalud	5	7	4	Nee	28
4. Verflauwen talud	10	8	10	Overslag	46
5. Taludverruwing buitendijks	5	7	5	Nee	29
6. Natuur op het voorland	6	5	9	Overslag, + Natuur op aansluitend traject	31

locatie is verflauwing niet genoeg om als zelfstandige bouwsteen het hoogtetekort te verminderen. Hierbij is toevoeging van een extra overslagbouwsteen nodig). Deze tabel bevat erg veel verschillende bouwstenen, waarvan een aantal dicht bij elkaar in de buurt liggen qua totale score. Om wijzer te worden uit deze totale lijst, wordt een kleinere lijst met de meer kansrijke alternatieven opgesteld.

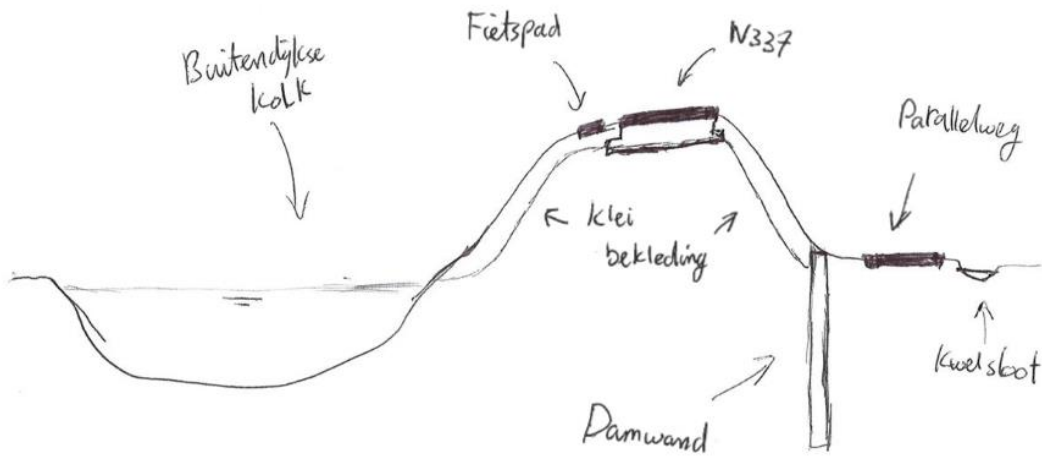
Met deze kleine lijst (zonder de bouwstenen met een erg lage score of middelmatige score zonder meekoppelings mogelijkheden) is de keuze van de meest geschikte kansrijke maatwerkoplossingen een stuk duidelijker. Uit deze tabel vallen ook al een aantal bouwstenen weg, zodra er wordt gekeken naar het combineren van bouwstenen tot een totaalpakket die alle faalmechanismen afcheckt. Een Kistdam/diepwand is ondergeschikt aan een CSM (hogere score, werkt tegen dezelfde faalmechanismen en heeft dezelfde eigenschappen). Een taludverruwing heeft een beduidend lagere score dan een taludverflauwing die dezelfde faalmechanismen tegengaat, het karakter van de bouwstenen is ook beduidend anders, maar de buitendijkse ruimte op deze maatwerklocatie maakt deze verschillen irrelevant.

Bouwsteen	Score	Piping	Stabiliteit	Overslag	Bekleding	Meekoppeling met een andere bouwsteen
Klei-ingraving	47	Ja	Nee	Nee	Nee	Kleibekleding
Damwand	37	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee
Kistdam/Diepwand	34	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee
CSM	40	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee
Diepwand baretten	40	Nee	Ja	Ja	Nee	Nee
Palenrij	41	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee
Dijk ophogen in grond	42	Nee	Nee	Ja	Nee	Nee
Tuimelkade in grond	45	Nee	Nee	Ja	Nee	Nee
Talud verflauwen	32 / 46	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee
Taludverruwing	29	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee
Kleibekleding	49	Nee	Nee	Nee	Ja	Nee
Harde bekleding	32	Nee	Nee	Nee	Ja	Klei-ingraving

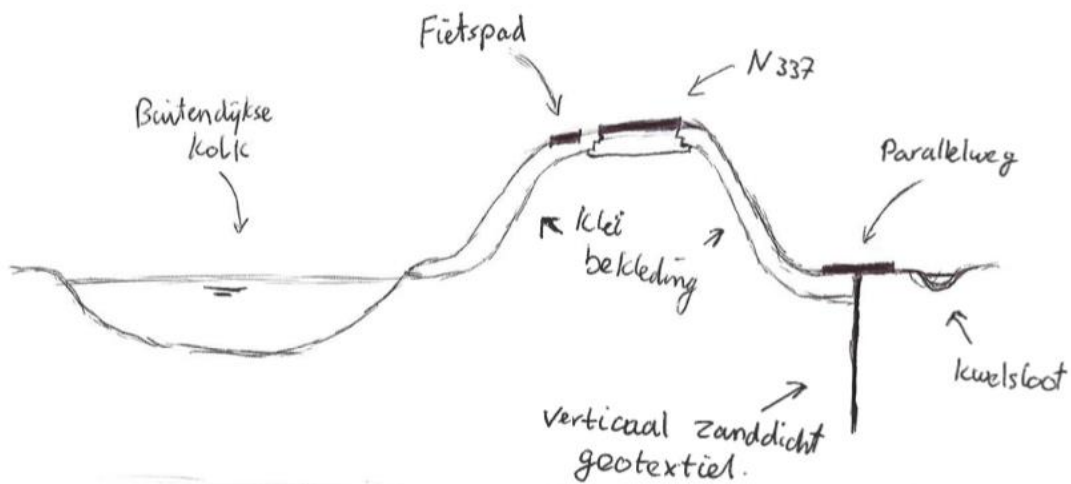
VII. Schetsen kansrijke maatwerkoplossingen

1. Maatwerklocatie "Het Surfkat"

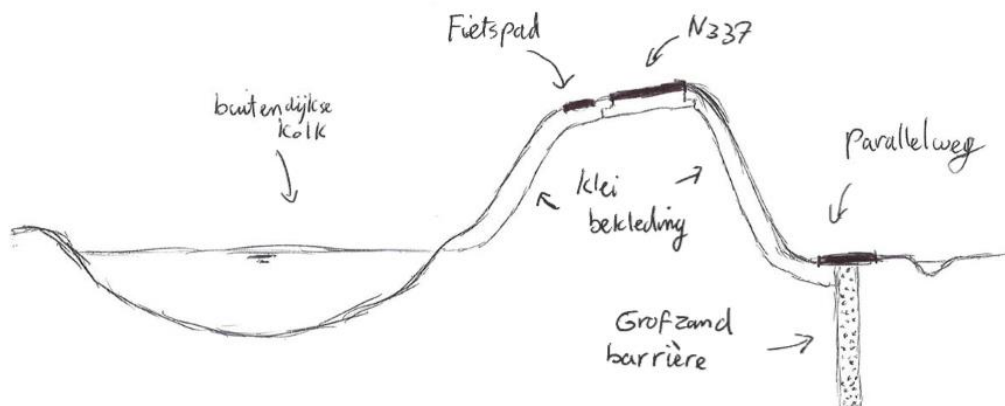
1.1. Damwand + Kleibekleding



1.2. Verticaal Zanddicht Geotextiel (VZG) + Kleibekleding

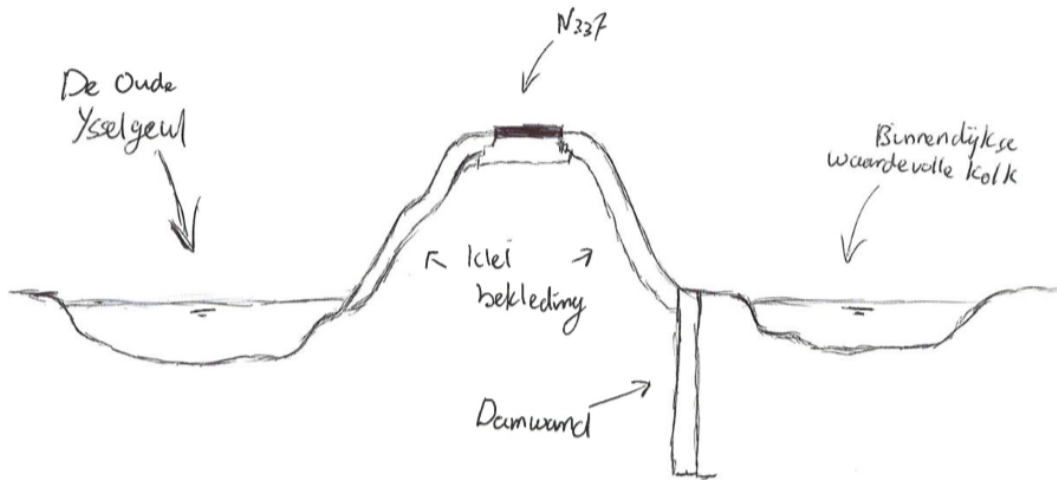


1.3. Grofzand barrière + Kleibekleding

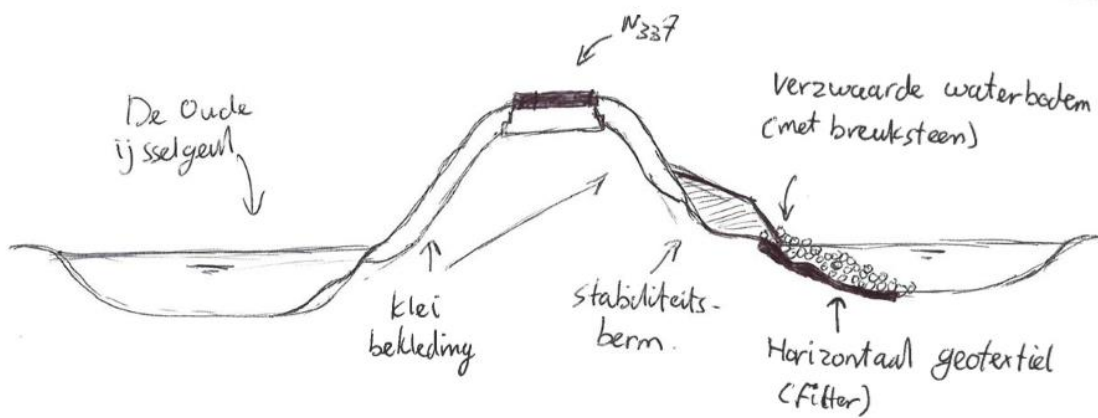


2. Maatwerklocatie "De Oude IJsselgeul"

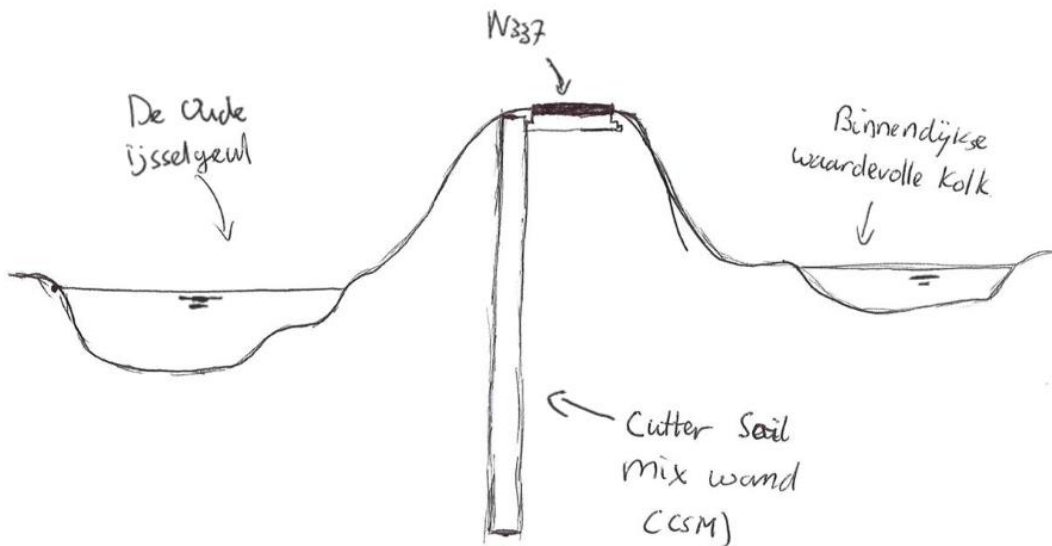
2.1. Damwand + Kleibekleding



2.2. Verzwaarde waterbodem + horizontaal VZG + Kleibekleding

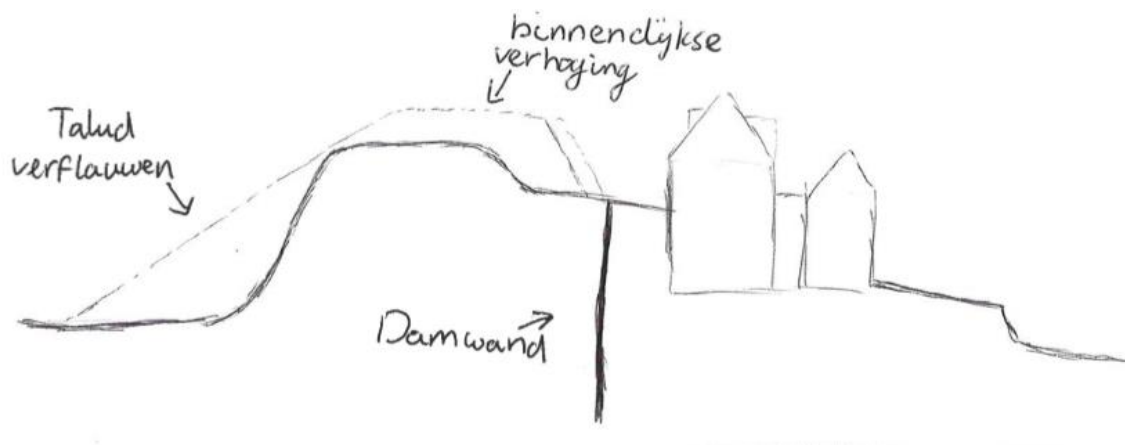


2.3. Cutter Soil Mix wand (CSM) (zelfkerend (geen bekleding nodig))



3. Maatwerklocatie "Nilantsweg 90"

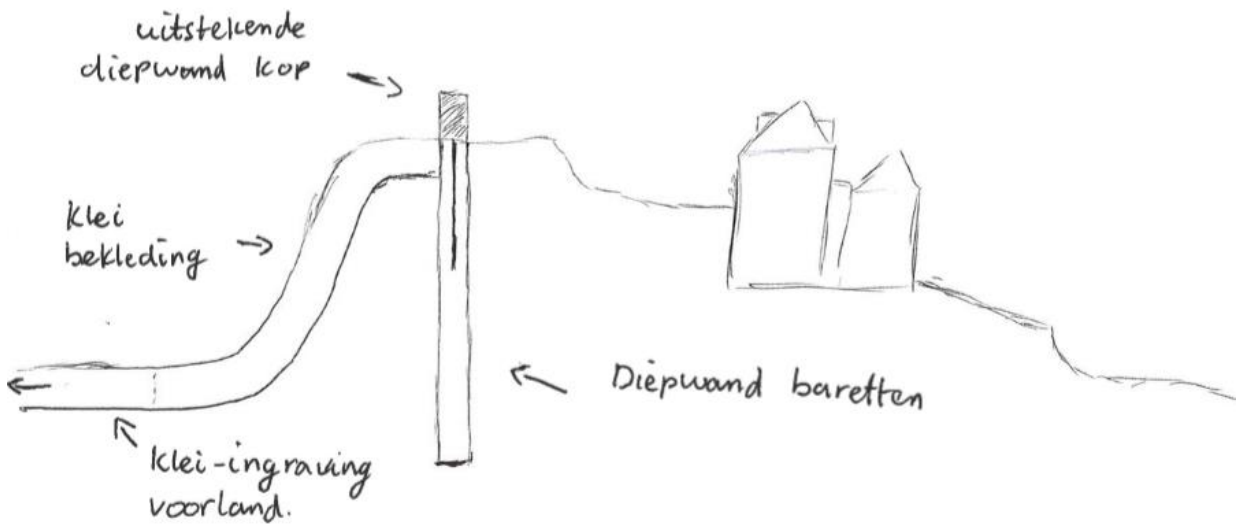
3.1. Talud verflauwen + Binnendijks verhogen + Damwand



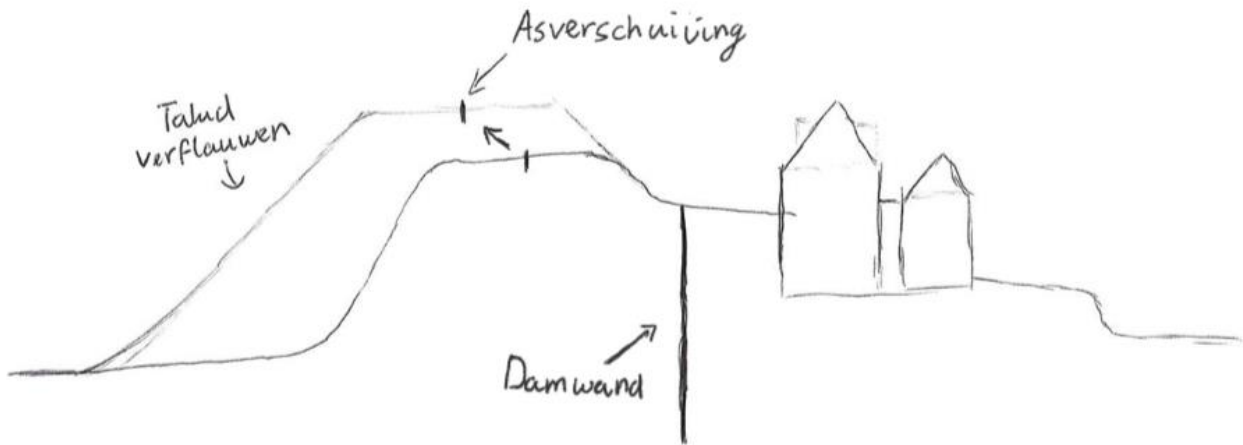
3.2. Cutter Soil Mix wand (CSM) + extra laag zand



3.3. Diepwand baretten + Uitstekende diepwand kop + Klei-ingraving + Kleibekleding



3.4. Asverschuiving + Talud verflauwen + Damwand

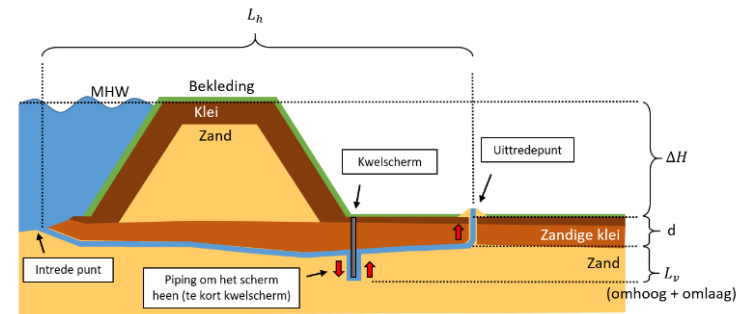


VIII. Berekeningen

1. Piping

1.1. Berekening Damwand

Met behulp van de horizontale en verticale piping kunnen de minimaal benodigde afmetingen van een damwand, om piping tegen te gaan, worden berekend. Hierbij wordt eerst de methode van Lane gebruikt om de verticale kwelweg (L_v) uit te rekenen en daarna wordt gebruik gemaakt van een logisch onderbouwde vuistregel om de lengte van het kwelscherm (de damwand) (L_{scherm}) te berekenen. De andere afmetingen van een damwand zijn niet relevant voor het tegengaan van piping en staan al vast in het standaardprofiel van een damwand.



Figuur 70 Piping bij een kwelscherm met relevante parameters

Berekening verticale kwelweg (L_v (Figuur 70))

Uitgangspunten

- Opbarsten: niet van toepassing.
De gekozen locaties voldoen niet aan het opbarstcriterium (criterium voortijdig opbarsten).
- Er is geen achterloopsheid (waarbij water langs het scherm heengaat aan de zijcanten)
De gekozen locaties hebben een doorlopend kwelscherm tot buiten het traject.
- Rekenmethode: Methode Lane (& empirische formule Lane)
Conform Deltares (2012) Zandmeevoerende Wellen; blz. 59. (Forster, Ham, Calle, & Kruse, 2012)
- Vereiste veiligheidsfactor:
Bij methode Lane geldt een vereiste veiligheid van $\gamma = 1,00$.
Dit omdat de methode de veiligheid in de creepfactor ($C_{w,creep}$) verwerkt heeft.

$$(\Delta H - 0,3d) \leq \frac{\Delta H_c}{\gamma}$$

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

Waarin (Figuur 70):

ΔH_c	kritieke verval [m]
ΔH	verval over de grondconstructie [m]
d	dikte van de afdekkende laag [m]
γ	veiligheidsfactor [-]

Waarin (Figuur 70):

ΔH_c	kritieke verval [m]
ΔH	verval over de grondconstructie [m]
L_h	Totale lengte v.d. horizontale delen v.d. kwelweg [m]
L_v	Totale lengte v.d. verticale delen v.d. kwelweg [m]
$C_{w,creep}$	Een materiaalconstante gebaseerd op de mediane korreldiameter van een grondsoort [-]

Toegepaste parameters

ΔH	Het verval is berekend met behulp van het maatgevend hoogwater (MHW), geëxtraheerd uit het WDOD bestand van STPH (Stabiliteit Piping & Heave) (Nije Bijvank, STPH Zwolle-Olst 2075, 2018) en het binnendijkse maaiveld (mv) of uitredpunt (up) afkomstig uit dwarsdoorsnedes in Bijlage IV.
d	De dikte van de afdekkende laag is onttrokken uit de grondonderzoeken uit Bijlage V en specifiek de binnendijkse lengtedoorsnede aangezien de damwand zich hier gaat bevinden.

γ Zie uitgangspunten
 L_h Wordt verkregen uit het WDOD bestand van STPH (Nije Bijvank, STPH Zwolle-Olst 2075, 2018).
 $C_{w,creep}$ Met behulp van de grondsoort uit de grondonderzoeken uit Bijlage V en Tabel 14 kan de Creep-factor van Lane bepaald worden in Tabel 14

Grondsoort	Mediane korreldiameter [μm] ¹⁾	C_{creep} (Bligh)	$C_{w,creep}$ (Lane)
Uiterst fijn zand, silt	< 105		8,5
Zeer fijn zand	105 – 150	18	
Zeer fijn zand (mica)		18	7
Matig fijn zand (kwarts)	150 – 210	15	7
Matig grof zand	210 – 300		6
Zeer/uiterst grof zand	300 – 2000	12	5
Fijn grind	2000 – 5600	9	4
Matig grof grind	5600 – 16000		3,5
Zeer grof grind	> 16000	4	3

¹⁾ indicaties conform NEN 5104 (september 1989)
 Eventueel kan tussen klassemiddens van de mediane korreldiameters worden geïnterpoleerd

Tabel 14 $C_{w,creep}$ waarden voor verschillende grondsoorten.

Bron: (Forster, Ham, Calle, & Kruse, 2012)

Berekening lengte kwelscherm (damwand) (L_{scherm})

Uitgangspunten

- Het kwelscherm is water ondoorlatend (damwand) en verticaal recht geplaatst en zit stevig vast waardoor opdrijving onmogelijk is.
- Rekenmethode:

$$L_{scherm} = \frac{1}{2}L_v + d$$

Waarin (Figuur 70):

L_v Totale lengte v.d. verticale delen v.d. kwelweg [m]
 d dikte van de afdekkende laag [m]
 $1/2$ Factor ontstaan uit de dubbele lengte die het pipingwater af moet leggen door implementatie van een kwelscherm (Figuur 70) [-]
 L_{scherm} Minimale lengte van de damwand onder de deklaag [m]

Het Surf gat (Hm 2967)

Gegevens:

MHW = 5,79 m +NAP
 uittredepunt (up) = 2,20 m +NAP (bodemsloot)
 d = 0 m (bovenste 3 meter zandpakket, met daaronder ook zand (zand op zand), piping ontstaat wel. Mogelijke verklaringen hiervoor zijn dat er klei en/of leem laagjes in het zand zitten die niet te zien zijn (ook vermeld in grondonderzoek in Bijlage V.1), daarnaast kan het door zandlagen met verschillende korrelgroottes waardoor er een zanddeklaag ontstaat).
 L_h = 57,25 m (maatgevende kwelweglengte (op basis van het grootste kwelwegtekort op het traject))
 γ = 1,00
 $C_{w,creep}$ = 7,00 (de maatgevende grondlaag is matig fijn zand, zwak siltig)

$$\Delta H = MHW - mvup = 5,79 - 2,20$$

$$\Delta H = 3,59 \text{ m}$$

$$L_v = (\Delta H - 0,3d) * C_{w,creep} - \left(\frac{L_h}{3}\right) = (3,59 - 0,3 * 0) * 7,00 - \left(\frac{57,25}{3}\right) = 3,59 * 7 - \left(\frac{57,25}{3}\right)$$

$$L_v = 6,05 \text{ m}$$

$$L_{scherm} = \frac{1}{2} * L_v + d = \frac{1}{2} * 6,05 + 0$$

$$L_{scherm} = 3,02 \text{ m}$$

De damwand (het kwelscherm) bij maatwerklocatie Het Surfsgat moet minimaal een lengte van 3,02 meter onder de deklaag hebben om piping tegen te gaan. De deklaag is 0 meter, echter treedt er wel piping op. Met dit niet gebruikelijke voorval zijn er twee methodes om deze locatie aan te pakken:

1. Voor het berekenen van de dieptes wordt ervan uitgegaan dat de fijne zandlaag de deklaag is (2,86m boven tot 0,5m onder NAP). Het bovenste punt van de damwand wordt gesitueerd op 2,66m boven NAP (20cm onder de grasmat, om de damwand niet boven de grond uit te laten steken) en het laagste punt bevindt zich volgens de berekeningen dan op $-0,50 - 3,02 = 2,52$ m onder NAP. Dit laagste punt bevindt zich in de uiterst grove tot uiterst fijne zandlaag uit de "Formatie van Kreftenheye". Dit is een goede dragende laag voor deze constructie.
2. Bij de tweede methode wordt een deel van de fijne zandlaag afgegraven ($\pm 1,5$ m op deze locatie) en hier wordt klei voor in de plaats neergelegd. Deze kleilaag wordt als nieuwe deklaag gezien en vanaf de onderzijde van de kleideklaag wordt het verticale kwelscherm geplaatst. Het bovenste punt van dit scherm zal zich wederom op 20 cm onder de grasmat bevinden (2,66m boven NAP), het onderste punt van het kwelscherm zal zich dan op $1,36 - 3,02 = 1,66$ m onder NAP in de fijn tot grove zandlaag van de "Formatie van Boxtel" bevinden. Dit is een goede dragende laag voor deze constructie. De totale lengte van het kwelscherm bij deze methode zal $2,66 + 1,66 = 4,32$ m zijn.

Voor deze locatie is gekozen voor de tweede methode. Deze methode sluit mede aan op de vervanging van de bekleding door klei en bij de eerste methode is er kans dat het water over het kwelscherm heen wordt gedwongen wat nieuwe problemen oplevert.

De Oude IJsselgeul (Hm 1957)

Gegevens:

MHW	= 7.06 m +NAP
uittredepunt (up)	= 2,63 m +NAP (Talud kolk)
d	= 2 m (2 meter kleilaag, niet de bovenste zandlaag (bovenste 20 cm zand zal geen piping bevatten doordat hier geen deklaag is))
L_h	= 72,59 m (maatgevende kwelweglengte (op basis van het grootste kwelwegtekort op het traject))
γ	= 1,00
$C_{w,creep}$	= 7,00 (de maatgevende grondlaag is matig fijn zand, zwak siltig)

$$\Delta H = MHW - mvup = 7,06 - 2,63$$

$$\Delta H = 4,43 \text{ m}$$

$$L_v = (\Delta H - 0,3d) * C_{w,creep} - \left(\frac{L_h}{3}\right) = (4,43 - 0,3 * 2) * 7,00 - \left(\frac{72,59}{3}\right) = 3,83 * 7 - \left(\frac{72,59}{3}\right)$$

$$L_v = 2,61 \text{ m}$$

$$L_{scherm} = \frac{1}{2} * L_v + d = \frac{1}{2} * 2,61 + 2$$

$$L_{scherm} = 3,31 \text{ m}$$

De damwand (het kwelscherm) bij maatwerklocatie De Oude IJsselgeul moet minimaal een lengte van 3,31 meter onder de deklaag hebben om piping tegen te gaan. Hierbij bevindt zich het hoogste punt van dit scherm zich op 3,10 m boven NAP (20cm onder de grasmat) en het laagste punt met de minimale berekeningen bevindt zich op $1,00 - 3,31 = 2,31\text{m}$ onder NAP. Hierdoor zal de totale lengte van de damwand $3,10 + 2,31 = 5,41\text{m}$ bedragen. Het kwelscherm passeert de kleilaag ($2,5 - 0,5 \text{ m} +\text{NAP}$) en de eerste zandlaag met matig fijn zand ($0,5 - 0\text{m} +\text{NAP}$ en $0 - 1\text{m} -\text{NAP}$) en het laagste punt komt terecht in de fijn tot grove zandlaag van de "Formatie van Boxtel". Dit is een goede dragende laag voor deze constructie. Het kwelscherm komt net een paar tientallen centimeters boven de nog grovere laag zand uit.

Nilantsweg 90 (Hm 4587)

Deze locatie heeft een aantal bijzonderheden. Op deze maatwerklocatie kan er zich op twee plekken het uittredepunt bevinden, namelijk in de onderste hoek van het huis die het dichtst bij het midden van de dijk ligt (opbarsting bij het huis) of in het lagere stuk grond naast het huis.

In het bestand van de horizontale kwelwegberekeningen via de methode van Sellmeijer (Nije Bijvank, STPH Zwolle-Olst 2075, 2018) is deze locatie bekeken en zijn beide locaties uitgerekend, hieruit bleek dat met een uittrede punt in het lagere stuk grond naast het huis er een groot pipingprobleem ontstond. Deze bleek, in vergelijking met de berekeningen van het pipingprobleem bij de hoek van het huis, het maatgevende pipingprobleem. Deze afweging wordt hieronder met berekeningen nagebootst.

Uittredepunt hoek van het huis

Gegevens:

MHW	= 4,81 m +NAP
uittredepunt (up)	= 2,59 m +NAP (hoek van het huis)
d	= 4,00 m (een laag van 2,70m klei en een laag van 1,30m veen waarbij ervan uitgegaan wordt dat er in de veenlaag geen piping optreed)
L_h	= 62,72 m (maatgevende kwelweglengte (op basis van het grootste kwelwegtekort op het traject))
γ	= 1,00
$C_{w,creep}$	= 7,00 (de maatgevende grondlaag is matig fijn zand, zwak siltig)

$$\Delta H = MHW - mvup = 4,81 - 2,59$$

$$\Delta H = 2,22 \text{ m}$$

$$L_v = (\Delta H - 0,3d) * C_{w,creep} - \left(\frac{L_h}{3}\right) = (2,22 - 0,3 * 4,00) * 7,00 - \left(\frac{62,72}{3}\right) = 1,02 * 7 - \left(\frac{62,72}{3}\right)$$

$$L_v = -13,77 \text{ m}$$

$$L_{scherm} = \frac{1}{2} * L_v + d = \frac{1}{2} * -13,77 + 4$$

$$L_{scherm} = -2,89\text{m}$$

Een negatieve verticale kwelweglengte betekent dat hier geen verticale kwelweg op zal treden waardoor opbarsting onder het huis niet kan ontstaan.

Uittredepunt lage land naast het huis

Gegevens:

MHW	= 4,81 m +NAP
uittredepunt (up)	= 0,9 m +NAP (buitenste teen, in het dipje binnendijs naast het huis)
d	= 2,82 m (een laag van 1,62m klei en een laag van 1,30m veen, waarbij ervan uitgegaan wordt dat er in de veenlaag geen piping optreed)
L_h	= 62,72 m (maatgevende kwelweglengte (op basis van het grootste kwelwegtekort op het traject))
γ	= 1,00
$C_{w,creep}$	= 7,00 (de maatgevende grondlaag is matig fijn zand, zwak siltig)

$$\Delta H = MHW - mvup = 4,81 - 0,9$$

$$\Delta H = 3,91 \text{ m}$$

$$L_v = (\Delta H - 0,3d) * C_{w,creep} - \left(\frac{L_h}{3}\right) = (3,91 - 0,3 * 2,92) * 7,00 - \left(\frac{62,72}{3}\right) = 3,03 * 7 - \left(\frac{62,72}{3}\right)$$

$$L_v = 0,33 \text{ m}$$

$$L_{scherm} = \frac{1}{2} * L_v + d = \frac{1}{2} * 0,54 + 2,92$$

$$L_{scherm} = 3,09 \text{ m}$$

Met dit uittrede punt kan er wel een een verticale kwelweg ontstaan en zal het uittredepunt van het pipingprobleem zich hier bevinden. De damwand (het kwelscherm) bij maatwerklocatie Nilantweg 90 moet minimaal een lengte van 3,09 meter onder de deklaag hebben om piping tegen te gaan. In de schets in Bijlage VII.3 is te zien dat het kwelscherm niet naast het uittrede punt komt te liggen, maar in het hogere deel van het talud aan de andere kant van het huis. Dit zal de lengte van de damwand flink vergroten. Het hoogste punt van dit scherm zal zich 20 cm onder de grasmat bovenin het talud van het binnentalud bevinden op een hoogte van 3,90 m boven NAP. Het laagste punt van dit scherm ligt op - 2,20 - 3,09 = 5,29 m onder NAP. Hierdoor zal de totale lengte van het kwelscherm 3,90+5,29 = 9,19 m bedragen. Hierbij is de damwand het dikke pakket klei en de zandkern van de dijk en de kleilaag en de veenlaag in de ondergrond gepasseerd en plaatst het onderste punt zich in de fijn tot grove laag zand uit de "Formatie van Boxtel". Dit is een goede dragende laag voor deze constructie.

1.2. Berekening Verticaal Zanddicht Geotextiel en Grofzand barrière

De berekening van een Verticaal Zanddicht Geotextiel (VZG) is meer een analyse dan formules en harde cijfers. Het VZG lijkt op het eerste oog veel op een kwelscherm, echter is de techniek erachter beduidend verschillend. Het VZG laat, in tegenstelling tot een kwelscherm, het water van een kwelweg doorlopen en houdt alleen het zand tegen. Hierdoor is er ook alleen een horizontale kwelweg aanwezig en geen verticale kwelweg om het scherm. Dit leidt ertoe dat een VZG geen berekening heeft voor lengte van het scherm en wordt er enkel gekeken in welke grondlaag de piping zich bevindt om zo het kwelscherm lang genoeg te laten zijn om de bovenkant van deze grondlaag te doorsnijden. In het overkoepelende project van IJsseldijk is gekozen voor een standaard afmeting van een VZG van 10 meter op elke locatie waar dit nodig is (Frakking, 2018). Dit is nog in het ontwerp 0.1 meegenomen waardoor dit nog een redelijk algemeen beeld is. Voor het traject van Het Surfgat zal preciezer gekeken worden naar de grondsamenstelling.

Een grofzand barrière functioneert op dezelfde manier als een VZG. Hierdoor zal de redenering tot lengte van de grofzand barrière ongeveer gelijk zijn aan die van het VZG. Op het gebied van andere afmetingen verschilt de grofzand barrière wel van het VZG

Het Surfgat

Bij het Surfgat is gekeken naar de grondlagen uit het grondonderzoek in Bijlage V.1, hierbij is bekend dat de eerste laag van 3,3 meter matig fijn zand is (2,8 m boven – 0,5 m onder NAP) meter met daaronder een fijn tot grove laag zand (0,5 – 2,5 m onder NAP), een nog fijnere tot grovere laag zand (2,5 – 5m onder NAP) en daaronder een laag klei zand en veen gemixt (5 – 8 m onder NAP). Waarbij de bovenste matig fijne zandlaag wordt gezien als de laag waar piping plaatsvindt. In deze bijzondere situatie is dezelfde laag tevens de deklaag. Het VZG wordt onder de parallelweg geplaatst zoals blijkt uit de MCA in Bijlage VI.3 en meetapparatuur zal rond de parallelweg ingegraven worden om het scherm te monitoren. Het VZG hoeft in principe hier maar maximaal een aantal meters te zijn om het pipingprobleem op te lossen wat zich alleen in de bovenste laag afspeelt. Echter is het tactisch het VZG door te trekken tot de grovere of zelfs de kleilaag zodat, zodra het scherm ooit dichtslibt het water er niet direct onderdoor kan, maar stuit op nog meer geotextiel. Een scherm van 7,8 tot 8 meter is een goede mogelijkheid, deze zal aansluiten op de klei, veen en zand mixlaag op een diepte van 5 meter onder NAP. De grofzand barrière zal dezelfde lengtemaat krijgen.

1.3. Cutter Soil Mix wand (CSM)

De CSM is een zelfkerende constructie die de faalmechanismen bekleding, piping, stabiliteit en hoogte kan tegengaan door middel van een grote betonnen wand die in de kruin is gesitueerd en vrij grote dieptes behaalt. Om piping tegen te gaan dient deze wand de verticale pipinglengte te overbruggen en ervoor te zorgen dat een verticale kwelweg niet ontstaat. Deze waardes zijn voor de maatwerklocaties al uitgerekend en zullen voor de CSM die in de kruin is gesitueerd overgezet moeten worden naar de grondsamenstelling van de ondergrond onder de kruin. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de grondonderzoeken uit Bijlage V. De gegevens, de uitkomst van “de lengte van de verticale delen van de kwelweg” (L_v) en “de lengte van het kwelscherm” (L_{scherm}) zijn meegenomen uit de damwand berekeningen

De Oude IJsselgeul

Gegevens en berekeningswaarden uit “Damwand Oude IJsselgeul”:

MHW	= 7.06 m +NAP
uittredepunt (up)	= 2,63 m +NAP (Talud kolk)
d	= 2 m (2 meter kleilaag, niet de bovenste zandlaag (bovenste 20 cm zand zal geen piping bevatten doordat hier geen deklaag is))
L_h	= 72,59 m (maatgevende kwelweglengte (op basis van het grootste kwelwegtekort op het traject))
γ	= 1,00
$C_{w,creep}$	= 7,00 (de maatgevende grondlaag is matig fijn zand, zwak siltig)
ΔH	= 4,43 m
L_v	= 2,61 m
L_{scherm}	= 3,31 m

Bij het plaatsen van de CSM in de kruin van de dijk aan de buitendijkse kant naast de provinciale weg, dient het grondonderzoek van de kruin en van het buitendijkse land bekeken te worden om zo de grondlagen te identificeren. Bij deze locatie blijkt na onderzoek van de grondlagen in Bijlage V.2 dat de deklaag van klei onder de dijk ter hoogte van de kruin op 0,5 m boven NAP ligt, iets lager dan de kleideklaag bij de binnendijkse boring. Vanaf deze laag dient het laagste punt van de CSM op $0,5 - 3,31 = 2,81$ m onder NAP te liggen. De CSM hoeft op deze locatie geen hoogteprobleem aan te pakken en zal daarom dicht onder de grasmat komen te liggen (geen 20 cm aangezien de CSM de hoogte van de dijk moet behouden als zelfkerende constructie wanneer de dijk zou falen). Het bovenste punt van de CSM bevindt zich op 8,28m boven NAP, hiermee heeft de CSM een totale lengte van $2,81 + 8,28 = 11,09$ m nodig om piping tegen te gaan (oftewel 11,50 of 12 meter afgerond voor een betonnen wand). Met deze lengte staat het onderste punt van de zelfkerende wand in een uiterst fijn tot uiterst grove laag zijn die vaak grindig is, wat een goede draagkrachtige laag is om een zelfkerende constructie te dragen.

Nilantsweg 90

Gegevens en berekeningswaarden uit "Damwand Nilantsweg 90":

MHW	= 4,81 m +NAP
uittredepunt (up)	= 0,9 m +NAP (buitenste teen, in het dipje binnendijs naast het huis)
d	= 2,82 m (een laag van 1,62m klei en een laag van 1,30m veen, waarbij ervan uitgegaan wordt dat er in de veenlaag geen piping optreed)
L_h	= 62,72 m maatgevende kwelwegtekort (het grootste kwelwegtekort op het traject))
γ	= 1,00
$C_{w,creep}$	= 7,00 (de maatgevende grondlaag is matig fijn zand, zwak siltig)
ΔH	= 3,91 m
L_v	= 0,33 m
L_{scherm}	= 3,09 m

Bij het plaatsen van de CSM in de kruin van de dijk in het midden, dient het grondonderzoek van de kruin bekeken te worden om zo de grondlagen te identificeren. Bij deze locatie blijkt na onderzoek van de grondlagen in Bijlage V.2 dat de deklaag op een variabele 2,50 tot 3,80 m onder NAP ligt (komt door het uiteinde van de dunne veenlaag die connectie tussen de klei laag en de fijn tot grove zandlaag kort verstoord. Er wordt bij deze locatie uitgegaan van de meest diepe als maatgevende deklaagdiepte, 3,80 m onder NAP. Hierdoor zal het onderste punt van de CSM zich op $-3,80 - 3,09 = 6,89$ m onder NAP bevinden. Dit punt bevindt zich in de draagkrachtige fijn tot grove zandlaag uit "het laagpakket van Zutphen". De CSM dient op deze locatie wel een hoogteprobleem op te lossen en hierdoor zal de lengte van de CSM groter worden dan tot aan de dijk kruinbekleding. Echter in de dijk van het onderste punt tot het toppunt heeft de CSM een lengte van $6,89 + 5,05 = 11,94$ m nodig om piping tegen te gaan (oftewel 12 meter afgerond voor een betonnen wand)

1.4. Verzwaren waterbodern & horizontaal geotextiel

Deze pipingoplossing werkt met een andere techniek dan de hiervoor besproken oplossingen. Deze methode werkt op het verlengen van de horizontale kwelweg zodat er teveel tegendruk is waardoor piping niet zal ontstaan. Het belangrijkste punt bij deze oplossing is om het totale uitgerekende kwelwegtekort uit het STPH-bestand van het WDO (Nije Bijvank, STPH Zwolle-Olst 2075, 2018) aan te vullen met additionele dijk lengte om zo tegendruk op te wekken. Dit kan doormiddel van een taludverflauwing, horizontaal geotextiel, kleibekleden, enz. Voor het uitrekenen van de horizontale kwelweg is de methode van Sellmeijer gebruikt. De oorspronkelijke regel van Sellmeijer is gebaseerd op een stromingsberekening en een uitwerking van het krachtenevenwicht. Op basis van dit twee-krachtenmodel van Sellmeijer is voor een standaard dijkconfiguratie met een homogene zandlaag onder een ondoorlatende laag de volgende rekenregel geformuleerd (Figuur 71) (Forster, Ham, Calle, & Kruse, 2012).

$$\frac{H_c}{L} = F_{\text{resistance}} F_{\text{scale}} F_{\text{geometry}}$$

$$F_{\text{resistance}} = \frac{\gamma'_p}{\gamma_w} \{ \eta \tan(\theta) \} \left(\frac{RD}{RD_m} \right)^{0,25}$$

$$F_{\text{scale}} = \frac{d_{70m}}{\sqrt[3]{\kappa L}} \left(\frac{d_{70}}{d_{70m}} \right)^{0,4}$$

$$F_{\text{geometry}} = \overset{\text{MSseep}}{=} F(G) \overset{\text{standaarddike}}{=} 0,91 \cdot \left(\frac{D}{L} \right)^{\frac{0,28}{\left(\frac{D}{L} \right)^{-1} + 0,04}}$$

waarin:

ΔH_c	kritieke verval over de waterkering [m]
γ'_p	(schijnbaar) volumegewicht van de zandkorrels onder water [kN/m ³]
γ_w	volumegewicht van water [kN/m ³]
θ	rolweerstandshoek van de zandkorrels [°]
η	coëfficiënt van White [-]
κ	intrinsieke doorlatendheid van de pipinggevoelige/bovenste zandlaag [m ²]
d_{70}	70-percentielwaarde van de korrelverdeling [m]
d_{70m}	gemiddelde d_{70} in de kleine schaalproeven (2,08 E-4m)
D	dikte van de zandlaag [m]
L	lengte van de kwelweg (horizontaal gemeten) [m]
RD	relatieve dichtheid [-]
RD_m	gemiddelde relatieve dichtheid in de kleine schaalproeven (0,725)

Figuur 71 Piping regel verkregen uit het rekenmodel van Sellmeijer

Bron: (Forster, Ham, Calle, & Kruse, 2012)

De Oude IJsselgeul

Op deze locatie is (Nije Bijvank, STPH Zwolle-Olst 2075, 2018):

Hm 1950

Huidige kwelweglengte (H_k) = 48,30 m
 Benodigde kwelweglengte (B_k) = 52,24 m
 Kwelwegtekort (K_t) = $B_k - H_k = 52,24 - 48,30$
 Kwelwegtekort = 3,940 m

Hm 1960

Huidige kwelweglengte (H_k) = 72,59 m
 Benodigde kwelweglengte (B_k) = 132,24 m
 Kwelwegtekort (K_t) = $B_k - H_k = 132,24 - 72,59$
 Kwelwegtekort (K_t) = 64,65 m

Hm 1970

Huidige kwelweglengte (H_k) = 32,04 m
 Benodigde kwelweglengte (B_k) = 72,56 m
 Kwelwegtekort (K_t) = $B_k - H_k = 72,56 - 32,04$
 Kwelwegtekort = 40,52 m

Er wordt gekeken naar hectometer 1960 aangezien hier de twee kolken zich bevinden en het kwelwegtekort het grootst is. Om piping tegen te gaan moet er op deze locatie 64,65 m aan dijkverbreding, horizontaal geotextiel filter of kleibekleding aangelegd worden. Bij deze oplossing gaat het om een geotextiel en dit zal dan met een verzwaarde waterbodern neergelegd moeten worden.

Bij de eerdere afweging is bij deze locatie deze kwelweglengte over het hoofd gezien bij het implementeren van deze bouwsteen op de manier zoals deze is weergegeven in de schets in Bijlage VII,2. Zodra het geotextiel wordt neergelegd zoals op de schets zal de gehele kolk horizontaal geotextiel op de bodem krijgen en zal zelfs een deel van dit geotextiel naast de kolk moeten doorlopen in de grond. Dit zal veels te veel kosten en moeilijkheden opleveren. Echter kan er gebruik gemaakt worden van de buitendijkse geul. Hierbij zullen beide waterlichamen de helft van het kwelwegtekort aan horizontaal geotextiel bevatten ($64,65/2 = 32,33\text{m}$), wat aan beide kanten verzwaard wordt met breukstenen. Daarnaast zal alleen de binnendijkse zijde een berm bevatten (voor de stabiliteit) zoals op de schets is weergegeven en zal de buitendijkse zijde alleen verzwaard worden met breukstenen.

1.5. Klei-ingraving

Bij de klei-ingraving wordt dezelfde techniek als bij het “Verzwaren waterbodembodem & horizontaal geotextiel” aangesproken, hierbij wordt hetzelfde bestand aangehaald van (Nije Bijvank, STPH Zwolle-Olst 2075, 2018), berekend met de regel van Sellmeijer (Figuur 71). Het aanvullen van het totale maatgevende kwelwegtekort. Bij een klei-ingraving is dat mogelijk door een bepaalde lengte (gebaseerd op het kwelwegtekort) aan klei in te graven in het voorland. Er wordt uitgegaan van een kleipakket van 1,2 meter dik volgens het dimensioneringsrapport van WDOD (Frakking, 2018), waarmee 1 meter gegarandeerd is. Dit kleipakket ligt met de bovenkant 1 meter onder het maaiveld zodat lage begroeiing als gras, en menselijke activiteiten zoals over het land rijden de kleilaag niet beschadigd. Er wordt uitgegaan van een slappe klei met erosiebestendigheid 3 (Frakking, 2018), klasse 3 in erosiebestendigheid is “weinig erosiebestendig” (Technische Adviescommissie voor Waterkeringen, 1996), gekozen omdat er ook een meter normale grond overheen ligt waardoor de klei niet snel aangetast zal worden door erosie.

Nilantsweg 90

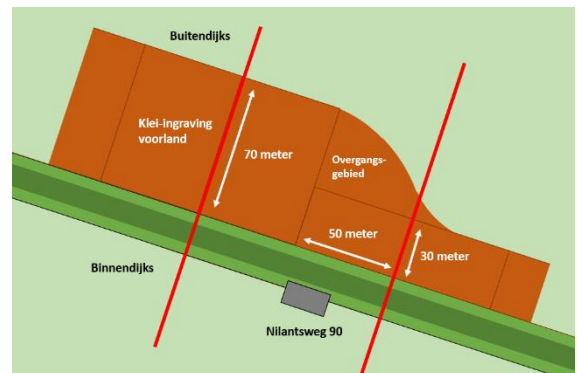
Op deze locatie is (Nije Bijvank, STPH Zwolle-Olst 2075, 2018):

Hm 4580 – 4585

Huidige kwelweglengte (H_k)	= 62,72 m
Benodigde kwelweglengte (B_k)	= 132,67 m
Kwelwegtekort (K_t)	= $B_k - H_k = 132,67 - 62,72$
Kwelwegtekort (K_t)	= 69,95 m

Hm 4585 – 4590

Huidige kwelweglengte (H_k)	= 123,51 m
Benodigde kwelweglengte (B_k)	= 153,64 m
Kwelwegtekort (K_t)	= $B_k - H_k = 153,64 - 123,51$
Kwelwegtekort (K_t)	= 30,13 m
Grondsoort	= Klei
Erosiebestendigheid	= 3 (weinig erosiebestendig)
Dikte	= 1,2 m



Figuur 72 Klei-ingraving Nilantsweg 90 (groene vlakken = dijklichaam)

Aangezien de aangrenzende trajecten aan beide kanten van dit maatwerktraject dezelfde kwelwegtekorten bevatten als de twee kwelwegtekorten bij deze hectometers, wordt er rekening mee gehouden dat de trajecten om dit maatwerktraject heen ook een klei-ingraving invoeren. Hierdoor zal op dit maatwerktraject niet één maatgevend kwelwegtekort gekozen worden, maar zullen beiden gebruikt worden en zal er een overgangsgebied tussen de twee verschillende klei-ingravingen moeten worden ontworpen.

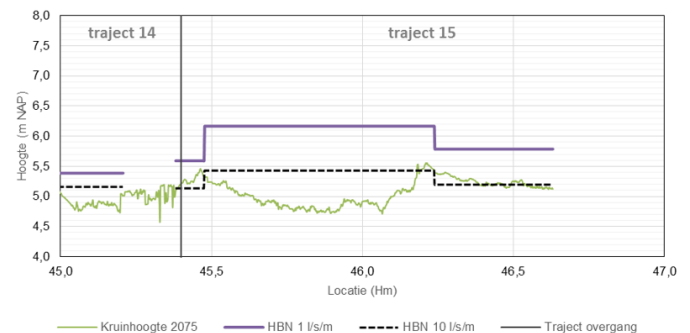
Op het zuidelijk deel van het traject (Hm 4580 – 4585) wordt een klei-ingraving van 70 meter ingevoerd. Vanaf het punt van de harde overgang van 70 naar 30 meter zal een punt worden geplaatst, en vanaf dit punt zal een radius van 70 meter worden getrokken tot de 30 meter laag, zodat de klei-ingraving aan alle kanten ver genoeg uitstrekt om het 70 meter kwelwegtekort van alle kanten aan te vullen. Aangezien het stuk van een 30 meter ingraving zich over 5 Hm (50 meter) verstrekt binnen het maatwerktraject zal de radius van 70 meter dit overschaduwen en aansluiten op de 30 meter klei-ingraving buiten het maatwerktraject (Figuur 72)

2. Overslag

Er is alleen een overslagopgave bij de maatwerklocatie “Nilantsweg 90”, daarom zullen alle hieronder toegelichte technieken meteen worden uitgerekend voor Nilantsweg zonder tussenkopjes en overbodige dubbele informatie.

2.1. Diepwandkop en CSM (extensie)

De diepwand en de CSM wand zijn beide zelfkerende constructies die alle faalmechanismen aan kunnen pakken. Het faalmechanisme overslag kan met een diepwand of een CSM worden opgelost door deze simpel gezegd hoger te maken zodat de golf er niet meer overheen kan slaan. De verhogingswaarden zijn afkomstig uit het onderzoeksrapport “ontwerpogave hoogte” (Nije Bijvank, 2018) en zijn gebaseerd op een overslagdebiet van 1 l/s/m en 10 l/s/m met een faalkans van 1:12.500 jaar. Deze waarden van verhoging zijn in het onderzoeksrapport van het project IJsseldijk Zwolle-Olst (Krewinkel, 2018) uitgegaan van een zichtjaar van 2075 (50 jaar vooruit). Doordat dit zichtjaar zich in de toekomst afspeelt is er ook sprake van mogelijke zetting van de grond, met behulp van de waarden uit (Nije Bijvank, 2018) is het zettingsverschil bepaald als 19 cm bij deze locatie bij een bodemdaling van 0,0029 m/jaar. De verhogingswaarden zijn uitgerekend aan de hand van een GEKB methode waarbij het maatgevend hoogwater (MHW), tezamen de het overslagdebiet van 1 l/s/m en 10 l/s/m het hydraulisch belasting niveau (HBN) uitrekenen. Het HBN voor de locatie van Nilantsweg 90 is weergegeven in Figuur 73. Zolang de kruinhoogte van de dijk boven de HBN 10 l/s/m (zwarte stippellijn) ligt kan deze belasting gekeerd worden en is de minimale verhoging 0 de maatgevende hoogte. Maar zodra de HBN 10 l/s/m boven de kruinhoogte ligt kan deze niet gekeerd worden (zoals grotendeels op dit traject, weergegeven in Figuur 73) en wordt er uitgegaan van een overslagdebiet van HBN 1 l/s/m (paarse lijn), waardoor de waarden beduidend groter worden. Deze methode is de ontwerpstrategie van de dijkverhoging bij overslag van het projectteam van IJsseldijk Zwolle-Olst.



Figuur 73 Hydraulische Belasting Niveau
Bron: (Krewinkel, 2018)

H_{huidig} = 4,95 m boven NAP (kruinhoogte)
 Plaatsing = midden op de kruin
 Zetting = 0,19 m (wegzakking van de grond)

$$H_{2075} = 4,95 - 0,19$$

$H_{2075} = 4,76$ m boven NAP (kruinhoogte met zetting, zonder verhoging, met zichtjaar 2075)

Verhoging

VH_{Min} = 0,8 m (HBN 10 l/s/m in Figuur 73: $5,40 - 4,76 = 0,74$ m afgerond op 0,8 m)

VH_{Max} = 1,5 m (HBN 1 l/s/m in Figuur 73: $6,20 - 4,76 = 1,44$ m afgerond op 1,5 m, maatgevend voor de overslag oplossingen)

VH_{Gem} = 1,3 m

$$H_{\text{dijk,v}} = 4,76 + 1,44$$

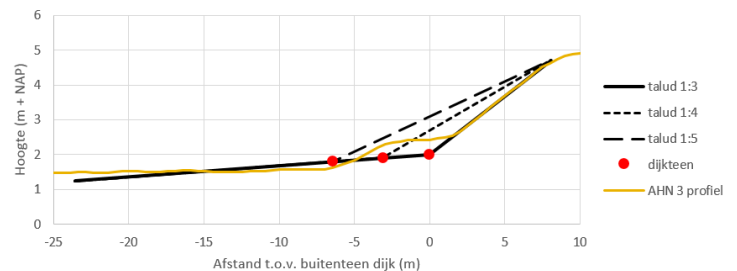
$H_{\text{dijk,v}} = 6,20$ m boven NAP (dijkhoogte, met verhoging, met zichtjaar 2075)

De verhogingen zorgen ervoor dat de dijkhoogte is toegenomen met 1,30 meter tot een hoogte van 6,06 m boven NAP, dit zal tot uitzichtverlies leiden van het huis op de maatwerklocatie, echter zijn deze oplossingen wel betrouwbaar in het tegengaan van het overslag faalmechanisme. Hiermee zijn de diepwandkop en de CSM (extensie) 1,44 meter lang, wat uitkomt dat de CSM een totale lengte krijgt (met de pipingberekening erbij) van $1,44 + 11,94 = 13,38$ m oftewel een 14 meter lange betonnen CSM wand.

2.2. Taludverflauwen

Deze manier van overslag tegengaan is aanwezig in twee van de mogelijke oplossingen bij maatwerklocatie Nilantsweg 90. Een taludverflauwing is een goede omgevingsvriendelijke oplossing voor overslag als er in het voorland veel ruimte beschikbaar is. Het talud remt golven met een bepaalde hoeveelheid en dit ligt aan de steilheid van het talud hoeveel kracht de golven verliezen. Voor deze oplossing is het onderzoeksrapport van het

WDOD over taludverflauwing op deze exacte locatie gebruikt (Krewinkel, Invloed helling buitentalud bij Spoolde (Zwolle-Olst), 2018). In het figuur hiernaast is de toetsing op het huidige talud (1:3) en de nieuwe taluds (1:4 & 1:5) uitgevoerd. Hierbij is eerst gekeken naar het zettingsverschil tussen nu en het zichtjaar 2075 (50 jaar vooruit), dit blijkt 19cm te zijn wat de kruinhoogte van 4,95 terughaaft naar 4,76 m. "Bij deze berekeningen is gebruik gemaakt van de WBI2017 bijgeleverde Hydra-NL software om het HBN (Hydraulisch Belasting Niveau) te bepalen en de IJsseldelta database is toegepast voor het ondervangen van invloeden vanuit het IJsselmeer" (Krewinkel, Invloed helling buitentalud bij Spoolde (Zwolle-Olst), 2018). Het gevraagde overslagdebiet is 1 l/s/m met een faalkans van 1:12.500 jaar. Deze hoeveelheid is conform de ontwerpstrategie, welke zegt dat wanneer een dijk door overslag of overloop opgehoogd dient te worden, het debiet van 10 naar 1 l/s/m dient te gaan (Nije Bijvank, 2018)



Figuur 74 Verschillende taluds Nilantsweg 90

Bron: (Krewinkel, 2018)

Zoals weergegeven in Figuur 75 neemt het Hydraulisch Belasting Niveau af bij een flauwere helling, het flauwere talud zorgt dus voor een grotere afdracht van de golfenergie voor de golf (het water) de kruin bereikt. Dit gaat om orde grote van tientallen centimeters voor 2075. Deze hoeveelheden zijn relevant bij de huidige ontwerpopgave van 0,5 tot 1,5 meter. Het zal echter niet de gehele hoogteopgave

doen wegnemen. Voor de oplossingen met een taludverflauwing wordt gebruik gemaakt van een 1 op 5 taludverflauwing waardoor de golven maximaal geremd worden terwijl de dijk nog steeds het uiterlijk van een dijk behoudt. Deze 1 op 5 taludverflauwing bij de maatgevende 1 l/s/m zorgt voor een 0,81 m verlaging van de kruin, wat meehelpt met de hoogteopgave, maar deze niet volledig wegneemt.

In het WDOD bestand over de golfslag afname bij een taludverflauwing is geconcludeerd (Krewinkel, Invloed helling buitentalud bij Spoolde (Zwolle-Olst), 2018) dat enkel een taludverflauwing bij de maatwerklocatie van Nilantsweg de hoogteopgave niet geheel zal wegnemen. Daarom wordt dit in alle oplossingen gecombineerd met een grond ophoging zodat deze combinatie de overslag wel tegen kan houden, het voordeel hierbij zijnde dat de golven al deels geremd worden en de grond ophoging lager kan worden waardoor uitzicht enigszins behouden kan blijven.

2.3. Grond ophoging

In de mogelijke oplossingen bij de maatwerklocatie Nilantsweg 90 komt drie keer de verhoging in grond voor, op drie verschillende manieren. Twee oplossingen in combinatie met de hiervoor besproken taludverflauwing. Deze oplossingen zijn qua grondophoging en taludverflauwing exact hetzelfde aangezien bij beide oplossingen het talud evenveel verflauwd wordt (1:5) en hiermee overgebleven hoogteopgave op dezelfde manier wordt aangevuld (het verschil zijnde op welke locatie deze verhoogd wordt). De andere oplossing is een extra grondaanvulling om de extensie van de CSM wand te verbergen.

53-4590	Voldoet?	2075			extra ruimtebeslag
		HBN 10 l/s/m	HBN 1 l/s/m	kruin	
Spoolde					
1 op 3 (huidig)		5,432	6,165	4,76	0 m
	Δ tov huidig	0,297	0,518		
1 op 4		5,135	5,647		3,1 m
	Δ tov huidig	0,447	0,8135		
1 op 5		4,985	5,3515		6,44 m

Figuur 75 Hydraulische Belasting Niveau per talud
Bron: (Krewinkel, 2018)

Taludverflauwing + Grondophoging:

In het hoofdstuk van de Diepwandkop en CSM extensie is getoond dat de maatgevende hoogte die deze dijk moet bereiken om het overslag faalmechanisme tegen te gaan 6,20 m boven NAP is. Waarbij er gebruik is gemaakt van een

Onder het kopje taludverflauwing is getoond dat met het nieuw gekozen 1 op 5 talud, 0,81 m wordt opgenomen door de taludverflauwing en hiermee de totale verhoging 0,81 m verlaagd.

$$\begin{aligned}H_{\text{dijk,v}} &= 6,20 \text{ m boven NAP (dijkhoogte, na verhoging, met zichtjaar 2075)} \\VH_{\text{gem}} &= 1,44 \text{ m} \\V_{\text{tv}} &= 0,81 \text{ m (Verlaging door talud verflauwing)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}GO &= VH_{\text{gem}} - V_{\text{tv}} = 1,44 - 0,81 \\GO &= 0,63 \text{ m (grondophoging in m)}\end{aligned}$$

Dit betekent dat de dijk na een taludverflauwing slechts 0,63 m verhoogd moet worden met behulp van een extra grond in plaats van de totale 1,44 meter. Met deze methode zal de dijk een minder groot stabiliteitsprobleem hebben (doordat er minder zand op de kruin ligt, waardoor er minder gewicht en druk ligt op het faalmechanisme van afschuiven van een talud). Daarnaast zal het uitzicht deels behouden blijven, doordat de verhoging in grond, die het uitzicht wegneemt, meer dan 50% afgenomen is. De kruin van de dijk is na deze verhoging gesitueerd op $4,76+0,63 = 5,39$ m boven NAP.

Extra grondaanvulling voor CSM extensie:

Deze extra grondaanvulling dient alleen ter bedekken van de CSM extensie zodat het uiterlijk van de dijk opschoont en niet voor extra veiligheid (aangezien de CSM een zelfkerende wand is). De extensie van de CSM blijkt 1,44 meter lang te zijn waardoor de extra grondaanvulling even hoog dient te zijn met een extra marge van 10 centimeter met hierop een grasmat zodat de wand goed weggewerkt is. De extra grondaanvulling zal het huidige 1:3 talud van de dijk volgen en hiermee de wand wegwerken alsof het een normale dijk is.

3. Bekleding

3.1. Kleibekleding

Deze bouwsteen is een goedkope, betrouwbare en natuurbehoudende oplossing met weinig ruimtebeslag. Het ingraven van een laag klei in het talud is een simpele methode om de bekleding erosiebestendig te maken. Voor kleibekleding zijn op de huidige normen uit 2017 geen ontwerpregels (alleen rudimentaire vuistregels) voor de dijken in het traject Zwolle – Olst (zanddijken met grasbekleding). Hierdoor kunnen geen berekeningen worden gedaan op basis van formules en harde getallen. Echter is er in het project gebruik gemaakt van berekeningen die horen bij de oude norm om een inzicht te krijgen in de bruikbaarheid van deze bouwsteen. Voor de kruin, het binnen- en het buitentalud is een indicatie gemaakt van de dikte van de kleibekleding (Frakking, 2018).

De kleibekleding op de kruin zal minimaal 0,5 m, en gemiddeld 1 meter dik zijn, de bekleding op het binnen- en buitentalud sluiten aan op deze bekleding op de kruin met 0,5m minimaal en 1 meter gemiddeld en zullen dikker worden naarmate deze de dijkteen bereiken. Bij de dijkteen zullen kleibekleding lagen 1,5 minimaal en gemiddeld 2 meter dik zijn.

3.2. Taludverflauwen

Naast het helpen bij de overslagopgave en hiermee het verlagen van de totale ophoging van de dijk, speelt het taludverflauwen ook een rol bij de bekleding. Door middel van het talud verflauwen zal, zoals eerder besproken, een golf meer energie verliezen terwijl deze de dijk op kruipt. De uiteindelijke energie die de golf overbrengt op het talud in de vorm van een klap die erosie veroorzaakt, zal kleiner zijn bij een taludverflauwing. Deze taludverflauwing is net als bij de hoogteopgave niet een bouwsteen die op zichzelf de totale bekledingsopgave kan wegnemen. Er moet hier ook klei worden toegevoegd echter, kan de dikte van de kleilaag flink afnemen ten opzichte van de kleibekleding. Een taludverflauwing zal enkele decimeters van de kleilaag afhalen (20 centimeter in dit onderzoek). Waardoor alle bekleding op de kruin en op het binnen- en buitentalud 20 centimeter afneemt.

4. Stabiliteit

In dit maatwerklocatierapport bevinden zich veel mogelijke stabiliteitsberekeningen op de bouwstenen van sommige oplossingen bij maatwerklocatie “De Oude IJsselgeul” en “Nilantweg 90”, echter worden deze stabiliteitsberekeningen in dit onderzoek niet uitgevoerd, gezien de beperkte omvang van dit onderzoek. De stabiliteitsberekeningen zouden als toevoeging, de dikte van sommige oplossingen omvatten, daarnaast zouden deze berekeningen de mogelijke locatie van het object verschuiven over het binnentalud of de kruin en zou bij uitzondering de lengte die berekend is bij piping mogelijk langer worden om de oplossing op een