


# **POVM Beter benutten actuele sterkte**

Activiteit 2 – Keuze van het proeftraject  
en gevoeligheidsanalyses  
Definitief

**POV**

MACRO  
STABILITEIT



**Auteur: A. Rozing  
Datum: augustus 2016**

**Versie: 2**

### Samenvatting

Binnen de POVM wordt het actuele sterkteonderzoek in eerste instantie uitgevoerd voor een beperkt (representatief) deel van het referentieproject KIJK (Krachtige IJsseldijken Krimpenerwaard). Als de resultaten positief zijn kan de werkwijze (buiten onderhavig project om) worden geïmplementeerd in de adviespraktijk voor o.a. de IJsseldijken.

Op basis van een aantal criteria en overwegingen, is een keuze gemaakt uit een aantal locaties (dwarsprofielen), zodanig dat wordt verwacht dat de activiteiten zoals genoemd in het PvA voor het actuele sterkteonderzoek kunnen worden doorlopen en dat de kans op verkleining van de versterkingsopgave, dan wel het beperken van de versterkingsmaatregel groot is. Vervolgens is een terreinverkenning uitgevoerd (door HHSK en Deltares) om te kunnen vaststellen of de locaties in voldoende mate toegankelijk zijn voor het uitvoeren van het terreinwerk, de monitoring en het aanbrengen van een eventuele proefbelasting.

Uit het onderzoek volgt dat de volgende 5 dwarsprofielen het beste in aanmerking komen voor het onderzoek:

- Dwp 1: Dp 26.2+75 m.
- Dwp 2: Dp 33.4+62 m. (Opgemerkt wordt dat wel dient te worden onderzocht hoe diep de keermuur zit).
- Dwp 3: Dp 33.9+65m.
- Dwp 4: Dp 36.9+26m.
- Dwp 5: Dp 40.5+50m (valt buiten de scope van KIJK).

### Gevoeligheidsanalyses macrostabiliteit:

Ter bepaling van de keuze van de dwarsprofielen zijn naast archiefonderzoek en bestudering van beschikbare gegevens ook gevoeligheidsanalyses in bovengenoemde dwarsprofielen uitgevoerd voor de macrostabiliteit van het binnentalud. Op deze wijze is inzicht verkregen in de invloed van de verschillende aspecten (waaronder waterspanningen, verkeersbelasting, grondopbouw), Hierdoor wordt het duidelijk waar focus- of aandachtspunten bij het actuele sterkte onderzoek (zie activiteiten 3, 4 en 5) zouden kunnen liggen. Deze punten hebben betrekking op bijvoorbeeld de aard en omvang van het grondonderzoek, monitoring van de waterspanningen en het belang van de verkeersbelasting in de bewezen sterkte analyses.

Hierbij is naar de volgende invloeden gekeken:

- Invloed hoogte freatisch vlak in de dijk:  
Uit het onderzoek volgt dat de hoogte van het freatisch vlak in de dijk relatief grote invloed heeft op de macrostabiliteit van het binnentalud (3 tot 5%). Door deze relatief hoge gevoeligheid is het van belang het freatisch vlak en de waterspanningen in het dijklichaam nauwkeurig vast te stellen. De waterspanningen hebben immers een grote invloed op de uitkomsten van het actuele sterkteonderzoek.
- Invloed waterspanningen en de onverzadigde en capillaire zone:  
De (extra) schuifsterkte in de onverzadigde zone en (extra) sterkte door wateronderspanningen in de capillaire zone kunnen in principe een belangrijke rol spelen in de macrostabiliteit. Uit de analyses volgt echter dat het effect gering is (1 tot 3%). Dit komt met name doordat de maatgevende cirkels bij de IJsseldijken intreden in de kruin ter plaatse van het cunet. Het cunet (dikte 1 á 2 m) bestaat uit niet cohesief materiaal waarvan kan worden aangenomen dat de capillaire zone en onverzadigde sterkte gering is.




Voorgesteld wordt om dit effect binnen het actuele sterkteonderzoek dan ook niet verder te beschouwen.

- Invloed verkeersbelasting:  
Uit de analyses blijkt dat de invloed van de verkeersbelasting vrij groot is (4 tot 9% ). Dit is een belangrijk gegeven omdat in de Bewezen Sterkte analyses (BS) voor een historische situatie veelal niet kan worden aangetoond dat een dergelijke verkeersbelasting aanwezig was. Dit terwijl voor de Toetssituatie zeer waarschijnlijk wel van de aanwezigheid van deze verkeersbelasting moet worden uitgegaan.
- Invloed grondopbouw:  
De dikte van de (opgebrachte) zandlagen in de kruin van de IJsseldijken is op dit moment nog onzeker. Uit de analyses volgt dat de dikte van het zand in de kruin nauwelijks invloed heeft op de berekende stabiliteitsfactor.
- Invloed keermuur in dwp 2 (Dp 33.4+62m):  
Het is mogelijk dat de macro-stabiliteit van het binnentalud door de keermuur wordt beïnvloed. Dit betekent dat dit profiel mogelijk minder geschikt is voor het Bewezen Sterkte onderzoek. Om dit uit te sluiten zou de constructie van de keermuur en vooral de diepte kunnen worden onderzocht.

De hier gerapporteerde werkzaamheden vallen onder activiteit 2.

#### Referenties

1220518-005-GEO-0002

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
2	augustus 2016	Arno Rozing		Theo Stoutjesdijk		Leo Voogt	

#### Status

definitief

20 mei 2016, concept

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Referentieproject: dijkversterking KIJK langs de Hollandse IJssel</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Overwegingen en keuze proeftraject</b>	<b>7</b>
3.1	Algemeen	7
3.2	Overwegingen te onderzoeken dwarsprofielen	7
3.2.1	Prioritering, clustering en fasering dijkversterking Hollandsche IJssel	7
3.2.3	Locaties reeds beschikbare peilbuizen en waterspanningsmeters.	10
3.2.4	Opdrijven van het pakket slappe lagen	10
3.2.5	Reeds uitgevoerde macrostabiliteit analyses binnentalud	11
3.2.6	Aanwezigheid voorland	13
3.2.7	Beschikbaar terreinonderzoek	13
3.2.8	Schade en of vervormingen tijdens te beschouwen observatie(s).	13
3.2.9	Kruinbreedte	14
3.2.10	Overige informatie uit eerder uitgevoerde Toetsingsonderzoeken	14
3.3	Terreinverkenning d.d. 5-06-2015	15
3.4	Conclusies	17
<b>4</b>	<b>Gevoeligheidsanalyses macrostabiliteit</b>	<b>19</b>
4.1	Uitgangspunten	19
4.2	Berekeningsresultaten	22
4.2.1	Invloed verhoging freatisch vlak met 0,5 m.	22
4.2.3	Invloed verkeersbelasting	24
4.2.5	Invloed keermuur in dwp 2 (Dp 33.4+62m):	25
<b>5</b>	<b>Samenvatting van de conclusies</b>	<b>29</b>
<b>6</b>	<b>Referenties</b>	<b>33</b>
<b>Bijlage(n)</b>		
<b>A</b>	<b>Resultaten stabiliteitsberekeningen Toetsing (Deltares Rapport met kenmerk CO-373460 zie [2])</b>	<b>A-1</b>
A.1	Profiel 26.2+75m	A-1
A.2	Profiel 29.0+85m	A-2
A.3	Profiel 27.5+06m	A-3
A.4	Profiel 29.4+65m	A-4
A.5	Profiel 30.80m	A-5
A.6	Profiel 31.4+62m	A-6
A.7	Profiel 33.4+62m	A-7
A.8	Profiel 33.9+65m	A-8
A.9	Profiel 36.9+26m	A-9
A.10	Profiel 40.6+37m	A-10

20 mei 2016, concept

A.11 Profiel 42.3+40m	A-11
<b>B Resultaten terreinverkenning HHSK en Deltares, 05-06-2016</b>	<b>B-1</b>
B.1 Verkende dwarsprofielen	B-1
B.2 Km 24.58	B-1
B.3 Km 26.275	B-2
B.4 Km 26.45	B-3
B.5 Km 29.465	B-4
B.6 Km 29.60	B-5
B.7 Km 30.60/30.32	B-6
B.8 Km 31.462	B-6
B.9 Km 31.57 of Km 31.65	B-7
B.10 Km 32.30	B-8
B.11 km 32.45	B-8
B.12 Km 33.26	B-8
B.13 Km 33.462	B-9
B.14 Km 33.965	B-10
B.15 Km 34.20	B-11
B.16 Km 34.30	B-12
B.17 Km 36.80	B-12
B.18 Km 36.926	B-12
B.19 Km 38.087	B-13
B.20 Km 38.413	B-14
B.21 Km 38.50	B-14
B.22 Km 40.637 / 40.55	B-14
B.23 Km 42.34 (voorland)	B-16
<b>C Grafische samenvatting keuze dwarsprofielen</b>	<b>C-1</b>
<b>D Principe D-Geostability met capillaire zone</b>	<b>D-1</b>
<b>E Resultaten Macrostabieliteit binnentalud</b>	<b>E-1</b>

## 1 Inleiding

### **Algemeen**

Het Project Overstijgende Verkenning Macrostabieleit (POVM) heeft ten doel nieuwe ontwikkelingen in het versterken van dijken te ondersteunen en waar nodig verder te ontwikkelen. Een belangrijke factor in het ontwerpen van een dijkversterking is het omgaan met onzekerheden in de sterkte-eigenschappen van de ondergrond en het dijklichaam.

Doel van het POVM-onderzoek 'Beter benutten actuele sterkte' is om de bestaande rekentechnieken verder te ontwikkelen in combinatie met gerichte monitoring, zodat er met minder onzekerheden ontworpen kan worden. Hierdoor is er kans op verkleining van de versterkingsopgave, dan wel het beperken van de versterkingsmaatregel. Met deze verder te ontwikkelen werkwijze wordt meer recht gedaan aan de werkelijke sterkte van dijken. Dit betekent bijvoorbeeld dat de dikte en lengte van de steunberm of de zwaarte van constructies als damwanden en diepwanden kan worden gereduceerd, en de kans bestaat dat voor delen van deze dijken versterking kan worden voorkomen.

Binnen het HWBP zijn te versterken dijken opgenomen die in het verleden belastingen (denkende aan o.a. hoge buitenwaterstanden) hebben weerstaan hoger dan of vergelijkbaar met de ontwerpbelastingen (ontwerp waterstanden) waarop die dijken dienen te worden ontworpen. Hoewel een dijk zodanig moet worden ontworpen dat de ontwerpbelasting met voldoende zekerheid kan worden opgenomen, leidt dit soort observaties toch tot de vraag of er bij het ontwerp niet noodgedwongen teveel onzekerheden worden meegenomen. Ook is de vraag of er geen gebruik kan worden gemaakt van het feit dat de dijk bij deze hoge belastingen net onder de ontwerpbelasting in elk geval niet is bezweken.

In de nabije toekomst zullen de normen veranderen (van overschrijdingskans naar overstromingskansbenadering) en er zal hoogstwaarschijnlijk van ongedraineerd materiaal gedrag worden uitgegaan omdat dit het grondgedrag beter beschrijft. Met al ontwikkelde rekentechnieken en nog te ontwikkelen technieken/kennis kan in combinatie met gerichte monitoring (waaronder aanvullend terrein- en labonderzoek en monitoring van de waterspanningen), de actuele sterkte van dijken beter worden bepaald. Door dit voortschrijdende inzicht is de verwachting dat de sterkte ofwel macrostabieleit van deze dijken kan worden opgewaardeerd met het gevolg dat de versterkingsmaatregel van deze dijken aanzienlijk kan worden geoptimaliseerd (scope verkleining) en er zelfs een kans is dat voor delen van de afgetoetste dijkvakken wellicht versterkingen kunnen worden voorkomen.

Het onderzoek zal worden 'gedemonstreerd' aan de hand van een proeftraject binnen de case Hollandse IJssel. Binnen de POV-M zijn een paar referentieprojecten opgenomen die langs de Hollandse IJssel zijn gelegen (zie Hoofdstuk 2). Dit betreft de primaire waterkeringen tussen de Stormvloedkering Hollandsche IJssel (SVK) en de Julianasluis (JS) te Gouda. Deze waterkering wordt hierna aangeduid als IJsseldijk.

Hoewel de te ontwikkelen technieken worden gedemonstreerd aan de hand van de case Hollandse IJssel zal dit onderzoek een werkwijze opleveren waarbij zal worden gestreefd dat deze Nederland-breed toepasbaar is.

### **Proeftraject**

Binnen de POVM wordt dit onderzoek in eerste instantie uitgevoerd voor een beperkt (representatief) deel van een van de referentieprojecten genoemd in Hoofdstuk 2. Dit proeftraject (bestaande uit een aantal te onderzoeken dwarsprofielen) dient zodanig te

worden gekozen dat wordt verwacht dat de activiteiten zoals genoemd in het PvA kunnen worden doorlopen en dat uiteindelijk de kans op verkleining van de versterkingsopgave, dan wel het beperken van de versterkingsmaatregel groot is. Hiermee wordt namelijk beoogd dat de voorgestelde methode snel en effectief wordt onderbouwd. Gedacht aan de volgende dwarsprofielen:

- Dwarsprofielen waar het (vermeende) doorpersen van de ondergrond speelt.
- Dwarsprofielen die de situatie van 1953 zonder problemen hebben doorstaan en die nadien niet zijn opgehoogd of versterkt.
- Dwarsprofielen waar in principe de mogelijkheid bestaat een proefbelasting aan te brengen.
- Dwarsprofielen die in voldoende mate toegankelijk zijn voor het uitvoeren van het terreinwerk en de monitoring.

In Hoofdstuk 3 zijn de overwegingen aangegeven om te komen tot deze keuze. In principe worden 3 tot 5 dwarsprofielen gezocht.

Ter bepaling van de keuze van de dwarsprofielen zijn naast archiefonderzoek en bestudering van beschikbare gegevens ook gevoeligheidsanalyses in een aantal dwarsprofielen uitgevoerd voor de macrostabiliteit van het binnentalud. In hoofdstuk 4 is dit weergegeven. Op deze wijze wordt inzicht verkregen in de invloed van de verschillende aspecten (waaronder waterspanningen en parameters), waardoor het duidelijk wordt waar focus- of aandachtspunten bij aanvullend onderzoek (zie activiteit 3, 4 en 5) zouden kunnen liggen. Deze punten kunnen betrekking hebben op bijvoorbeeld de aard en omvang van het grondonderzoek en monitoring van de waterspanningen en het belang van de verkeersbelasting in de bewezen sterkte analyses.

Dit rapport betreft daardoor de onderbouwing van de keuze van het proeftraject (te onderzoeken dwarsprofielen). De conclusies zijn weergegeven in Hoofdstuk 5.

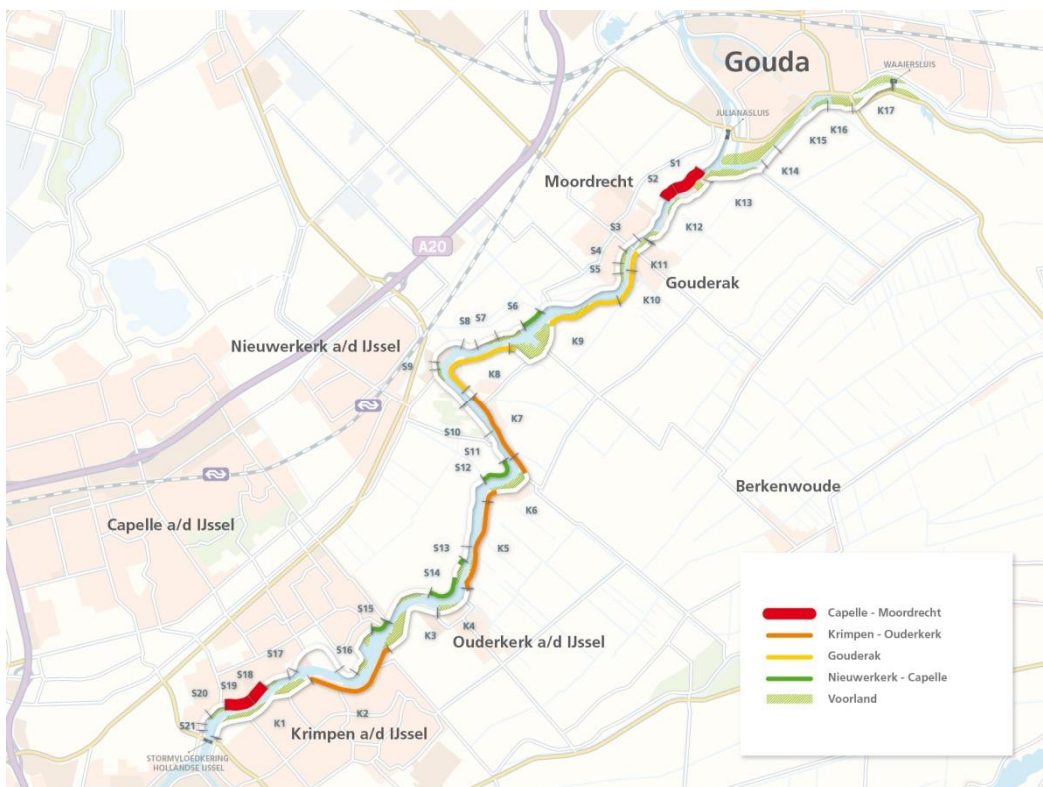
Het onderzoek naar de keuze van de te onderzoeken dwarsprofielen en het uitvoeren van gevoeligheidsanalyses maakt onderdeel uit van activiteit 2 van het project POVM Beter benutten actuele sterkte. De resultaten van de andere activiteiten worden gescheiden gerapporteerd.

## 2 Referentieproject: dijkversterking KIJK langs de Hollandse IJssel

De dijken langs de Hollandse IJssel hebben in het verleden belastingen (denkende aan o.a. hoge buitenwaterstanden in 1953) weerstaan die hoger dan of vergelijkbaar zijn met de ontwerpbelastingen (ontwerp waterstanden) waarop die dijken dienen te worden onderworpen. Zie ook [1].

Uit de toetsing van de waterkeringen blijkt dat een flink aantal trajecten niet voldoet aan de veiligheidseisen. Er is soms zelfs een aanzienlijk sterktekort, terwijl de dijken geen tekenen van instabiliteit vertonen.

Dit soort observaties leidt toch tot de vraag of er bij het ontwerp niet noodgedwongen te veel onzekerheden worden meegenomen. Ook is de vraag of er niet gebruik kan worden gemaakt van het feit dat de dijk bij deze hoge belastingen net onder de ontwerpbelasting in elk geval niet is bezweken (zie figuur 2.1). Navolgend is de problematiek van deze dijken beschreven.



Figuur 2.1 Dijkversterking KIJK langs de Hollandse IJssel in de Krimpenerwaard (oranje en gele deeltrajecten)

In het verleden zijn de dijken langs de Hollandse IJssel door Deltares (voorheen GeoDelft) onderzocht in opdracht van het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard. In totaal betreft het circa 27 km waterkering die is afgekeurd in de LRT2 en LRT3. De in tabel 2.1 weergegeven projecten langs de Hollandse IJssel zijn in het HWBP opgenomen en geprioriteerd en behoren tot het beheergebied van het Hoogheemraadschap van Schieland



en de Krimpenerwaard. Deze projecten zijn samengevoegd tot het dijkversterkingsproject genaamd KIJK (Krachtige IJsseldijken Krimpenerwaard).

Dijkvak	Lengte Km	Riviertak	Beheerder	HWBP Projectnr.
Gouderak *	3,5	Hollandsche IJssel	HH van Schieland en de Krimpenerwaard	06C
Ouderkerk-Krimpen *	5	Hollandsche IJssel	HH van Schieland en de Krimpenerwaard	06B
Gouda	3,8	Hollandsche IJssel	HH van Rijnland	05C

Tabel 2.1 Referentieprojecten POVM.

Bij hoogwater wordt het achterland beschermd door de Stormvloedkering aan de monding van de Hollandse IJssel en door de achterliggende dijken. Ook als de Stormvloedkering is gesloten moeten de dijken hoge waterstanden kunnen keren, omdat er dan veel water vanuit de diepe polders op de Hollandse IJssel wordt uitgemalen. Bovendien is de actuele faalkans van de stormvloedkering veel groter dan de norm van de achterliggende C-keringen.

Het betreft zowel de dijken aan de zijde van de Krimpenerwaard als aan de zijde van Schieland. De binnen- en buitentaluds van deze over het algemeen groene dijken zonder constructies zijn vrij steil (steiler dan 1:3 en plaatselijk ook wel steiler dan 1:2). Over de gehele lengte van de dijk ligt een weg op de kruin. Langs de primaire kering in de Krimpenerwaard liggen een aantal dorpskernen en is daartussen binnendijks langs nagenoeg het gehele traject lintbebouwing aanwezig die in een aantal gevallen tot in het talud gefundeerd is (zie figuur 2.2). Dijkversterking is gezien de bebouwing niet eenvoudig. Buitendijks, op de voorlanden, is ook bebouwing aanwezig, veelal bedrijven, zij het niet langs het gehele traject.

Langs de primaire kering aan de Schielandse zijde zijn ook een paar dorpskernen aanwezig bij Capelle en Moordrecht. De bebouwing is minder intensief dan in de Krimpenerwaard en bevindt zich over het algemeen niet in het talud. Binnendijks is daar circa 50% van het traject bebouwd. De bebouwing bevindt zich over het algemeen wat verder van de binnenteen in vergelijking met de Krimpenerwaardse zijde. Omdat binnendijks minder bebouwing aanwezig is dan in de Krimpenerwaard, is het treffen van versterkingsmaatregelen op die betreffende locaties veel eenvoudiger te realiseren.

Opvallend is ook dat binnendijkse sloten aan de zijde van Schieland over het algemeen parallel aan dijk zijn gelegen terwijl dat in de Krimpenerwaard vooral loodrecht op de dijk is. Voor beide dijken geldt dat op een aantal locaties voorland aanwezig is veelal hoger dan het ontwerppeil. De stukken voorland hoger dan MHW met een breedte > 25 m zijn niet opgenomen in het project KIJK, maar zijn in een groot aantal gevallen wel afgetoetst in de derde toetsronde.



Figuur 2.2 Veel bebouwing, vooral op binnentalud en binnendijks

In de derde toetsronde heeft het gehele traject tussen Gouderak en Krimpen aan den IJssel het oordeel onvoldoende gekregen. De oranje en gele trajecten (zie Figuur 2.1) hebben qua uitvoering een hogere prioriteit waardoor ze in het HWBP programma om te starten zijn opgenomen.

Resultaten toetsing IJsseldijken aan Krimpenerwaard zijde (3<sup>e</sup> toetsronde):

- **Hoogte:**  
De dijk is bij de huidige toetsrandvoorwaarden hoog genoeg. Op basis van de nieuwe hydraulische ontwerp randvoorwaarden blijkt de dijk niet hoog genoeg.
- **Macrostabiliteit binnenwaarts:**  
Bij de 3<sup>e</sup> toetsronde is een groot deel van deze dijken afgekeurd op het faalmechanisme macrostabiliteit van het binnentalud. De berekende stabiliteitsfactoren zijn voor meer dan 50% van de betreffende dijken lager dan 1,0 terwijl de norm 1,17 is (Overschrijdingskansnorm). Dit is uiteraard gebaseerd op het rekenen met gedraineerde sterkteparameters (Mohr-Coulomb). Verwacht mag worden dat een aanvullend grondonderzoek en/of het verder verfijnen van de toetsing met reguliere methoden hier niet zal leiden tot goedkeuring van een substantieel gedeelte van de IJsseldijk. Ook wordt niet verwacht dat met het rekenen met ongedraineerd materiaalgedrag (WTI2017) tot goedkeuring zal worden gekomen. Het opwaarderen van de sterkte door het maken van een nieuwe proevenverzameling van gedraineerde sterkteparameters voor dijksmateriaal bestaande uit triaxiaalproeven heeft in het verleden slechts tot geringe (0 - 4 %) verbetering van het toetsresultaat geleid.  
Uitgaande van een dijkkringbenadering in plaats van de dijkvakbenadering was er sprake van een geringe normverlaging. Dit leidde niet tot een substantiële verandering in het toetsresultaat.
- **Piping en Heave:**  
Piping en Heave is in het kader van de toetsing eerder onderzocht waaruit een toetsresultaat 'goed' volgde. De analyse is gebaseerd op de regel van Bligh bij een opdrijf criterium van 1,20. Nader onderzoek met de nieuwe piping-regel zal waarschijnlijk onnodig zijn gezien het feit dat het opdrijf criterium ruimschoots zal worden gehaald. Alleen in de directe omgeving van de Algera-kering zal mogelijk niet aan het opdrijf criterium worden voldaan. Ook als niet aan het opdrijf criterium wordt voldaan zullen piping en heave, gezien de grote dikte van het pakket slappe lagen, vermoedelijk kunnen worden uitgesloten. Zie hiervoor de uitgevoerde consequentieanalyse [4]. Opgemerkt wordt dat een eventuele lokaal benodigde maatregel zodanig zou kunnen worden ontworpen dat overige faalmechanismen (met name macrostabiliteit van het binnentalud) hierdoor niet nadelig worden beïnvloed.
- **Macrostabiliteit buitenwaarts, Microstabiliteit en Stabiliteit of afschuiving voorland:**  
Deze faalmechanismen zijn (nog) niet getoetst. Verwachting is dat deze faalmechanismen op bepaalde locaties onvoldoende zijn. Ook hiervoor wordt opgemerkt dat een eventuele maatregel beperkt kan zijn en zodanig kan worden ontworpen dat het faalmechanisme macrostabiliteit van het binnentalud hierdoor niet nadelig wordt beïnvloed.
- **Instabiliteit van de bekleding:**  
De aanwezige steenbekledingen zijn getoetst in 2004. Uit het concept-rapport van GeoDelft 'Toetsen steenbekledingen Krimpenerwaard' [5], volgt dat de eindscore van de toetsing wordt bepaald aan de hand van de scores voor de toets op afschuiving, materiaaltransport en stabiliteit van de toplaag. De eindscore is 'goed' voor alle bekledingen. Bij het bepalen van de eindscores is gebruik gemaakt van ofwel conservatieve schattingen voor de golfhoogte en golfperiode, ofwel geoptimaliseerde waarden daarvan.

Er kan daarom geen definitieve score worden gegeven tot hier officiële waarden voor zijn vastgesteld (opgemerkt wordt dat dit nog nader dient te worden bevestigd). In de tussentijd is de conclusie gerechtvaardigd dat de stabiliteit van de steenbekledingen in de Krimpenerwaard waarschijnlijk geen probleem vormen. De grasbekledingen zijn ook getoetst in 2004. In het rapport van GeoDelft 'Toetsing grasmat Krimpenerwaard' [6], is de erosiebestendigheid van de graszode is voor 25 locaties langs de Lek en de Hollandse IJssel beoordeeld. Hiervoor zijn op grove wijze golftrandvoorwaarden bepaald. Uit de beoordeling volgt dat circa 75% van de locaties geen oordeel 'goed' of 'voldoende' krijgt. Vooral erosie door golfklappen blijkt kritiek. Het verbeteren van de kwaliteit van de zode, door bijvoorbeeld het aanpassen van het beheer is effectief. Indien alle locaties een goede graszode zouden hebben, dan zou nog circa 40% van de locaties geen oordeel 'goed' of 'voldoende' krijgen (opgemerkt wordt dat dit nog nader dient te worden bevestigd). Dit betekent onvoldoende of geen oordeel (nader onderzoek). Ook hiervoor wordt opgemerkt dat een eventuele maatregel beperkt kan zijn en zodanig kan worden ontworpen dat het faalmechanismen macrostabiliteit van het binnentalud hierdoor niet nadelig wordt beïnvloed.

- Zettingsvloeiing:  
Dit faalmechanisme is voor de betreffende dijken niet van toepassing.

Versterken van de IJsseldijken is zeer gecompliceerd. Langs de primaire kering in de Krimpenerwaard liggen een aantal dorpskernen en is daartussen binnendijks langs nagenoeg het gehele traject lintbebouwing aanwezig. Dijkversterking in grond dat de voorkeur heeft (duurzaam, uitbreidbaar en meestal kosten-efficiënt) is daardoor lastig realiseerbaar met behoud van de bebouwing.

## 3 Overwegingen en keuze proeftraject

### 3.1 Algemeen

Het onderzoek 'Beter benutten actuele sterkte' zal worden gedemonstreerd aan de hand van enkele dwarsprofielen (representatief voor een bepaald dijktraject) van de case Hollandse IJssel. Ten behoeve van het onderzoek zullen slechts enkele dwarsprofielen worden onderzocht waarmee de werkwijze (actuele sterkte technieken) goed kan worden gedemonstreerd. De keuze van de dwarsprofielen dient zodanig te gebeuren dat de kans op succes (scopeverkleining of verminderen versterkingsmaatregel) zo groot mogelijk wordt geacht. In paragraaf 3.2 zijn de overwegingen aangegeven om te komen tot deze keuze. In principe worden 3 tot 5 dwarsprofielen onderzocht.

### 3.2 Overwegingen te onderzoeken dwarsprofielen

Aanbevolen is om dit onderzoek in eerste instantie uit te voeren voor een beperkt (representatief) deel van de dijken langs de Hollandse IJssel in de Krimpenerwaard. Dit proeftraject (bestaande uit een aantal te onderzoeken dwarsprofielen) dient zodanig te worden gekozen dat wordt verwacht dat de activiteiten zoals genoemd in het PvA kunnen worden doorlopen en dat uiteindelijk de kans op verkleining van de versterkingsopgave, dan wel het beperken van de versterkingsmaatregel groot is. Hiermee wordt namelijk beoogd dat de voorgestelde methode snel en effectief wordt onderbouwd.

Hierbij wordt o.a. gedacht aan de volgende dwarsprofielen:

- Dwarsprofielen waar het (vermeende) doorpersen van de ondergrond speelt.
- Dwarsprofielen die de situatie van 1953 zonder problemen hebben doorstaan en die nadien niet zijn opgehoogd of versterkt.
- Dwarsprofielen waar in principe de mogelijkheid bestaat een proefbelasting aan te brengen.
- Dwarsprofielen die in voldoende mate toegankelijk zijn voor het uitvoeren van het terreinwerk en de monitoring.

Daarnaast wordt ook rekening gehouden met de in het recente verleden uitgevoerde prioritering van de dijkvakken o.a. op basis van het aanwezige veiligheidstekort (zie [3]).

In de volgende sub paragrafen zijn de diverse overwegingen weergegeven.

#### 3.2.1 Prioritering, clustering en fasering dijkversterking Hollandsche IJssel

In rapport [3] is de prioritering van de te versterken dijkvakken aangegeven. Belangrijke informatie hieruit is het aangegeven veiligheidstekort. Dit is in Tabel 3.1 weergegeven in oranje gemarkeerde velden. Voor de betekenis van overige symbolen wordt verwezen naar [3].

Tabel 4: Prioriteitenlijst geclusterd

sheet nr.	vaknaam	stabiliteit binnenwaarts	stabiliteit buitenwaarts	stabiliteit voorland	Subtotaal veiligheidstekort	hoog voorland/achterland	Criterion veiligheidstekort	schade	Criterion gevolgen	grondplossing	damwand	diepwand	Criterion versterkingswijze	grondvererving & onteigening	cultuurhistorie & archeologie	natuur & riviercompensatie	kabels/leidingen & bouw hinder	Criterion omgeving	Prioriteitscore	Prioriteitsklasse	kosten principeplossing [M€]	cluster
S-15	Capelle, Groenendijk thv Zuiderbreedte	3,8	5	3	11,8	1,0	11,8	20,0	20,0	10,0	-	-	10,0	3	4	3	2	12	53,8	2	5,0	1
S-16	Capelle, Groenendijk thv Paradijsseelpark	-	5	3	8,0	1,0	8,0	20,0	20,0	-	3,0	-	3,0	4	4	2	1	11	42,0	3	3,1	1
S-17	Capelle, Dorpstraat bij Kerklaan	-	5	3	8,0	1,0	8,0	20,0	20,0	-	3,0	-	3,0	4	2	3	-	9	40,0	3	1,4	1
S-18	Capelle, Dorpstraat langs Vuykpark	43,2	5	3	51,2	0,5	25,6	20,0	20,0	-	-	1,0	1,0	4	2	3	-	9	55,6	2	8,9	1
S-19	Capelle, Dorpstraat thv Plantsoenstraat/IJsselzoom	43,2	5	3	51,2	1,0	51,2	20,0	20,0	-	2,0	0,4	2,3	3	-	3	-	6	79,5	1	9,0	1
S-20	Capelle, Kelensedijk, IJsselzoom vooroever	43,2	3	3	49,2	0,1	4,9	20,0	20,0	10,0	-	-	10,0	3	1	3	1	8	42,9	3	1,6	1
S-21	Capella, Kelensedijk, noord van Algerbrug	-	5	3	8,0	1,0	8,0	20,0	20,0	10,0	-	-	10,0	3	2	3	1	9	47,0	3	1,0	1
K-5	Ouderkerk, IJsseldijk Noord tegenover Groot Hilland	34,3	3	2	39,3	1,0	39,3	8,1	8,1	-	3,0	-	3,0	3	-	3	-	6	56,4	2	29,3	2
K-6	Ouderkerk, IJsseldijk Noord langs Heuvelman Hou	47,0	3	2	52,0	1,0	52,0	8,1	8,1	-	3,0	-	3,0	3	2	3	-	8	71,1	1	27,1	2
K-7	Ouderkerk, IJsseldijk Noord thv Lage Weg	25,4	3	2	30,4	1,0	30,4	6,7	6,7	-	3,0	-	3,0	3	2	2	-	7	47,1	3	22,2	2
K-8	Ouderkerk, IJsseldijk Noord tegenover Kortenoord	24,1	3	2	29,1	1,0	29,1	6,7	6,7	-	1,5	0,5	2,0	3	2	3	-	8	45,9	3	30,7	3
K-9	Gouderak, Kattendijk zuid en midden	40,6	3	2	45,6	1,0	45,6	5,4	5,4	-	3,0	-	3,0	3	2	2	-	7	61,0	1	45,8	3
K-10	Gouderak, Kattendijk noord	40,6	3	2	45,6	1,0	45,6	5,4	5,4	-	3,0	-	3,0	3	2	2	-	7	61,0	1	9,7	3
K-11	Gouderak, Dorpstraat	40,6	3	2	45,6	1,0	45,6	5,4	5,4	-	-	1,0	1,0	4	1	3	-	8	60,0	1	14,5	3
S-1	Moordrecht, Hoge Zeedijk Oost, zonder vooroever	21,6	-	3	24,6	1,0	24,6	16,0	16,0	10,0	-	-	10,0	3	2	2	2	9	59,6	1	3,3	4
S-2	Moordrecht, Hoge Zeedijk Oost, met vooroever	2,5	-	-	2,5	1,0	2,5	16,0	16,0	10,0	-	-	10,0	3	4	2	2	11	39,5	3	0,9	4
S-3	Moordrecht, dorpsstraat	7,6	1	3	11,6	1,0	11,6	16,0	16,0	-	-	1,0	1,0	4	1	3	-	8	36,6	4	8,7	4
S-4	Moordrecht, Westeinde langs gemeentehuis	21,6	3	-	24,6	0,1	2,5	16,0	16,0	10,0	-	-	10,0	3	1	3	1	8	36,5	4	3,1	4
S-5	Moordrecht, Westeinde lange Emmastraat	21,6	3	-	24,6	0,1	2,5	16,0	16,0	-	3,0	-	3,0	3	2	3	-	8	29,5	4	1,7	4
S-6	Moordrecht, Balkengat, zuid van Boezembrug	21,6	1	-	22,6	1,0	22,6	16,0	16,0	10,0	-	-	10,0	3	2	2	2	9	57,6	2	1,0	4
S-10	Klein Hilland, noord, zonder vooroever	5,1	-	1	6,1	1,0	6,1	16,0	16,0	10,0	-	-	10,0	3	2	2	2	9	41,1	3	1,9	5
S-11	Klein Hilland, centrum, grotendeels vooroever	5,1	3	3	11,1	1,0	11,1	16,0	16,0	-	2,4	0,2	2,6	4	2	2	-	8	37,7	4	8,2	5
S-12	Klein Hilland, zuid, rondom de bocht	15,2	5	3	23,2	1,0	23,2	16,0	16,0	9,0	0,3	-	9,3	3	2	2	2	9	57,5	2	8,3	5
S-13	Groot Hilland, noord, zonder vooroever	-	5	3	8,0	1,0	8,0	16,0	16,0	-	3,0	-	3,0	3	2	3	1	9	36,0	4	5,5	5
S-14	Groot Hilland, zuid, grotendeels vooroever	15,2	5	3	23,2	1,0	23,2	16,0	16,0	5,0	-	0,5	5,5	3	2	3	-	8	52,7	2	12,6	5
K-1	Krimpen, Algerbrug t/m Trimbaanpark	21,6	3	2	26,6	0,5	13,3	9,0	9,0	-	-	1,0	1,0	4	1	3	-	8	31,3	4	49,0	6
K-2	Krimpen, Trimbaanpark t/m Breekade	29,2	3	2	34,2	1,0	34,2	9,0	9,0	-	-	1,0	1,0	4	2	3	-	9	53,2	3	41,8	6
K-3	Ouderkerk, IJsseldijk West	15,2	3	2	20,2	0,5	10,1	9,0	9,0	-	3,0	-	3,0	3	2	3	-	8	30,1	4	24,8	6
K-4	Ouderkerk, Dorpsstraat plus deel IJsseldijk Noord	21,6	3	2	26,6	1,0	26,6	8,1	8,1	-	-	1,0	1,0	4	-	3	-	7	42,7	3	22,0	6
S-7	Kortenoord, langs loekade Schep BV	3,8	3	1	7,8	0,1	0,8	16,0	16,0	10,0	-	-	10,0	3	2	3	2	10	36,8	4	1,6	7
S-8	Kortenoord, zonder vooroever	-	5	3	8,0	1,0	8,0	16,0	16,0	10,0	-	-	10,0	3	2	3	1	9	43,0	3	5,9	7
S-9	Kortenoord, bij molen Windlust	-	5	3	8,0	1,0	8,0	16,0	16,0	-	-	1,0	1,0	4	1	3	-	8	33,0	4	1,4	7
K-12	Gouderak, wiel tot Middelblok	16,5	3	2	21,5	1,0	21,5	5,4	5,4	-	3,0	-	3,0	3	2	3	-	8	37,9	4	25,4	8
K-13	Gouderak, Middelblok tot Vaerstalblok	16,5	3	2	21,5	0,1	2,2	5,4	5,4	-	3,0	-	3,0	3	2	3	-	8	18,5	4	17,3	8
K-14	Gouderak, Vaerstalblok	8,9	3	2	13,9	1,0	13,9	4,5	4,5	10,0	-	-	10,0	3	1	2	2	8	36,4	4	1,0	8
K-15	Gouderaksedijk tot Stolwijkerluis	8,9	3	2	13,9	1,0	13,9	4,5	4,5	-	-	1,0	1,0	4	1	3	-	8	27,4	4	26,4	8
K-16	Stolwijkerluis tot Schoonhovenseweg	16,5	3	2	21,5	1,0	21,5	4,5	4,5	-	-	1,0	1,0	4	1	3	-	8	35,0	4	6,9	8
K-17	Schoonhovenseweg tot Waaijersluis	27,9	3	2	32,9	0,1	3,3	4,5	4,5	8,0	0,6	-	8,6	3	1	3	-	7	23,4	4	7,6	8

Tabel 3.1 Criterion veiligheidstekort (oranje gemarkeerd) en prioritering (roze gemarkeerd) dijkversterking Hollandse IJssel.

Uit het onderzoek volgt dat de hoogste prioriteit ligt bij de vakken aan de Krimpenerwaardse zijde. Hiermee is door HHSK uiteindelijk geconcludeerd welke vakken onder project KIIK vallen. Deze zijn ook weergegeven in bijlage C.

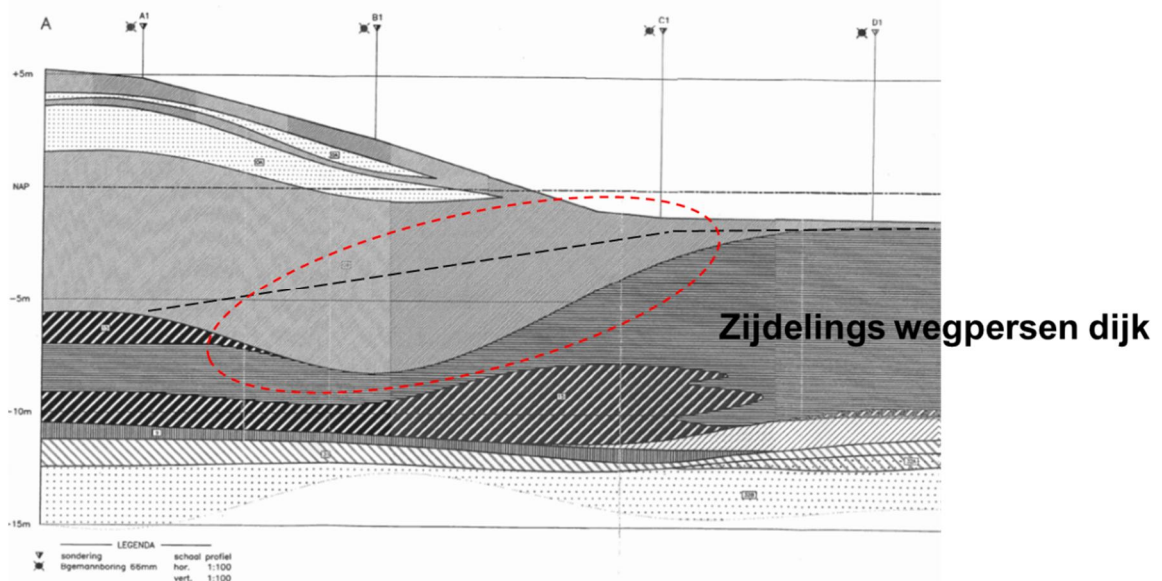
Ter verduidelijking is in Tabel 3.2 de vakindeling aangegeven van de diverse vakken langs de Hollandse IJssel in de Krimpenerwaard met kilometrering zoals deze is gebruikt tijdens de Toetsing.

K1	23.8	25.58	Krimpen, Algerabrug t/m Trimbaanpark
K2	25.58	27.24	Krimpen, Trimbaanpark t/m Breekade
K3	27.24	28.36	Ouderkerk, IJsseldijk West
K4	28.35	29.07	Ouderkerk, Dorpstraat plus deel IJsseldijk Noord
K5	29.07	30.47	Ouderkerk, IJsseldijk Noord, tegenover Groot Hitland
K6	30.47	31.7	Ouderkerk, IJsseldijk Noord, langs Heuvelman Hout
K7	31.7	32.8	Ouderkerk, IJsseldijk Noord, thv Lage Weg
K8	33	34.4	Ouderkerk, IJsseldijk Noord, tegenover Kortenoord
K9	34.4	36.65	Gouderak, Kattendijk zuid en midden
K10	36.65	37.15	Gouderak, Kattendijk noord
K11	37.15	37.78	Gouderak, Dorpstraat
K12	37.78	39.2	Gouderak, wiel tot Middelblok
K13	39.2	40.15	Gouderak, Middelblok tot Veerstablok
K14	40.15	40.45	Gouderak, Veerstablok
K15	40.45	41.6	Gouderaksedijk tot Stolwijkersluis
K16	41.6	41.9	Stolwijkersluis tot Schoonhovenseweg
K17	41.9	42.73	Schoonhovenseweg tot Waaijersluis

Tabel 3.2 Vakindeling Toetsing dijkvakken langs Hollandse IJssel in de Krimpenerwaard.

### 3.2.2 Vermeende zijdelings wegpersen

Het zijdelings wegpersen van de ondergrond is destijds vastgesteld voor een locatie langs de Lekdijk (zie met rode stippellijn omgeven gebied in Figuur 3.1).



Figuur 3.1 Geotechnisch dwarsprofiel Lekdijk in de Krimpenerwaard.

Het is nog niet geheel duidelijk door welke effecten dit vermeende wegpersen is veroorzaakt. Vermoedelijk een combinatie van squeezing en zetting. Figuur 3.1 geeft de ondergrond die is geïnterpreteerd op basis van uitgevoerd terreinonderzoek. Waar het hier om gaat is dat de ondergrond (en mogelijk ook de sterkte en stijfheidsparameters) er door dergelijke effecten anders uitziet dan je op basis van terreinonderzoek, alleen uitgevoerd in de teen en in de kruin zou denken.

Op dit moment is dit wegpersen nog niet vastgesteld bij de Hollandse IJsseldijken in de Krimpenerwaard. Dit zal mogelijk uit het onderzoek in de gekozen dwarsprofielen volgen.

### 3.2.3 Locaties reeds beschikbare peilbuizen en waterspanningsmeters.

In het kader van de toetsing zijn destijds in 5 dwarsprofielen waterspanningsmeters en peilbuizen geplaatst. Voor de keuze van de te onderzoeken dwarsprofielen is het zinvol om deze locaties, indien mogelijk, te laten samenvallen. In bijlage C is dit samengevat:

- 2 peilbuizen Dp 24.9+25m.
- 2 peilbuizen Dp 26.2+00m.
- 2 peilbuizen in Dp 28.9+00m.
- 3 PR- waterspanningsmeters Dp 25.0+00m.
- 3 PR- waterspanningsmeters in Dp 26.3+00m.

Daarnaast zijn in voorbereiding op de dijkversterkingen langs de Hollandse IJssel in 2014 door Fugro waterspanningsmeters en peilbuizen geplaatst en gemeten (2 dwp's in Krimpenerwaard). In bijlage C zijn deze locaties aangegeven.

### 3.2.4 Opdrijven van het pakket slappe lagen

Opdrijven is mogelijk aan de orde van Dp 23.6+50 – 30.3+00. Zie de geel gearceerde waarden in onderstaande tabel uit rapport CO-373460-280. Opgemerkt wordt dat de stijghoogten bij Toetspeil van NAP -1.50m destijds erg veilig zijn berekend/ingeschat (mondelijke informatie Helle Larsen). Uitgaand van een stijghoogte van NAP -2.0m, wordt waarschijnlijk een oprijfveiligheid van 1.2 of hoger berekend.

Het is zinvol om een dwarsprofiel binnen een paar km vanaf SVK te kiezen (bv 26.275, 26.45 of 29.0+85m) i.v.m. het feit dat opdrijven daar mogelijk wel een rol speelt. Vermoeden is dat ook daar het bewezen sterkte onderzoek succesvol zal zijn, zij het in mindere mate dan in de andere dwarsprofielen.

Vak	Som	Profiel	Freatische lijn in de kruin	MHW	PP	Stijghoogte pleistoceen		Kruinsondering	Teensondering	DTH	Maaiveld
						GHW	MHW				
T U	24,1+08	77.01	1.20	2.70	-2.10	-0.90	0.20	T11	T04	3.45	-1.60
	24,5+58	78.01	2.70	2.70	-1.48	-2.30	-1.50	T12	U02	3.15	-1.00
	26,2+75	82.01	1.20	2.70	-2.20	-2.30	-1.50	U30	U09	3.70	-1.70
	27,5+06	85.01	2.70	2.70	-2.00	-2.30	-1.50	U31	U13	3.25	-1.40
	29,0+85	89.01	1.20	2.70	-2.30	-3.10	-2.50	U33	U25	3.90	-1.70
	29,4+65	90.01	1.35	2.85	-2.00	-3.10	-2.45	U33	U27	3.30	-1.50

V W X Y	30,9+73 (- sloot)	93.01	1.25	2.75	-2.25	-4.00	-4.00	W01	W16	3.35	-1.72
	30,9+73 (+ sloot)	93.01	1.25	2.75	-2.25	-4.00	-4.00	W01	W16	3.35	-1.72
	31,4+31	94.01	1.30	2.80	-2.58	-4.00	-4.00	DKM 2	W17	4.05	-2.05
	33,4+62	97.01	1.30	2.80	-2.58	-4.00	-4.00	W10	W19	4.05	-2.05
	33,4+62	97.01	1.30	2.80	-2.58	-4.00	-4.00	W12	W19	3.45	-0.62
	33,9+65	98.01	1.35	2.85	-2.58	-4.00	-4.00	26	W20	3.70	-2.21
	33,9+65	98.01	1.30	2.80	-2.55	-4.00	-4.00	Y01	Y04	3.40	-1.92
	35,6+37	101.01	1.40	2.90	-2.55	-4.00	-4.00	Y05	Y17	3.35	-1.72
	36,9+26	103.01	1.45	2.95	-2.55	-4.00	-4.00	Y11	Y19	4.25	-2.30
Z	37,6+00	105.02	1.50	3.00	-1.92	-4.00	-4.00	ZK1	Z04	3.55	-1.90
	38,0+87	105.02	1.50	3.00	-1.92	-4.00	-4.00	ZK1	39	3.55	-1.90
	38,4+13	106.01	1.50	3.00	-2.11	-4.00	-4.00	ZK2	Z10	3.65	-1.86
	39,7+71	107.01	1.50	3.00	-2.11	-4.00	-4.00	ZK2	Z15	3.65	-1.90
	40,6+37	108.01	1.50	3.00	-1.95	-4.00	-4.00	ZK3	49	3.65	-1.80
	41,4+66	109.01	1.50	3.00	-1.95	-4.00	-4.00	ZK4	Z22	3.65	-1.61
	42,4+00	109.01	1.50	3.00	-1.95	-4.00	-4.00	ZK5	55	3.65	-1.61
42,3+40	110.01	1.50	3.00	-2.00	-4.00	-4.00	ZK6	Z28	3.65	-2.00	

Tabel 3.3 Uitgangspunten berekeningen (overgenomen uit [2]).

### 3.2.5 Reeds uitgevoerde macrostabiliteit analyses binnentalud

Voor macrostabiliteit van het binnentalud is in het eerdergenoemde toetsrapport een indeling in vakken gemaakt (Zie ook paragraaf 3.2.1). Hierbij wordt opgemerkt:

Per vak is het representatief/maatgevende dwarsprofiel in Tabel 3.3 weergegeven. Conform LOR-2 is op basis van het uitgevoerde grondonderzoek en geometrie een indeling in vakken gemaakt. Hierbinnen is een maatgevende dwp gecombineerd met het maatgevende ondergrond.

- Mate van stabiliteit: N.a.v. het overleg d.d.12-05-2015 bij HHSK lijkt het zinvol om niet alleen de relatief slechte dwarsprofielen te beschouwen behorende tot KIJK, maar ook één of enkele dwarsprofielen daarbuiten (opm. Rob Taffijn). In het toetsrapport 373460-280 staat overigens op blz. 22 dat ook hier met actuele sterkte mogelijk winst kan worden verwacht (stabiliteitsresultaten zie blz. 17 en 21).
- Het is zinvol om een dwarsprofiel te kiezen voor het actuele sterkteonderzoek dat al eerder is berekend/onderzocht. De berekende (maatgevende) stabiliteitsfactor is dus van belang. Hieruit kunnen dwarsprofielen worden gekozen waar de stabiliteitsfactor hoog ligt en iets lager, dus hoog 1.11(bijvoorbeeld) en lager 1.02 (bijvoorbeeld). Daarnaast is het van belang te kijken of het ondiepe glijvlakken betreft en glijvlakken die intreden in de buurt van de binnenkruinlijn. Deze glijvlakken worden zo min mogelijk beïnvloed door veranderingen van stijghoogte in zand respectievelijk het freatisch vlak en hebben dus een grotere kans op succes in het actuele sterkteonderzoek.



Vak	Traject			Maatgevend profiel	Bestandsnaam *.sti	Opdrijf factor	Model:	Pseu do	Veiligheid		Status	
	Van	-	tot						zone 1	zone 2	profiel	Overall
T U	23,6+50	-	24,3+00	24,1+08	24,1+08 bishop a	<1,2	Bishop	Nee	1,07	1,18	twijfelachtig	twijfelachtig
					24,1+08 bishop b		Bishop	Ja	1,10	1,23	twijfelachtig	
					24,1+08 LiftVan a		LiftVan	Nee	1,48	>2	Voldoet	
	24,3+00	-	26,1+00	24,5+58	24,5+58 Bishop a	<1,2	Bishop	Nee	1,00	1,01	twijfelachtig	twijfelachtig
					24,5+58 Bishop b		Bishop	Ja	1,01	1,01	twijfelachtig	
					24,5+58 LiftVan a		LiftVan	Nee	1,64	>2	Voldoet	
	26,1+00	-	26,4+00	26,2+75	26,2+75 Bishop a	<1,2	Bishop	Nee	0,94	1,30	twijfelachtig	twijfelachtig
					26,2+75 Bishop b		Bishop	Ja	0,99	1,37	twijfelachtig	
					26,2+75 LiftVan a		LiftVan	Nee	1,23	>2	Voldoet	
	26,4+00	-	27,6+00	27,5+06	27,5+06 Bishop a	<1,2	Bishop	Nee	1,07	1,10	twijfelachtig	twijfelachtig
					27,5+06 Bishop b		Bishop	Ja	1,08	1,11	twijfelachtig	
					27,5+06 LiftVan a		LiftVan	Nee	1,47	>2	Voldoet	
	27,6+00	-	29,1+00	29,0+85	29,0+85 Bishop a	<1,2	Bishop	Nee	1,05	1,26	twijfelachtig	twijfelachtig
					29,0+85 Bishop b		Bishop	Ja	1,05	1,27	twijfelachtig	
					29,0+85 LiftVan a		LiftVan	Nee	1,55	>2	Voldoet	
	29,1+00	-	30,3+00	29,4+65	29,4+65 Bishop a	<1,2	Bishop	Nee	1,00	1,03	twijfelachtig	twijfelachtig
					29,4+65 Bishop b		Bishop	Ja	1,02	1,03	twijfelachtig	
					29,4+65 LiftVan a		LiftVan	Nee	1,41	>2	Voldoet	
V W X Y	30,3+00	-	30,9+70	30,8+00	30,8+00 Bishop a	1,67	Bishop	Nee	0,90	0,92	twijfelachtig	twijfelachtig
	30,9+80	-	31,3+00		30,8+00 Bishop b	1,67	Bishop	Ja	0,95	0,98	twijfelachtig	twijfelachtig
	30,9+70	-	30,9+80	30,9+73	30,9+73 Bishop a	1,50	Bishop	Nee	0,73	0,69	twijfelachtig	twijfelachtig
					30,9+73 Bishop b		Bishop	Ja	0,77	0,74	twijfelachtig	twijfelachtig
	31,3+00	-	32,8+00	31,4+62	31,4+62 Bishop a	1,74	Bishop	Nee	0,97	1,30	twijfelachtig	twijfelachtig
	32,8+00	-	33,0+00	32,6+67	32,6+67 Bishop a	1,63	Bishop	Nee	1,30	1,79	Voldoet	voldoet
	33,0+00	-	33,6+00	33,4+62	33,4+62 Bishop a	2,05	Bishop	Nee	1,12	1,09	twijfelachtig	twijfelachtig
					33,4+62 Bishop b		Bishop	Ja	1,12	1,09	twijfelachtig	
	33,6+00	-	33,4+50	33,9+65	33,9+65 Bishop a	1,44	Bishop	Nee	0,98	1,16	twijfelachtig	twijfelachtig
					33,9+65 Bishop b		Bishop	Ja	1,02	1,21	twijfelachtig	
	33,4+50	-	35,4+00	35,2+25	35,2+25 Bishop a	1,48	Bishop	Nee	0,86	0,952	twijfelachtig	twijfelachtig
				35,2+25 Bishop b	Bishop		Ja	0,91	1,032	twijfelachtig	twijfelachtig	
	35,4+00	-	35,6+50	35,6+37	35,6+37 Bishop a	1,84	Bishop	Nee	0,89	0,938	twijfelachtig	twijfelachtig
			35,6+37 Bishop b	Bishop	Ja		0,90	0,945	twijfelachtig	twijfelachtig		
35,6+50	-	36,1+00	35,7+30	Wiel						Onvoldoende	Onvoldoende	
36,1+00	-	37,1+00	36,9+26	36,9+26 Bishop a	1,51	Bishop	Nee	0,85	0,93	twijfelachtig	twijfelachtig	
37,1+00	-	37,4+30										
Z	37,4+30	-	37,7+60	37,6+00	37,6+00	1,87	Bishop	Ja	1,08	1,17	twijfelachtig	twijfelachtig
	37,7+60	-	37,8+80	37,8+00	Wiel						Onvoldoende	Onvoldoende
	37,8+80	-	38,1+00	38,0+87	38,0+87	1,87	Bishop	Ja	1,06	1,14	twijfelachtig	twijfelachtig
					38,0+87 geen pseudo		Bishop	Nee	1,11	1,18	twijfelachtig	
	38,1+00	-	39,3+00	38,4+13	38,4+13	1,87	Bishop	Ja	1,04	1,14	twijfelachtig	twijfelachtig
	39,3+00	-	40,0+00	39,7+71	39,7+71	1,92	Bishop	Ja	1,15	1,25	twijfelachtig	twijfelachtig
					39,7+71 geen pseudo		Bishop	Nee	1,11	1,21	twijfelachtig	
	40,0+00	-	40,8+00	40,6+37	40,6+37	1,92	Bishop	Ja	1,16	1,26	twijfelachtig	twijfelachtig
					40,6+37 geen pseudo		Bishop	Nee	1,10	1,27	twijfelachtig	
40,8+00	-	41,8+00	41,4+66	41,4+66	1,77	Bishop	Ja	1,14	1,32	twijfelachtig	twijfelachtig	
				41,4+66 geen pseudo		Bishop	Nee	1,11	1,22	twijfelachtig		
41,8+00	-	42,1+00	42,4+00	42,0+00	1,26	Bishop	Ja	1,06	1,13	twijfelachtig	twijfelachtig	
				42,0+00 geen pseudo		Bishop	Nee	1,04	1,13	twijfelachtig		
42,1+00	-	42,8+50	42,3+40	42,3+40	1,32	Bishop	Ja	0,95	1,06	twijfelachtig	twijfelachtig	

Tabel 3.4 Resultaten stabiliteitsberekeningen fase 1 en 2 (overgenomen uit CO-373460-280). De groen gearceerde waarden zijn de maatgevend.

Voor een aantal dwarsprofielen zijn de maatgevende berekeningsresultaten uit Tabel 3.4 grafisch weergegeven in bijlage A. Daarbij wordt vooral ingegaan op diepte glijvlak, intredepunt glijvlak ten opzichte van de binnenkruinlijn en opbouw van de dijkskern (zand of klei).

### 3.2.6 Aanwezigheid voorland

De voorlandgedeelten binnen dijkversterking KIJK zijn door HHSK en HWBP vooralsnog op een lagere prioriteit gesteld. Voorlanden met een hoogte hoger dan MHW en een breedte > 25 m worden vooralsnog niet binnen dijkversterking KIJK onderzocht. Hoop/verwachting is dat deze trajecten kunnen worden goedgekeurd door voorlandonderzoek (mogelijk POV-Voorland).

Voor dijkgedeelten met hoog en breed voorland mag worden aangenomen dat het freatisch vlak niet afhankelijk is van de buitenwaterstand. Hierdoor mag voor deze trajecten een hogere kans van slagen worden verwacht van goedkeuren met het BS onderzoek. De keuze voor de te onderzoeken dwarsprofielen valt op schaaldijkprofielen gezien de hypothese (te bewijzen) dat het freatisch vlak door MHW niet verandert.

### 3.2.7 Beschikbaar terreinonderzoek

Dwarsprofielen waar terrein onderzoek al beschikbaar is geeft een voordeel. Dit beperkt de benodigde hoeveelheid extra terreinonderzoek. Belangrijker is echter dat op deze locaties vooraf de ondergrond en het freatisch vlak al enigszins bekend is. Er is al veel onderzoek beschikbaar of gepland:

- Onderzoek uitgevoerd in kader Toetsing (GeoDelft nr. CO-373460). Hiervan zijn geotechnische lengteprofielen beschikbaar van de binnenteen van de dijk.
- Diverse oud onderzoeken t.b.v. dijkreconstructies.
- Onderzoek in voorbereiding voor de dijkversterkingen langs de Hollandse IJssel (zie voorstel Deltares 1208507-000-GEO-0007 d.d. 31 okt 2013). HHSK heeft naar aanleiding hiervan grondonderzoek door Fugro laten uitvoeren. Dit onderzoek is toegestuurd d.d. 8-06-2015.

Uit bovengenoemd onderzoek volgt de opbouw van de bovenste meters dijkskern (met overigens grote onzekerheid gezien de grote h.o.h. afstand tussen de onderzoekspunten). Met name is van belang of de bovenste meters uit doorlatend of ondoorlatend materiaal bestaan (of de aanwezigheid van zandlenzen in de kleikern). Dit is van belang i.v.m. de hypothese dat het freatisch vlak a.g.v. het optreden van MHW niet (nauwelijks) zal veranderen t.o.v. de dagelijkse omstandigheden. Deze hypothese komt voort uit het vermoeden dat de dijk uit vrij ondoorlatende klei is opgebouwd. In bijlage C is deze informatie voor de berekende dwarsprofielen weergegeven.

In de overwegingen van de keuze van de dwarsprofielen is de beschikbaarheid van het terreinonderzoek, dat duidelijkheid verschaft over zowel de opbouw van de ondergrond als de opbouw van de dijk meegenomen.

### 3.2.8 Schade en of vervormingen tijdens te beschouwen observatie(s).

Voor de bewezen sterkteanalyses is voorgesteld om de hoogwater situatie van 1953 te beschouwen (historische observatie). Daar waar de dijk is doorgebroken is het uiteraard niet mogelijk om bewezen sterkte analyses uit te voeren voor de situatie van 1953.

Het binnendijkse peil voor de polder Kromme Geer en Zijde is tijdens de dijkdoorbraak ter plaatse gestegen tot het niveau van de Tiendweg. Dit is nader uitgewerkt in het rapport over de historische gegevens (zie [1]). Een dwarsprofiel langs polder Kromme Geer en Zijde is hierdoor ook minder gewenst gezien het belastingeffect van het mogelijk hogere slootpeil in de polder.

Een hypothese uit het actuele sterkte onderzoek is dat de stabiliteit bij maatgevende omstandigheden niet veel anders is dan de stabiliteit bij dagelijkse omstandigheden. De freatische lijn in de kleidijk wordt nauwelijks beïnvloed door het hoogwater.

Het kan daarom ook zijn dat dijktrajecten onder min of meer dagelijkse omstandigheden schades en of vervormingen ondervinden, waardoor zou mogen worden verondersteld dat de (macro) stabiliteit van het binnentalud 'labiel' is. Uit de ervaringskennis van HHSK volgt dat geen (extreme) vervormingen of problemen zijn opgetreden.

### 3.2.9 Kruinbreedte

Van dijkvakken (dwarsprofielen) met een bredere kruin dan gemiddeld (dit is gunstiger) kan worden verwacht dat het freatisch vlak nabij de binnenkruinlijn minder wordt beïnvloed door de hoogte van de buitenwaterstand dan bij profielen met een smalle kruin. Het dwarsprofiel ter plaatse van Dp 42.3+40 heeft een erg brede kruin, of beter gezegd breed en hoog voorland (>40m). Hiervoor zal naar verwachting vrij gemakkelijk kunnen worden geconcludeerd dat het freatisch vlak ter plaatse van het maatgevende glijvlak niet verandert bij MHW t.o.v. dagelijkse omstandigheden (zie ook paragraaf 3.2.6). Ook ter plaatse van bijvoorbeeld Dp 26.4+50m is de kruin in feite erg breed (circa 15 m). Bovengenoemde informatie is grafisch weergegeven in bijlage C.

### 3.2.10 Overige informatie uit eerder uitgevoerde Toetsingsonderzoeken

Zie GeoDelft rapport CO-373460-280 juni 2004:

- Stabiliteitanalyses:  
Ten behoeve van de laatste toetsronde zijn geen extra stabiliteit analyses uitgevoerd door andere partijen dan Deltares.
- Wielen (vroegere dijkdoorbraken):  
Deze wielen bevinden zich tussen Dp 35,6+50m en Dp 35,8+00m en tussen Dp 37,7+60m en Dp 37,8+80m. In de rapportage van GeoDelft (346660/10) is het onderzoek hiernaar weergegeven. Dit zijn zeer specifieke locaties. Het is minder zinvol om ter hoogte van deze locaties dwarsprofielen te kiezen voor het actuele sterkte onderzoek.
- Reconstructies:  
Door de reconstructie van de dijk n.a.v. 1953 moet men enigszins oppassen om deze dwp's voor het onderzoek te kiezen. Hoewel in principe alleen het buitentalud (glooiing) is aangepast kan worden gesteld dat dit allen een positieve invloed heeft gehad op de macro-stabiliteit van het binnentalud. Wellicht is er echter meer aangepast zoals enige verhoging van de dijk. Voorstel is deze dwarsprofielen in principe niet te gebruiken voor het bewezen sterkteonderzoek. De situatie ten tijde van de stormvloedramp in 1953 is immers aangepast. (Grond)onderzoek ter plaatse van deze reconstructies is beschikbaar:
  - Gedeelte Dp 340.50 – Dp 344.30.
  - gedeelte 303.90 – 307.00.
  - wielen : en reconstructie Gedeelte Dp 357.3 – Dp 378.0.
  - Dp 366.70 – 370.45 Kattendijk.
  - Gedeelte Dp 362.95 – 366.70 Kattendijk.
  - Dp 370.45 – 374.30 Kattendijk.
  - Dp 406.20 – 409.00.

In bijlage C zijn deze locaties aangegeven.

In 2004 is ook al eens nagedacht over de te selecteren profielen. Met de informatie van toen is volgende bedacht:

Bij het selecteren van de dwarsprofielen wordt voorgesteld om niet extreem lage stabiliteitsfactoren ofwel vrij hoge stabiliteitsfactoren te kiezen. Wij stellen voor om het onderzoek te laten uitvoeren bij 'gemiddelde profielen'. Dit is gunstig bij een eventueel vervolgonderzoek. Voorgesteld is destijds om de volgende profielen te selecteren (willekeurig gekozen):

- Traject 1: Dp 24,5+58 (voorland).
- Traject 3: Dp 33,9+65 (schaardijk).
- Traject 5: Dp 38,0+87 (voorland).
- Traject 7: Dp 42,4+00 (voorland).

Omdat de Hollandsche IJsseldijk circa 2/3 van de lengte een voorland heeft is voorgesteld om 3 profielen met voorland en 1 profiel met een schaaldijk te kiezen.

### 3.3 Terreinverkenning d.d. 5-06-2015

Zoals in paragraaf 3.2 is aangegeven dient het proeftraject of de dwarsprofielen zodanig te worden gekozen dat de locaties in voldoende mate toegankelijk zijn voor het uitvoeren van het terreinwerk en de monitoring. Tevens dient er op die locaties rekening mee te worden gehouden dat de mogelijkheid bestaat een proefbelasting aan te brengen. Hoewel op dit moment het type proefbelasting nog niet duidelijk is wordt vooralsnog gedacht aan het belasten van de dijkskruin met containers die met water worden gevuld. Ook wordt gedacht aan het 'belasten' van de kruin en het binnentalud door infiltratie met water.

Om deze mogelijkheden beter in kaart te brengen is mede op basis van de in paragraaf 3.2 weergegeven informatie d.d. 5-06-2015 een terreinverkenning uitgevoerd (door HHSK en Deltares). Hierbij is een selectie van dwarsprofielen verkend. De terreinverkenning is uitgewerkt in bijlage B. Elk profiel heeft daarbij een samenvattende prioriteit-score gekregen. Dit op een schaal van 1 tot 10 waarbij 10 een perfecte score is die aangeeft dat dit profiel uitstekend geschikt is om te onderzoeken binnen het project 'Beter benutten actuele sterkte'. De score is toegekend op basis van engineering judgement.

In Tabel 3.5 is een samenvatting van de resultaten uit bijlage B weergegeven.

Dwarsprofiel Dp	prioriteit-score 1 - 10
25.4+80m	5
26.2+75m	7.5
26.2+45m	6
29.4+65m	5
29.6+00m	6
30.6+00m en 30.3+20m	5
31.4+62m	5
31.5+70m of 31.6+50m	6
32.3+00m	4
32.4+50m	5
33.2+60m	5
33.4+62m	7.5
33.9+65	8.5
34.2+00m	5
34.3+00m	4
36.8+00m	6
36.9+26m	8
38.0+87m	5.5
38.4+13m	5
38.5+00m	5.5
40.5+50m	7.5
42.3+40m	4

Tabel 3.5 Beoordeling profielen op schaal van 1 – 10 waarbij 10 hoogste prioriteit heeft.

### 3.4 Conclusies

Gezien de resultaten van Hoofdstuk 2 en Hoofdstuk 3 is de keuze vooralsnog gevallen op de dwarsprofielen met een prioriteit score van 6.5 of hoger. De 5 dwarsprofielen die de hoogste prioriteit hebben zijn:

- Dwp 1:  
Dp 26.2+75 m (vanuit de toetsing maatgevend/representatief voor dijktraject km 26.10 tot km 26.40): prioriteit-score 7.5.
- Dwp 2:  
Dp 33.4+62 m (vanuit de toetsing maatgevend/representatief voor dijktraject km 33.00 tot 33.60): prioriteit-score 7.5. Opgemerkt wordt dat wel dient te worden onderzocht hoe diep de keermuur zit.
- Dwp 3:  
Dp 33.9+65m (vanuit de toetsing maatgevend/representatief voor dijktraject km 33.60 tot circa 34.50): prioriteit-score 8.5.
- Dwp 4:  
Dp 36.9+26m (vanuit de toetsing maatgevend/representatief voor dijktraject km 36.10 tot 37.43): prioriteit-score 8.0.
- Dwp 5:  
Dp 40.5+50m (prioriteit score voor dijktraject km 40.00 tot 40.80): prioriteit-score 7.5.

Daarnaast bestaat de mogelijkheid om de navolgende dwarsprofielen te beschouwen. Deze hebben echter een lagere prioriteit (lagere kans op succes):

- Dp 26.4+50m (vanuit de toetsing maatgevend/representatief voor dijktraject km 26.40 tot 27.60): prioriteit-score 6.0. (Echter, indien profiel Dp 26.2+45m maatgevend blijkt (dus slechter dan het voor dit traject maatgevend gestelde dwarsprofiel Dp 27.5+06m) dan volgt prioriteitscore 7.5. Hiervoor is het uitvoeren van gevoeligheidsanalyses noodzakelijk).
- Dp 29.6+00m (vanuit de toetsing maatgevend/representatief voor dijktraject km 29.10 tot 30.30): prioriteit-score 6.0. (Echter, indien profiel Dp 29.6+00m maatgevend blijkt, dan volgt een prioriteit-score van 7.5 (dus slechter dan het profiel 29.4+65m dat maatgevend is gesteld voor dit traject). Hiervoor is het uitvoeren van gevoeligheidsanalyses noodzakelijk).
- Dp 30.3+20m: prioriteit-score 6.0 (vanuit de toetsing maatgevend/representatief voor dijktraject km 30.30 tot 30.97). (Echter indien profiel Dp 30.3+20m maatgevend blijkt (dus slechter dan profiel Dp 30.8+00m). dan volgt een prioriteit-score van 7.0. Hiervoor is het uitvoeren van gevoeligheidsanalyses noodzakelijk).
- Dp 31.6+50m: prioriteit score 6.0 (vanuit de toetsing is Dp 31.4+62m maatgevend/representatief voor dijktraject km 31.30 tot 32.80) (Echter indien profiel Dp 31.6+50 maatgevend blijkt (dus lagere berekende stabiliteitsfactor dan 31.4+62) dan is de prioriteit-score 7.0). Hiervoor is het uitvoeren van gevoeligheidsanalyses noodzakelijk).

Opmerking:

In paragraaf 3.2.6 is opgemerkt dat locaties met voorlanden geen voorkeur hebben. Dit gezien de hypothese dat het freatisch vlak bij schaar dijken door MHW niet verandert.

Voor dijkgedeelten met hoog en breed voorland mag worden aangenomen dat het freatisch vlak niet afhankelijk is van de buitenwaterstand. Voor dit belastingeffect is er dus geen verschil tussen de situatie bij MHW en de situatie bij dagelijkse omstandigheden waardoor dit een gunstig uitgangspunt voor bewezen sterkteanalyses geeft. Dijken met hoog en breed voorland (of een zeer brede kruin) zullen middels Bewezen Sterkte hebben dus een hogere kans op goedkeuren hebben.

## 4 Gevoeligheidsanalyses macrostabiliteit

De onderbouwing van de keuze van de te onderzoeken dwarsprofielen is weergegeven in Hoofdstuk 3. Ter bepaling van de keuze van de dwarsprofielen zijn naast archiefonderzoek en bestudering van beschikbare gegevens ook gevoeligheidsanalyses in een aantal dwarsprofielen uitgevoerd voor de macro-stabiliteit van het binnentalud. Op deze wijze wordt inzicht verkregen in de invloed van de verschillende aspecten (waaronder waterspanningen, verkeersbelasting, grondopbouw). Hierdoor wordt het duidelijk waar focus- of aandachtspunten liggen bij het vervolg van het bij actuele sterkte onderzoek (activiteit 3, 4 en 5 van het plan van aanpak).

### 4.1 Uitgangspunten

De gevoeligheidsanalyses voor de macro-stabiliteit van het binnentalud zijn uitgevoerd met D-GeoStability. Zowel methode Bishop als LiftVan is gebruikt.

De analyses zijn uitgevoerd voor de in paragraaf 3.4 weergegeven dwarsprofielen met de hoogste prioriteit-score ofwel de profielen waarvan wordt verwacht dat ze het meest geschikt zijn voor het onderzoek 'Beter benutten actuele sterkte'.

Basis van de analyses zijn de stabiliteitsberekeningen die destijds in het kader van de toetsing zijn uitgevoerd zijn (zie [2]). Dit betreft berekeningen met gedraineerde parameters op basis van de spanningsafhankelijke proevenverzameling van de Alblasserwaard en Krimpenerwaard. (Ten tijde van het uitvoeren van onderhavig onderzoek waren de resultaten van het grondonderzoek dat in het kader van de POVM ter plaatse van de IJsseldijken is uitgevoerd nog niet beschikbaar).

De gevoeligheidsberekeningen richten zich op de verkeersbelasting, waterspanningen en grondopbouw.

#### **Waterspanningen:**

Al dan niet hydrostatisch waterspanningsverloop:

In de stabiliteitsanalyses uitgevoerd in het kader van de toetsing is het waterspanningsverloop over het algemeen hydrostatisch aangenomen. Op dit moment (mede n.a.v. analyses van waterspanningen van HHSK) (b)lijkt dat de waterspanningen ter plaatse van de kruin tot NAP -4 tot -6m hydrostatisch verlopen en daaronder vermoedelijk lineair naar de stijghoogte in het zand onder normale omstandigheden. Dat laatste is een modelmatige aanname. Vooralsnog wordt op basis van eerdere metingen het volgende aangehouden:

- Het freatisch vlak in de kruin ligt vermoedelijk op circa NAP + 1,0m tot +1.5m.
- In het diepe zand is de waterspanning c.q. stijghoogte erg laag als gevolg van de forse onderbemaling in omringende polders, (vooral aan de Schielandse zijde van de Hollandse IJssel). Onder normale omstandigheden is de stijghoogte in het zand bij Dp 26.2+75m circa NAP -2.3m op een diepte van NAP -11.6m. Bij de overige hier beschouwde dwarsprofielen is dit circa NAP -4,0m.

Hoogte freatisch vlak in de dijk:

Hypothese binnen het onderzoek is dat de hoogte van het freatisch vlak niet of nauwelijks zal veranderen als gevolg van een veranderde buitenwaterstand in de rivier. Daarnaast kan worden verwacht dat de hoogte van het freatisch vlak afhankelijk is van neerslag. Op basis van uitgebreide waterspanningsmetingen zal worden onderzocht of deze hypothese juist is.

Dit is belangrijk voor het Bewezen Sterkte onderzoek. De mogelijke invloed hiervan op de stabiliteitsfactor is hierdoor ook van belang.

De invloed van een mogelijke verhoging van het freatisch vlak, als gevolg van een verhoging van de buitenwaterstand, wordt gezien bovengenoemde onderzocht. Doel hiervan is om te kunnen inschatten of dit een significante verandering betekent in de berekende stabiliteitsfactor.

Waterspanningen in onverzadigde zone en capillaire waterspanningen:

Voor ontwerp en toets berekeningen wordt over het algemeen de eventuele extra schuifsterkte in de onverzadigde zone en extra sterkte door wateronderspanningen de capillaire zone niet meegenomen. De grootte hiervan is uiterst onzeker. In de adviespraktijk wordt veiligheidshalve niet met deze effecten rekening gehouden.

- **Capillaire zone:**  
De capillaire zone is dat deel van de bodem dat door de capillaire werking nog in verbinding staat met het grondwater. In de capillaire zone is de grond volledig verzadigd. De capillaire zone is bij grof zand enkele centimeters. Dit stijgt naarmate het materiaal kleiner wordt. Bij klei kan de capillaire zone meerdere meters zijn. Door deze capillaire zone is sprake van negatieve waterspanningen boven het freatisch vlak. Hierdoor is de effectieve spanning groter en als gevolg daarvan ook de schuifsterkte.
- **Onverzadigde zone:**  
In de zone boven de capillaire zone, de onverzadigde zone, is geen sprake meer van volledige verzadiging en negatieve waterspanningen. Toch kan de sterkte van de grond in deze zone aanmerkelijk hoger zijn dan op grond van de aanwezige effectieve spanning zou worden verwacht. Vraag is in welke orde van grootte we de sterkte/spanningstoename in de onverzadigde zone moeten inschatten voor onze Nederlandse kleidijken.

Waarom is dit effect belangrijk voor bewezen sterkte analyses:

De extra sterkte in genoemde zones is een complex geheel. In het geval van een groot verschil tussen freatisch vlak en dijkkrui met veel klei kan dit effect groot zijn, maar het is ook uiterst onzeker. De schuifsterkte in de onverzadigde zone en extra sterkte door wateronderspanningen in de capillaire zone spelen dus mogelijk een belangrijke rol, waarbij het van belang is de sterkte zo goed mogelijk in te schatten. Dit is met name belangrijk als deze effecten significant zijn.

In de studie naar bewezen/actuele sterkte speelt de vraag in hoeverre de extra sterkte als gevolg van capillaire spanningen en onverzadigde sterkte een verborgen veiligheid in de geobserveerde situatie is. Het meenemen van een verborgen veiligheid in een observatie kan onterecht zijn en hiermee het effect van bewezen sterkte overschatten.

Vraag is dan ook in welke orde van grootte we de sterkte/spanningstoename in de capillaire en onverzadigde zone moeten inschatten voor onze Nederlandse kleidijken en hoeveel effect dit heeft op de macro-stabiliteit van het binnentalud.

Hoe een dijk ervan binnen uitziet is nogal variabel door aanleg, verbeteringen, bodemvorming et cetera.

Als het om klei ruim boven de gemiddelde grondwaterstand gaat is er een bodemstructuur in ontwikkeld. De spleten die de aggregaten van die bodemvorming scheiden zijn meest gedraineerd en lopen bij geringe zuigspanning leeg (minder dan 1 m water, -10kPa).



Deze zuigspanning is alleen op de directe nauwe contacten tussen aggregaten relevant voor verhogen van de effectieve spanning, dus slechts over een beperkt deel van het oppervlak. In klei boven het grondwater is er daarom waarschijnlijk geen reden te veronderstellen dat er een significante (denkende aan > 5kPa) verhoging van de effectieve spanning/sterkte zal zijn. Behalve dit aspect is er natuurlijk de overweging dat er vaak meerdere soorten grond door elkaar in de dijkskern aanwezig zijn en dat een zandlaagje al leegloopt bij 0,1 tot 3 m zuigspanning. Of de benodigde schuifsterkte aanwezig zal zijn bij een mogelijk schuifvlak, is door die variatie niet erg zeker. In de buitenste lagen van de dijk (kruin/kleibekleding) is het bodemvormingseffect nog sterker en zal er zeer weinig verhoging van de effectieve spanning zijn, zo de spleten al leeglopen als er sprake is van veel neerslag of overloop/-slag. De aanname dat het niet meegenomen zou moeten worden lijkt zeer aannemelijk.

Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat als blijkt dat deze extra sterkte voor de observatie (beschouwde historische situatie in de BS analyse) aannemelijk is, deze ook aannemelijk is voor de situatie tijdens MHW.

Hierdoor lijkt het aanvankelijk minder van belang om dit effect te beschouwen voor bewezen sterkte omdat het effect tijdens de observatie dan namelijk wegvalt tegen het effect tijdens de Toetssituatie. Als echter de locatie van het maatgevende bezwijkvlak hierdoor wordt beïnvloed is het van belang om met dit effect rekening te houden.

Gezien bovengenoemde is door gevoeligheidsanalyses bepaald in hoeverre een beperkte sterkte-toename in de capillaire en onverzadigde zone (denkende aan bijvoorbeeld < 5kPa) van invloed is op de mate van macro-stabiliteit.

De gevoeligheidsanalyses voor onverzadigde zone/capillaire zone worden uitgevoerd door een D-Geostability versie (specifiek voor dit project aangepast) te hanteren, waarbij het mogelijk is om boven het freatisch vlak negatieve waterspanningen in rekening te kunnen brengen (zie bijlage D). Op deze wijze wordt in D-GeoStability met een hogere korrelspanning gerekend met als gevolg daarvan ook een hogere sterkte.

In de uitgevoerde analyses is in de eerste analyses uitgegaan een capillaire zone in klei van 1.0 m en in zand 0.2 m. Daarboven is de waterspanning in klei constant en in zand nul. Op deze manier wordt in de stabiliteitanalyse voor het glijvlakdeel in de capillaire zone met een extra effectieve spanning van 0 tot 10 kPa berekend, resulterende in een extra schuifsterkte tot circa 5 kPa. In de onverzadigde zone wordt op deze manier een extra effectieve spanning van 10 kPa berekend, resulterende in een extra schuifsterkte circa. 5 kPa in het betreffende glijvlakdeel.

#### **Verkeersbelasting:**

De invloed van verkeersbelasting is voor een primaire kering veelal gering (stel <5%). Zeker in geval sprake is van grote maatgevende glijvlakken als gevolg van opdrijven. Op basis van de resultaten uit paragraaf 3.2.5 blijkt dat de maatgevende glijvlakken veelal relatief klein zijn waardoor de invloed van verkeer mogelijk groot is. Dit is een belangrijk gegeven omdat in de Bewezen Sterkte analyses (BS) voor een historische situatie veelal niet kan worden aangetoond dat een dergelijke verkeersbelasting aanwezig was. Voor de Toetssituatie moet zeer waarschijnlijk wel van de aanwezigheid van deze verkeersbelasting moet worden uitgegaan.

#### **Grondopbouw:**

In enkele analyses is de grondopbouw in de dijkskern grotendeels uit zand geschematiseerd. Dit op basis van het beperkte onderzoek dat ten tijde van de toetsing beschikbaar was ter plaatse van de kruin en/of buitendijks.

Aannemelijk is vooralsnog en aangenomen wordt dat de dijkskern grotendeels uit klei is opgebouwd hoewel kan worden verwacht dat er een vrij diep cunet onder de weg aanwezig is bestaande uit zand, puin, klinker en asfalt lagen. De invloed hiervan wordt onderzocht.

#### **Keermuur dwp 2:**

Ter plaatse van dwarsprofiel 2 is in het binnentalud een keermuur aanwezig waarvan de diepte op dit moment onbekend is. Aan HHSK is gevraagd om de diepte hiervan vast te stellen. Tijdens het schrijven van dit rapport is de diepte echter nog niet vastgesteld. Met D-GeoStability zal worden onderzocht bij welke diepte het maatgevende glijvlak mogelijk wordt beïnvloed.

Meer informatie over deze keermuur is te vinden in het rapport betreffende Historische gegevens [1].

## **4.2 Berekeningsresultaten**

Zowel met model LiftVan als Bishop zijn berekeningen uitgevoerd. In Bijlage E zijn de resultaten in tabelvorm weergegeven. In de onderstaande paragrafen worden de resultaten besproken.

### **4.2.1 Invloed verhoging freatisch vlak met 0,5 m.**

Dp 26.2+75m: verschil in stabiliteit factor is -4,8% voor LiftVan en -1,1% voor Bishop.

Dp 33.4+62m: verschil in stabiliteitsfactor is -9,5% voor LiftVan en -9,0% voor Bishop.

Dp 33.9+65m: verschil in stabiliteitsfactor is -6,3% voor LiftVan en -4,4% voor Bishop.

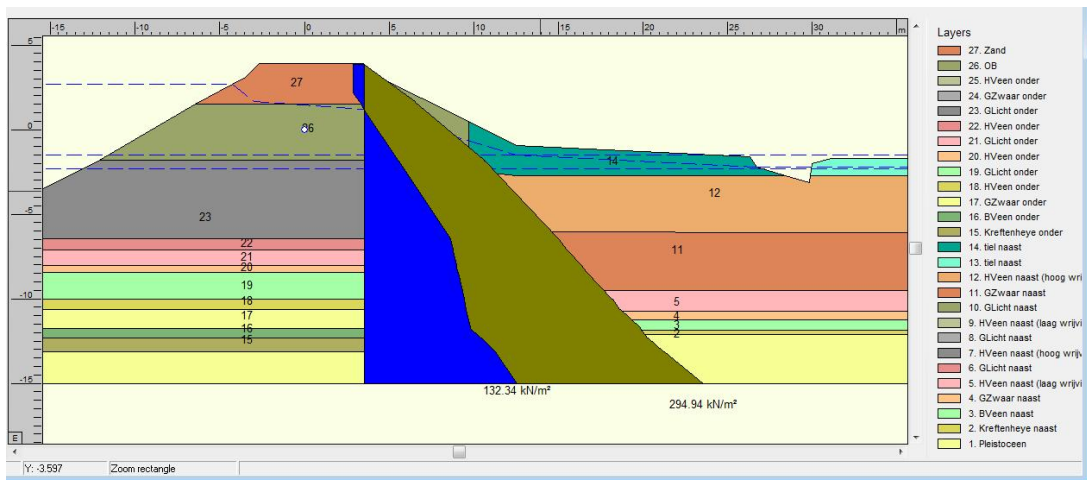
Dp 36.9+26m: verschil in stabiliteitsfactor is -2,6% voor LiftVan en -6,1% voor Bishop.

Dp 40.5+50m: verschil in stabiliteitsfactor is -6.7% voor LiftVan en -7.0% voor Bishop.

Het verhogen van de freatische lijn in de kruin met 0,5 m geeft een 3 tot 10% lagere stabiliteitsfactor.

### **4.2.2 Invloed waterspanningen in de onverzadigde en capillaire zone**

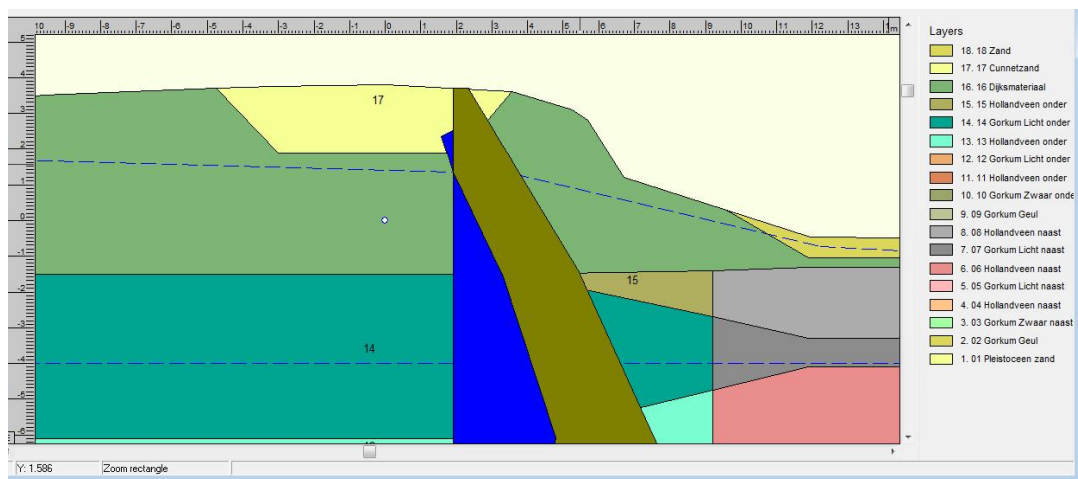
- Dp 26.2+75m: Verschil in stabiliteitsfactor is 1 a 2%. Dit is zeer gering. Hierbij moet echter moet worden opgemerkt dat dit is gemodelleerd door voor de capillaire zone in klei 1.0 m en in zand 0.2 m aan te houden. Daarboven is de waterspanning in klei en in zand constant. Er wordt daardoor boven het freatisch vlak in de kruin met een negatieve korrelspanning tot 10kPa gerekend waarmee vervolgens de effectieve spanning wordt bepaald en vervolgens de gedraineerde schuifsterkte. Dit lijkt voor het zandcunet een erg optimistische aanname. In Figuur 4.1 is in een verticaal ter plaatse van de kruin de berekende grond en waterspanning weergegeven.



Figuur 4.1 Resultaat stabiliteitsberekening Dp26.2+75m.

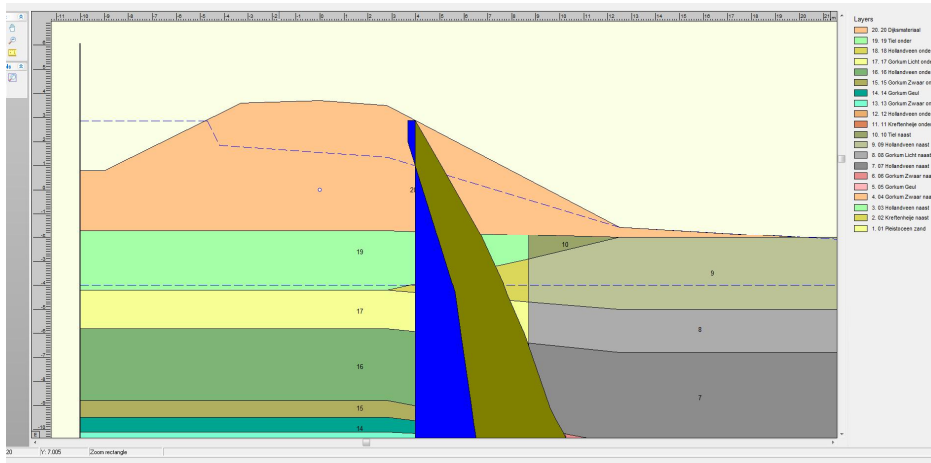
Dp 33.4+62m: Verschil in stabiliteitsfactor is 3 tot 5%, waarbij dit op dezelfde wijze is gemodelleerd als bij profiel Dp 26.2+75m, zie Figuur 4.2.

Echter, er moet worden opgemerkt dat dit is gemodelleerd door voor de capillaire zone in klei 1.0 m en in zand 0.2 m aan te houden. Daarboven is waterspanning constant. Dit is voor het zandcunet dus een erg optimistische aanname. Indien de zuigspanning in het zandcunet grotendeels wordt verwaarloosd, zie onderstaande figuur, dan is het verschil in stabiliteitsfactor 1 à 2%.



Figuur 4.2 Resultaat stabiliteitsberekening DP33.4+62m.

Dp 33.9+65m: Verschil in stabiliteitsfactor is 3 tot 5%, waarbij dit op dezelfde wijze is gemodelleerd als bij profiel Dp 26.2+75m, zie Figuur 4.3. Dit is gemodelleerd door voor de capillaire zone in klei 1.0 m en in zand 0.2 m aan te houden. Daarboven is de waterspanning constant. Omdat de maatgevende cirkel niet door het zandcunet gaat is dit een goede aanname. Op deze wijze wordt extra sterkte in de onverzadigde zone (boven de capillaire zone) meegenomen.



Figuur 4.3 Resultaat stabiliteitsberekening DP33.9+65m.

Als daarentegen alleen met extra sterkte in de capillaire zone rekening wordt gehouden is de stabiliteitsfactor 1 tot 3% hoger. Dit sluit aan bij hetgeen in paragraaf 4.1 is weergegeven dat in klei boven het grondwater niveau er waarschijnlijk geen reden is te veronderstellen dat er een significante (denkende aan > 5kPa) verhoging van de effectieve spanning/sterkte zal zijn.

- Dp 36.9+26m: Verschil in stabiliteitsfactor is circa 1%. Dit is zeer gering. Hierbij is ervan uitgegaan dat de zuigspanning in het zandcunet grotendeels wordt verwaarloosd.
- Dp 40.5+60m (berekende dwarsprofiel Dp 40.6+37m): Verschil in stabiliteitsfactor is 1 à 2%, vergelijkbaar met de resultaten van Dp 26.2+075m en Dp 36.9+26m. Hierbij is ervan uitgegaan dat de zuigspanning in het zandcunet grotendeels wordt verwaarloosd.

#### 4.2.3 Invloed verkeersbelasting

- Dp 26.2+75m: verschil in stabiliteitsfactor is +6,0% voor LiftVan en +5,6% voor Bishop. (1,5 m dik zandcunet).
- Dp 33.4+62m: verschil in stabiliteitsfactor is +3,8% voor LiftVan en +5,4% voor Bishop. (2 m dik zandcunet).
- Dp 33.9+65m: verschil in stabiliteitsfactor is 0,0 % voor LiftVan en 0.0% voor Bishop. (geen zandcunet). Maatgevende cirkel treedt in beide gevallen in ter plaatse van het binnentalud.
- Dp 36.9+26m: verschil in stabiliteitsfactor is +6.48 voor LiftVan en +4.9 voor Bishop. (1,5 m dik zandcunet).
- Dp 40.5+50m: verschil in stabiliteitsfactor is +7.8 voor LiftVan en +9.0 voor Bishop. (2 m dik zandcunet).

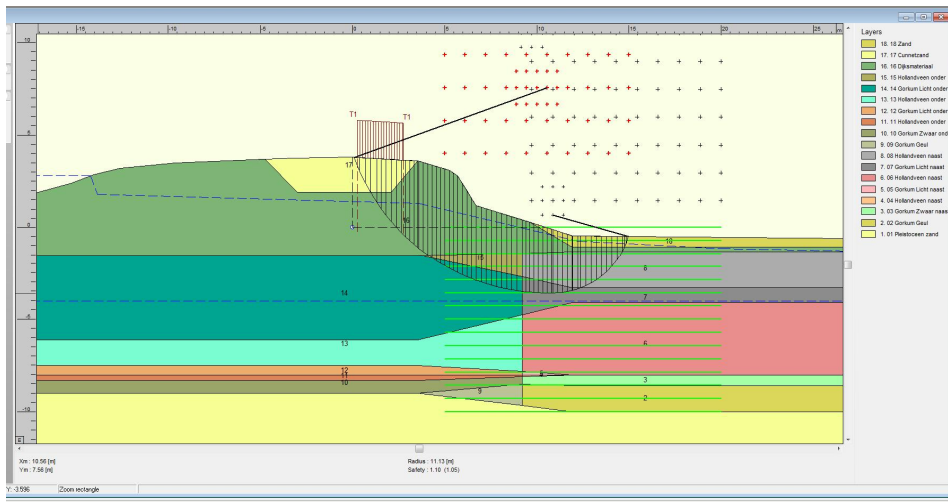
Uit de resultaten volgt dat de stabiliteitsfactor toeneemt met 4 à 9% wanneer er geen verkeersbelasting wordt toegepast. In een enkel geval heeft de verkeersbelasting geen invloed omdat de maatgevende cirkel landwaarts van de verkeersbelasting intreedt.

#### 4.2.4 Invloed grondopbouw:

Het zandcunet in de kruin ter plaatse van Dp 26.2+75m is teruggebracht van 2,4 m dikte naar 1,5 m dikte. Vermoeden is namelijk dat 1,5 m realistisch is. Dit heeft geen invloed op de berekende stabiliteitsfactoren.

#### 4.2.5 Invloed keermuur in dwp 2 (Dp 33.4+62m):

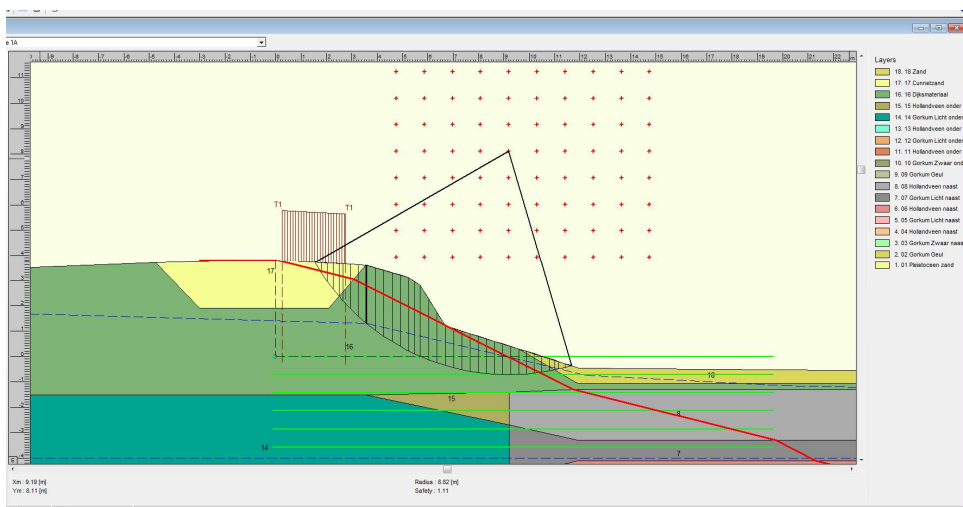
Uit de berekeningsresultaten met Model LiftVan (maatgevend (zie berekening file 33,4+62 liftvan a 1. Sti, zie ook Figuur 4.4) volgt dat de maatgevende cirkel ter plaatse van de keermuur op een diepte ligt van circa NAP -3m. Vermoedelijk gaat deze cirkel onder de keermuur door. Dit dient echter te worden bevestigd.



Figuur 4.4 Resultaat stabiliteitsberekening DP33.4+62m met model LiftVan.

Uit de berekening met model Bishop (niet maatgevend) volgt dat het voor dit model maatgevende glijvlak ter plaatse van de keermuur op een diepte ligt van circa NAP +0.0m (zie Figuur 4.5). Deze cirkels snijden vermoedelijk de keermuur. Hoewel dit model niet maatgevend is, zijn voor glijvlakken die met model LiftVan worden berekend met een diepte van circa NAP +0.0m ter plaatse van de keermuur vermoedelijk ongeveer dezelfde stabiliteitsfactoren berekend.

Het is dus mogelijk dat de macrostabiliteit van het binnentalud door de keermuur wordt beïnvloed. Dit betekent dat dit profiel mogelijk minder geschikt is voor het Bewezen Sterkte-onderzoek.



Figuur 4.5 Resultaat stabiliteitsberekening Dp33.4+62m met model Bishop.

### 4.3 Conclusies

Uit de gevoeligheidsanalyses in de eerder genoemde 5 dwarsprofielen kunnen de volgende conclusies worden gedaan.

#### **Invloed verhoging freatisch vlak**

Hypothese binnen het onderzoek is dat de hoogte van het freatisch vlak niet of nauwelijks zal veranderen als gevolg van een veranderde buitenwaterstand in de rivier. Daarnaast kan worden verwacht dat de hoogte van het freatisch vlak afhankelijk is van neerslag. Op basis van uitgebreide waterspanningsmetingen zal worden onderzocht of deze hypothese juist is.

Uit de berekeningen volgt dat verhoging van het freatisch vlak met 0,5 m een 3 tot 10% lagere stabiliteitsfactor geeft. Dit is relatief veel voor een primaire kering (met fors verval), maar is naar verwachting omdat de maatgevende cirkels relatief klein zijn. Door deze relatief hoge gevoeligheid is het van belang het freatisch vlak en de waterspanningen in het dijklichaam nauwkeurig vast te stellen. De waterspanningen hebben immers een grote invloed op de uitkomsten van het actuele sterkteonderzoek.

#### **Invloed waterspanningen en de onverzadigde en capillaire zone**

Voor ontwerp en toets berekeningen worden over het algemeen de eventuele extra schuifsterkte in de onverzadigde zone en extra sterkte door wateronderspanningen de capillaire zone niet meegenomen. De grootte hiervan is uiterst onzeker. In de adviespraktijk wordt veiligheidshalve niet met deze effecten rekening gehouden.

De extra sterkte in genoemde zones is een complex geheel. In geval van een groot verschil tussen freatisch vlak en dijk kruin met veel klei kan dit effect groot zijn, maar het is ook uiterst onzeker.

De schuifsterkte in de onverzadigde zone en extra sterkte door wateronderspanningen in de capillaire zone spelen dus mogelijk een belangrijke rol, waarbij het van belang is de sterkte zo goed mogelijk in te schatten. Dit is vooral belangrijk als deze effecten significant zijn. Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat als blijkt dat deze extra sterkte voor de observatie (beschouwde historische situatie in de BS analyse) aannemelijk is, deze ook aannemelijk is voor de situatie tijdens MHW.

Hierdoor lijkt het aanvankelijk minder van belang om dit effect te beschouwen voor bewezen sterkte omdat het effect tijdens de observatie dan namelijk wegvalt tegen het effect tijdens de Toetssituatie. Als echter de locatie van het maatgevende bezwijkvlak hierdoor wordt beïnvloed is het van belang om met dit effect rekening te houden.

Uit de analyses volgt dat het effect gering is omdat de maatgevende cirkels bij de IJsseldijken intreden in de kruin ter plaatse van het cunet. Het cunet (dikte 1 a 2 m) bestaat uit niet cohesief materiaal waarvan kan worden aangenomen dat de capillaire zone en onverzadigde sterkte gering is.

- Voor de IJsseldijken zijn de maatgevende glijvlakken vrij klein. Bij grote glijvlakken zal het effect nog geringer zijn omdat de extra schuifsterkte in de capillaire zone gering is t.o.v. de totale schuifsterkte langs het gehele glijvlak.
- De uitgevoerde stabiliteitanalyses betreffen stabiliteitanalyses met gedraineerde sterkteparameters. Voor ongedraineerde sterkte wordt verwacht dat de invloed op de sterkte van dezelfde orde van grootte of iets minder is als bij gedraineerde sterkte.

#### **Invloed verkeersbelasting**

De invloed van verkeersbelasting is voor een primaire kering veelal gering (stel <5%). Zeker in geval sprake is van grote maatgevende glijvlakken als gevolg van opdrijven. Op basis van de resultaten uit paragraaf 3.2.5 blijkt dat de stabiliteitsfactor toeneemt met 4 tot 9% wanneer

er geen verkeersbelasting wordt toegepast. In een enkel geval heeft de verkeersbelasting geen invloed omdat de maatgevende cirkel landwaarts van de verkeersbelasting intreedt. Meer dan 5% invloed is relatief veel voor een primaire kering, maar is naar verwachting omdat de maatgevende cirkels relatief klein zijn.

Dit is een belangrijk gegeven omdat in de Bewezen Sterkte analyses (BS) voor een historische situatie veelal niet kan worden aangetoond dat een dergelijke verkeersbelasting aanwezig was. Voor de Toetssituatie moet zeer waarschijnlijk wel van de aanwezigheid van deze verkeersbelasting moet worden uitgegaan.

Hoewel deze resultaten hierover geen definitief uitsluitsel geven lijkt van het toepassen van een proefbelasting op de kruin (waarmee o.a. een verkeersbelasting kan worden gesimuleerd) hierdoor meer in beeld te komen.

### **Invloed grondopbouw**

Aannemelijk is voornamelijk en aangenomen wordt dat de dijkskern uit grotendeels uit klei is opgebouwd hoewel kan worden verwacht dat er een vrij diep cunet onder de weg aanwezig is bestaande uit zand, puin, klinker en asfalt lagen. De dikte van deze zandlagen is op dit moment nog onzeker gezien het ontbreken van gedetailleerd grondonderzoek. Uit de analyse uitgevoerd in het dwarsprofiel ter plaats van Dp 26.2+75m volgt dat de dikte van het zand in de kruin nauwelijks invloed heeft op de berekende stabiliteitsfactor.

### **Invloed keermuur in dwp 2 (Dp 33.4+62m)**

Het is mogelijk dat de macro-stabiliteit van het binnentalud door de keermuur wordt beïnvloed.

Dit betekent dat dit profiel mogelijk minder geschikt is voor het Bewezen Sterkte onderzoek. Om dit uit te sluiten zou de constructie van de keermuur en vooral de diepte kunnen worden onderzocht.

## 5 Samenvatting van de conclusies

### Keuze dwarsprofielen voor actuele sterkteonderzoek

Binnen de POV-M wordt dit actuele sterkte onderzoek in eerste instantie uitgevoerd voor een beperkt (representatief) deel van het referentieproject KIJK (Krachtige IJsseldijken Krimpenerwaard). Als de resultaten positief zijn kan de werkwijze (buiten onderhavig project om) worden geïmplementeerd in de adviespraktijk voor o.a. de IJsseldijken.

Op basis van een aantal criteria en overwegingen, zoals weergegeven in paragraaf 3.2, is een keuze gemaakt uit een aantal locaties (dwarsprofielen), zodanig dat wordt verwacht dat de activiteiten zoals genoemd in het PvA voor het actuele sterkteonderzoek kunnen worden doorlopen en dat de kans op verkleining van de versterkingsopgave, dan wel het beperken van de versterkingsmaatregel groot is. Hiermee wordt namelijk beoogd dat de voorgestelde methode snel en effectief wordt onderbouwd.

Vervolgens is een terreinverkenning uitgevoerd (door HHSK en Deltares) om te kunnen vaststellen of de locaties in voldoende mate toegankelijk zijn voor het uitvoeren van het terreinwerk en de monitoring. Tevens dient er op die locaties rekening mee te worden gehouden dat de mogelijkheid bestaat een proefbelasting aan te brengen. Hoewel op dit moment het type proefbelasting nog niet duidelijk is wordt vooralsnog gedacht aan het belasten van de dijkskruin met containers die met water worden gevuld. Ook wordt gedacht aan het 'belasten' van de kruin en het binnentalud door infiltratie met water.

Elk beschouwd profiel heeft daarbij een samenvattende prioriteit-score gekregen. Dit op een schaal van 1 tot 10 waarbij 10 een perfecte score is die aangeeft dat dit profiel uitstekend geschikt is om te onderzoeken binnen het project 'Beter benutten actuele sterkte'.

Uit het onderzoek volgt dat de volgende 5 dwarsprofielen de hoogste prioriteit-score hebben gekregen:

- Dwp 1:  
Dp 26.2+75 m (vanuit de toetsing maatgevend/representatief voor dijktraject km 26.10 tot km 26.40): prioriteit-score 7.5
- Dwp 2:  
Dp 33.4+62 m (vanuit de toetsing maatgevend/representatief voor dijktraject km 33.00 tot 33.60): prioriteit-score 7.5. Opgemerkt wordt dat wel dient te worden onderzocht hoe diep de keermuur zit).
- Dwp 3:  
Dp 33.9+65m (vanuit de toetsing maatgevend/representatief voor dijktraject km 33.60 tot circa 34.50): prioriteit-score 8.5
- Dwp 4:  
Dp 36.9+26m (vanuit de toetsing maatgevend/representatief voor dijktraject km 36.10 tot 37.43): prioriteit-score 8.0
- Dwp 5:  
Dp 40.5+50m (prioriteit score voor dijktraject km 40.00 tot 40.80): prioriteit-score 7.5. Dit profiel valt buiten de scope van KIJK.

#### Opmerking:

In paragraaf 3.2.6 is opgemerkt dat locaties met voorlanden geen voorkeur hebben. Dit gezien de hypothese dat het freatisch vlak bij schaar dijken door MHW niet verandert.

Voor dijkgedeelten met hoog en breed voorland mag worden aangenomen dat het freatisch vlak niet afhankelijk is van de buitenwaterstand.



Voor dit belastingeffect is er dus geen verschil tussen de situatie bij MHW en dagelijks waardoor dit een gunstig uitgangspunt voor bewezen sterkteanalyses geeft. Het onderzoeken van deze hypothese zou derhalve weinig nut hebben.

### **Gevoeligheidsanalyses macrostabiliteit:**

Ter bepaling van de keuze van de dwarsprofielen zijn naast archiefonderzoek en bestudering van beschikbare gegevens ook gevoeligheidsanalyses in een aantal dwarsprofielen uitgevoerd voor de macrostabiliteit van het binnentalud. In hoofdstuk 4 is dit weergegeven. Op deze wijze is inzicht verkregen in de invloed van de verschillende aspecten (waaronder waterspanningen verkeersbelasting, grondopbouw), Hierdoor is duidelijker geworden waar focus- of aandachtspunten bij het actuele sterkte onderzoek (zie activiteit 3, 4 en 5) liggen.

Hierbij is naar de volgende invloeden gekeken:

- **Invloed hoogte freatisch vlak in de dijk:**  
Uit het onderzoek volgt dat de hoogte van het freatisch vlak in de dijk relatief grote invloed heeft op de macrostabiliteit van het binnentalud (3 tot 5%). Door deze relatief hoge gevoeligheid is het van belang het freatisch vlak en de waterspanningen in het dijklichaam nauwkeurig vast te stellen. De waterspanningen hebben immers een grote invloed op de uitkomsten van het actuele sterkteonderzoek.
- **Invloed waterspanningen en de onverzadigde en capillaire zone:**  
De (extra) schuifsterkte in de onverzadigde zone en (extra) sterkte door water-onderspanningen in de capillaire zone kunnen in principe een belangrijke rol spelen in de macrostabiliteit.  
Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat als blijkt dat deze extra sterkte voor de observatie (beschouwde historische situatie in de BS analyse) aannemelijk is, deze ook aannemelijk is voor de situatie tijdens MHW. Hierdoor lijkt het aanvankelijk minder van belang om dit effect te beschouwen voor bewezen sterkte omdat het effect tijdens de observatie dan nl. wegvalt tegen het effect tijdens de Toetssituatie. Als echter de locatie van het maatgevende bezwijkvlak hierdoor wordt beïnvloed is het van belang om met dit effect rekening te houden.  
Uit de analyses volgt echter dat het effect gering is (1 tot 3%). Dit komt met name doordat de maatgevende cirkels bij de IJsseldijken intreden in de kruin ter plaatse van het cunet. Het cunet (dikte 1 á 2 m) bestaat uit niet cohesief materiaal waarvan kan worden aangenomen dat de capillaire zone en onverzadigde sterkte gering is. Opgemerkt wordt dat voor dijken waar boven het freatisch vlak geruime dikte aan cohesief materiaal (klei) aanwezig is, er waarschijnlijk ook geen reden is te veronderstellen dat er een significante (denkende aan > 5kPa) verhoging van de effectieve spanning/sterkte zal zijn. Dit als gevolg van de bodemstructuur (zie paragraaf 4.1). Voorgesteld wordt om dit effect binnen het actuele sterkteonderzoek dan ook niet verder te beschouwen.
- **Invloed verkeersbelasting:**  
Uit de analyses blijkt dat de invloed van de verkeersbelasting vrij groot is (4 tot 9%). Dit is een belangrijk gegeven omdat in de Bewezen Sterkte analyses (BS) voor een historische situatie veelal niet kan worden aangetoond dat een dergelijke verkeersbelasting aanwezig was. Dit terwijl voor de Toetssituatie zeer waarschijnlijk wel van de aanwezigheid van deze verkeersbelasting moet worden uitgegaan.
- **Invloed grondopbouw:**  
De dikte van de (opgebrachte) zandlagen in de kruin van de IJsseldijken is op dit moment nog onzeker. Uit de analyses volgt dat de dikte van het zand in de kruin nauwelijks invloed heeft op de berekende stabiliteitsfactor.



- Invloed keermuur in dwp 2 (Dp 33.4+62m):  
Het is mogelijk dat de macro-stabiliteit van het binnentalud door de keermuur wordt beïnvloed. Dit betekent dat dit profiel mogelijk minder geschikt is voor het Bewezen Sterkte onderzoek. Om dit uit te sluiten zou de constructie van de keermuur en vooral de diepte kunnen worden onderzocht.

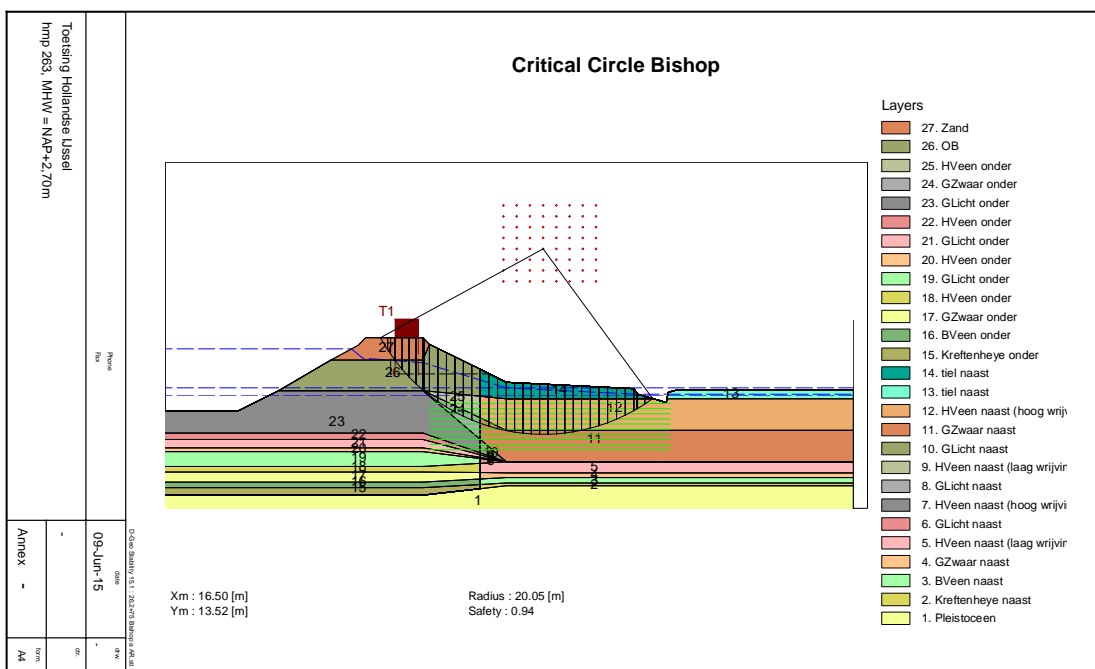
## 6 Referenties

- [1] POVM Beter benutten actuele sterkte, Activiteit 5 – deel Historische gegevens, POVM 1220518-005, mei 2016 concept.
- [2] Toetsing Krimpenerwaard, dijkvakken Krimpenerwaard IJsseldijk, Deltares CO-373460-280, juni 2004.
- [3] Prioritering, clustering en fasering dijkversterking Hollandsche IJssel, Kwalificeren voor nieuw HWBP, Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard, DHV juli 2012, definitief.
- [4] Consequentieanalyse KIJK, Geotechnische beoordeling, Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard. Fugro en Royal HaskoningDHV, referentie WATBE2432R004D01, Versie 01/Concept, 4 april 2016.
- [5] Toetsen steenbekledingen Krimpenerwaard, Deltares kenmerk CO373460.0275, juni 2004.
- [6] Toetsen grasmat Krimpenerwaard, Deltares kenmerk CO373460.0281, juni 2004.

## A Resultaten stabiliteitsberekeningen Toetsing (Deltares Rapport met kenmerk CO-373460 zie [2])

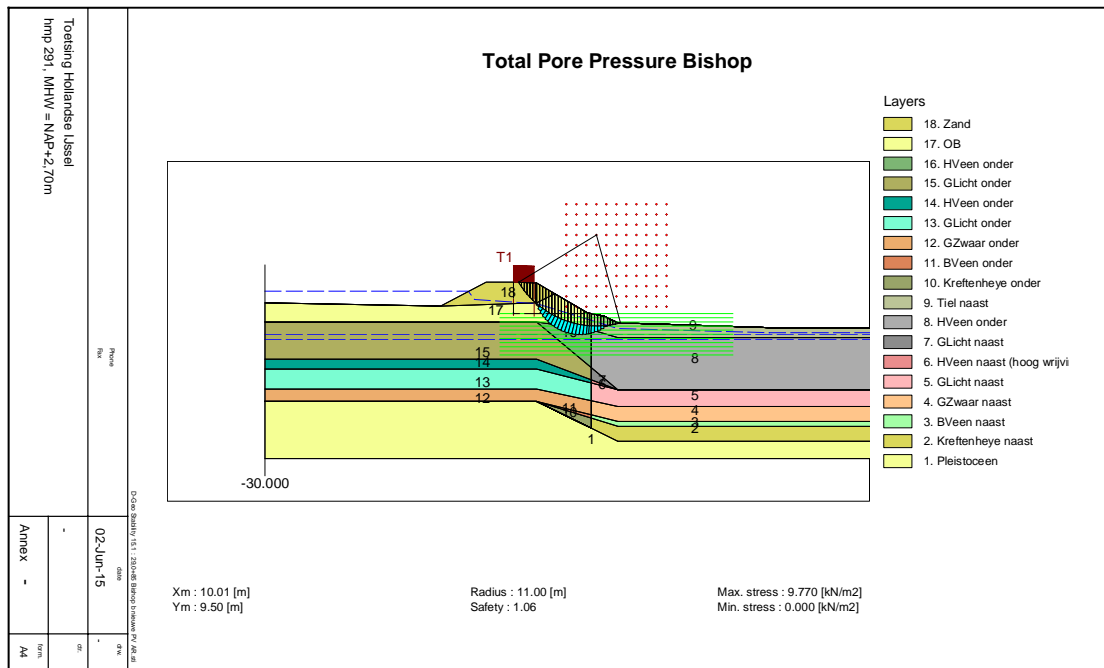
### A.1 Profiel 26.2+75m

- $F_{min}$  0.94 (flink zandcunet?)
- Geen oppervlakkige cirkel (onderzijde cirkel ca. 5 m–MV).
- Intredepunt maatgevende cirkel ca. 4.5 m vanaf binnenkruinlijn.
- Kruinbreedte ca. 6m.



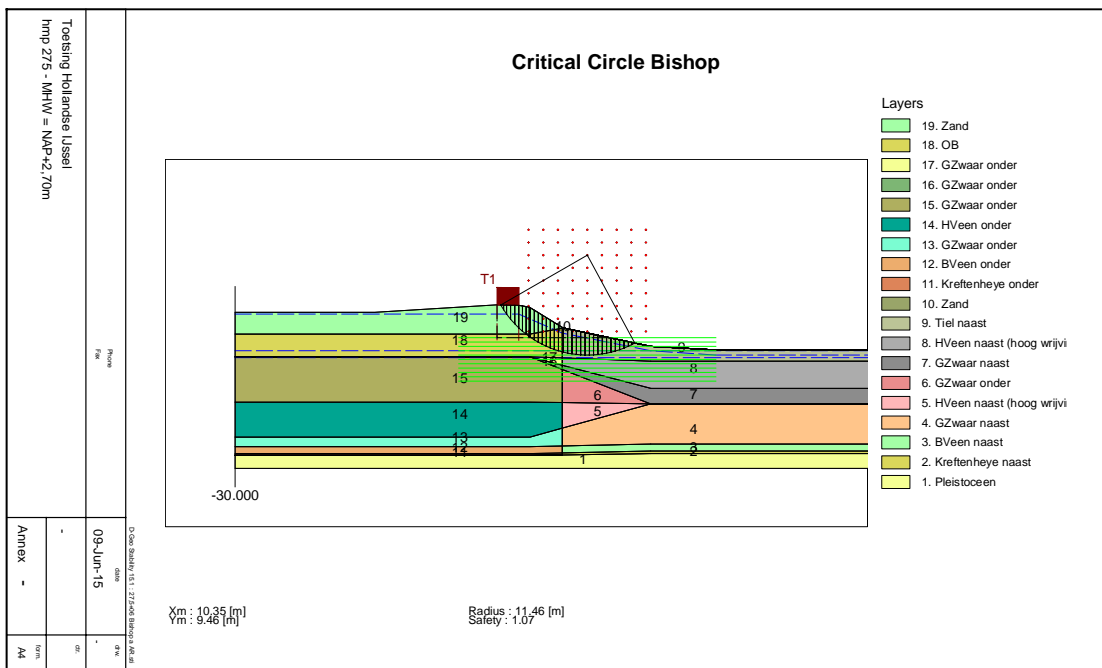
## A.2 Profiel 29.0+85m

- $F_{min}$  1.06 (dijkskern gedeeltelijk zand?)
- Oppervlakkige cirkel (onderzijde cirkel <1 m –MV).
- Intredepunt maatgevende cirkel ca. 2 m vanaf binnenkruinlijn.
- Kruinbreedte ca. 6m.



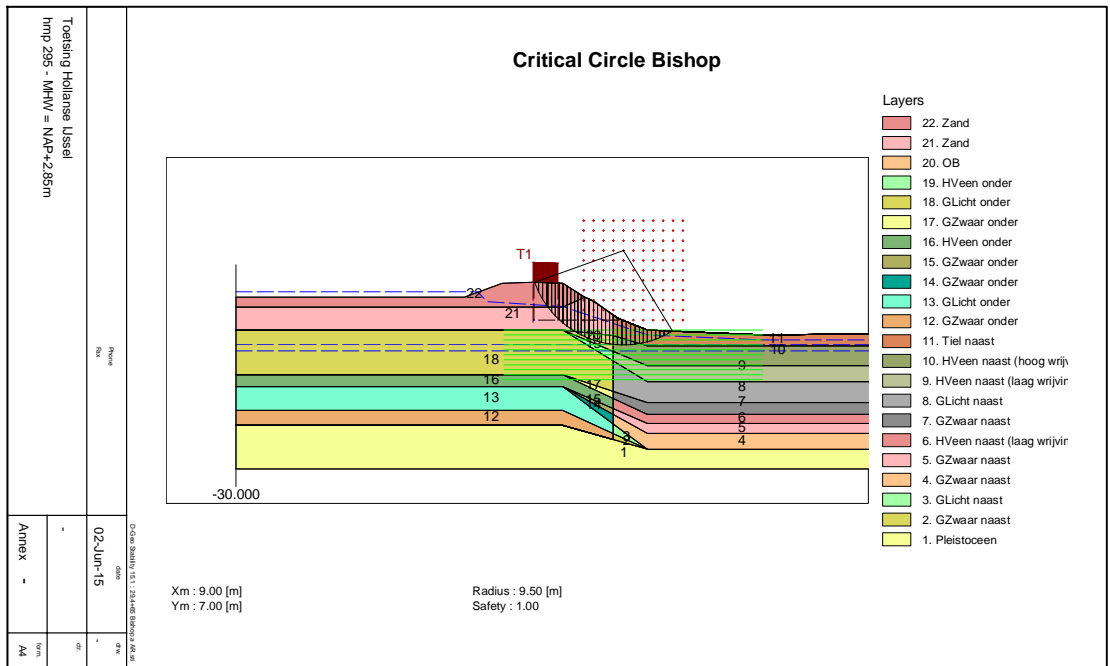
### A.3 Profiel 27.5+06m

- $F_{min}$  1.07 (gehele dijkskern van zand tot NAP +0.5m).
- Oppervlakkige cirkel (onderzijde cirkel <0.5 m –MV).
- Intredepunt maatgevende cirkel ca. 3 m vanaf binnenkruinlijn.
- Kruinbreedte ca. 6m maar breed voorland.



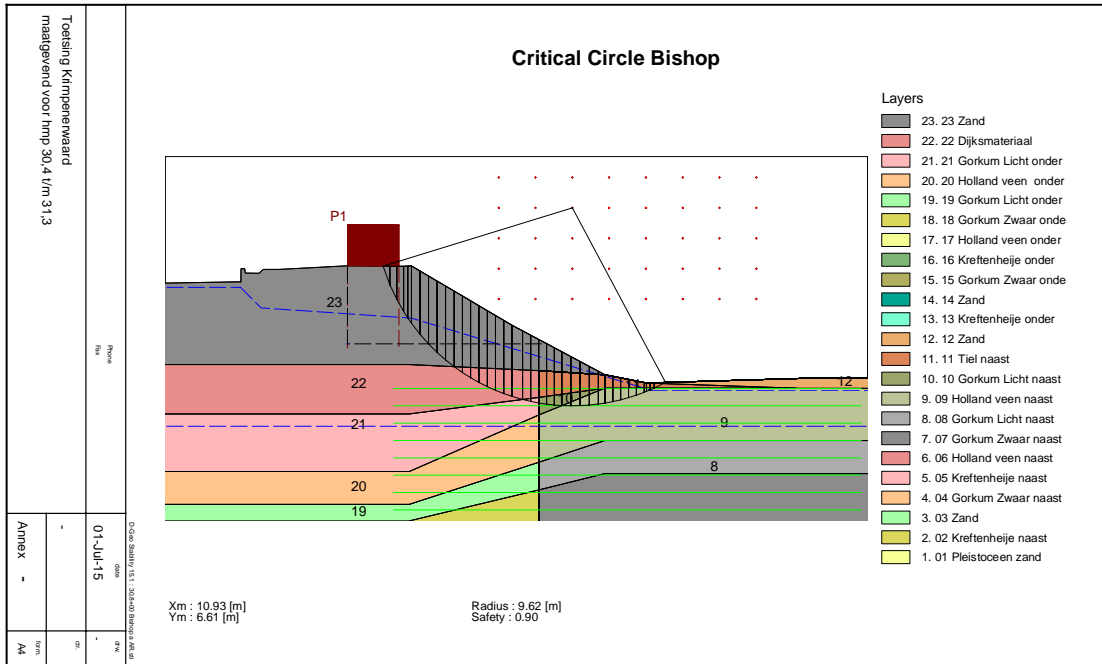
#### A.4 Profiel 29.4+65m

- $F_{min}$  1.01 (dijkskern zand?)
- Oppervlakkige cirkel (onderzijde cirkel 1 m –MV).
- Intredepunt maatgevende cirkel ca. 3 m vanaf binnenkruinlijn.
- Kruinbreedte ca. 6,5m.



### A.5 Profiel 30.80m

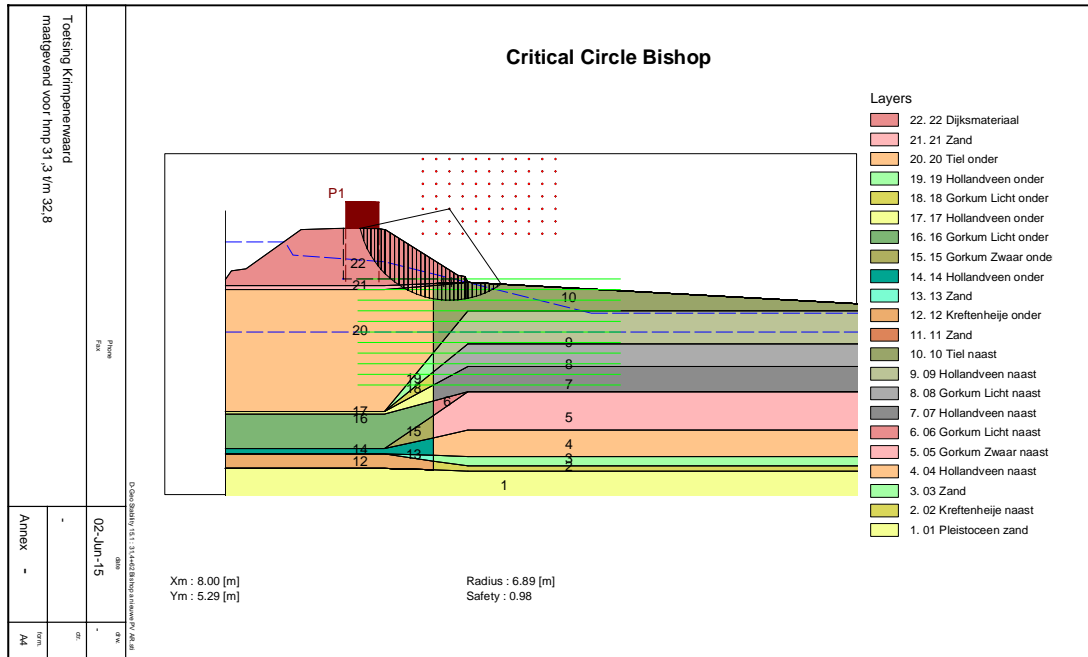
- $F_{min}$  0.90 (dijkskern volledig van zand).
- Oppervlakkige cirkel (onderzijde cirkel 1 m –MV).
- Intredepunt maatgevende cirkel ca. 1.5 m vanaf binnenkruinlijn.
- Kruinbreedte ca. 8 m.





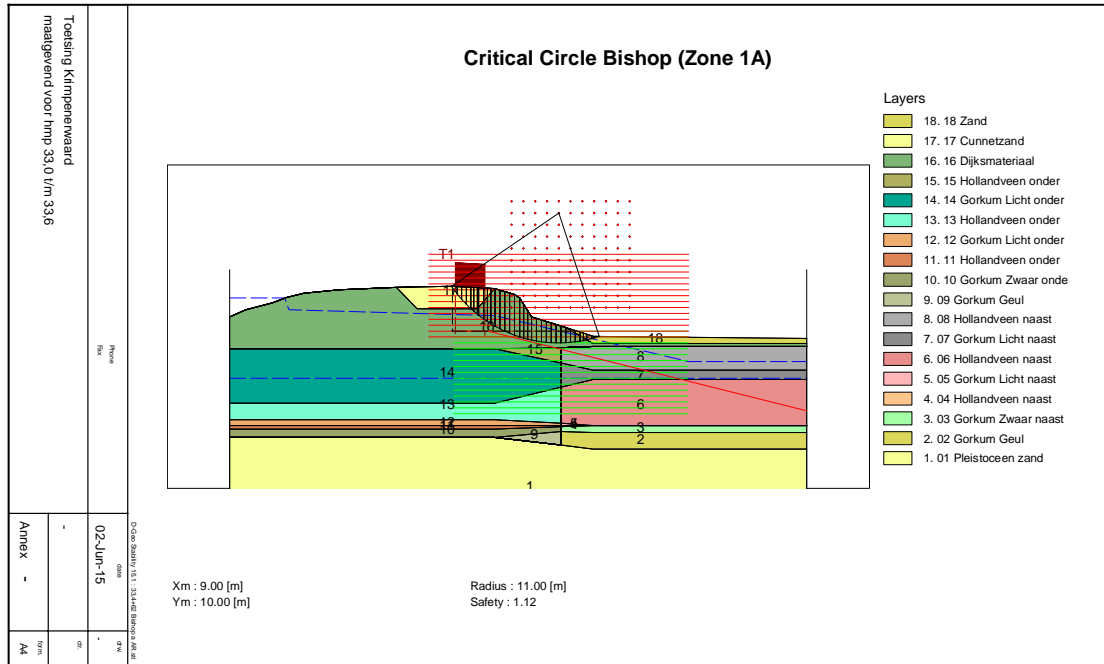
### A.6 Profiel 31.4+62m

- $F_{min}$  0.98 (dijkskern van klei).
- Oppervlakkige cirkel (onderzijde cirkel 1 m –MV).
- Intredepunt maatgevende cirkel ca. 2 m vanaf binnenkruinlijn.
- Kruinbreedte ca. 6.5m.



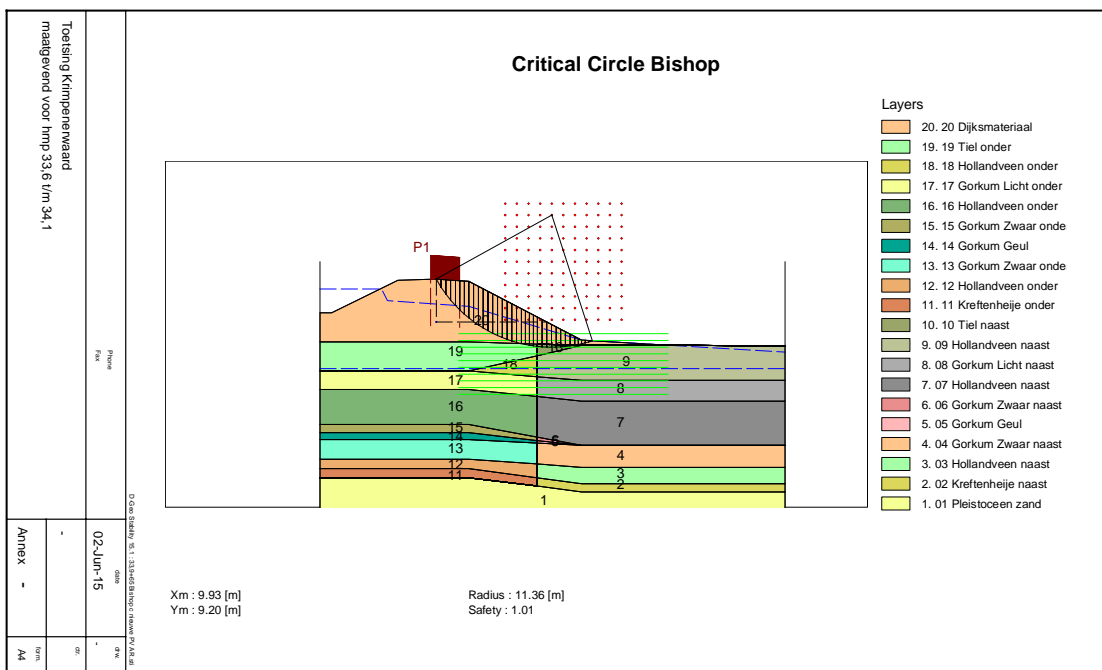
### A.7 Profiel 33.4+62m

- $F_{min}$  1.12 zone 1 (dijkskern van klei maar met flink zandcunet).
- Oppervlakkige cirkel (onderzijde cirkel < 1 m –MV).
- Intredepunt maatgevende cirkel ca. 4 m vanaf binnenkruinlijn.
- Kruinbreedte ca. 16m.



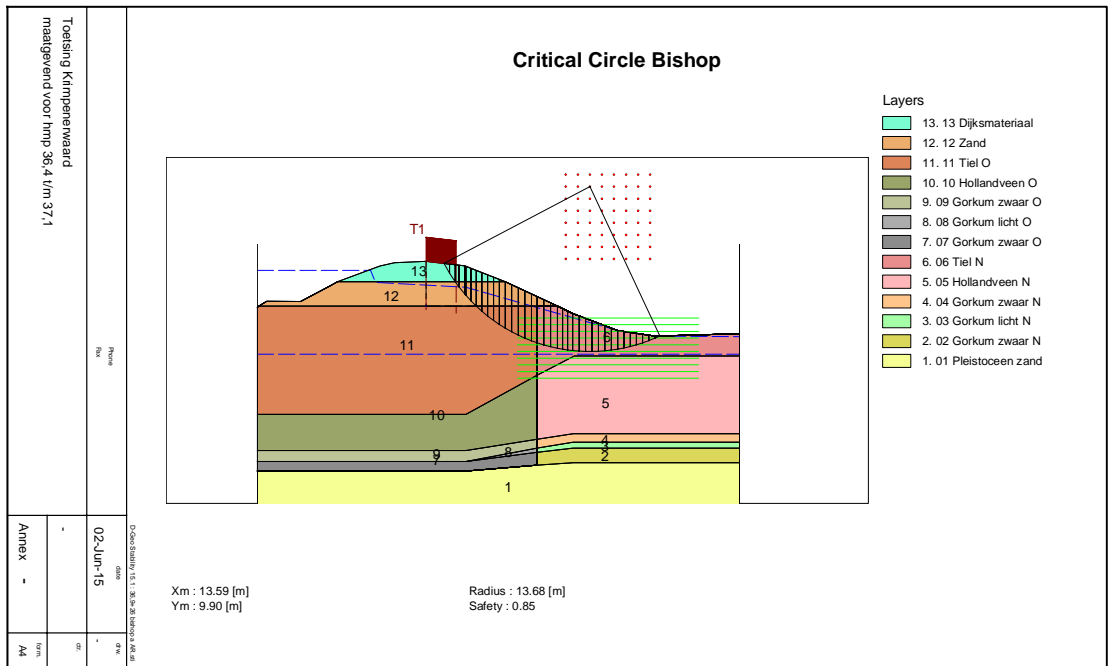
### A.8 Profiel 33.9+65m

- $F_{min}$  1.01 zone 1 (dijkskern van klei).
- Oppervlakkige cirkel (onderzijde cirkel <1 m –MV).
- Intredepunt maatgevende cirkel ca. 2.8m vanaf binnenkruinlijn.
- Kruinbreedte ca. 6m.



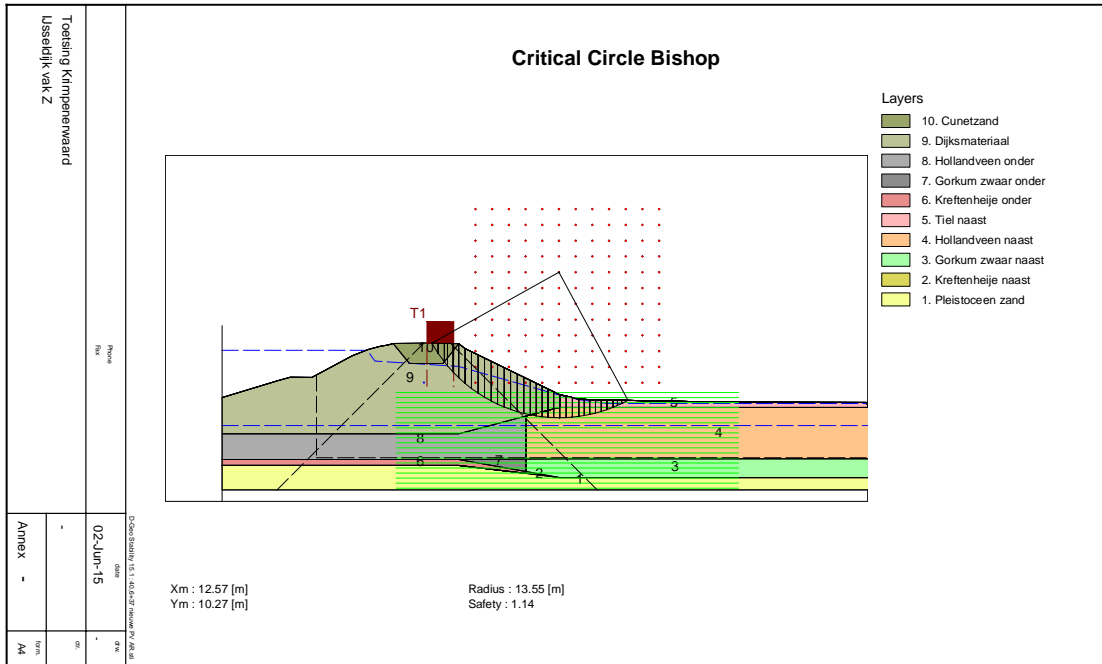
### A.9 Profiel 36.9+26m

- $F_{min}$  0.85 zone 1 (dijkskern van klei maar met tussenzandlaag?)
- Oppervlakkige cirkel (onderzijde cirkel ca. 1 m –MV).
- Intredepunt maatgevende cirkel ca. 3m vanaf binnenkruinlijn.
- Kruinbreedte ca. 6m.



### A.10 Profiel 40.6+37m

- $F_{min}$  1.14 met nieuwe proefverzameling (dijkskern van klei maar met zandcunet).
- Oppervlakkige cirkel (onderzijde cirkel ca.2.5 m –MV).
- Intredepunt maatgevende cirkel ca. 2.5m vanaf binnenkruinlijn.
- Kruinbreedte ca. 6m.





**A.11 Profiel 42.3+40m**

- $F_{\min}$  0.95?
- Berekening klopt mogelijk niet geheel (nader uit te zoeken).

## B Resultaten terreinverkenning HHSK en Deltares, 05-06-2016

### B.1 Verkende dwarsprofielen

D.d. 5-06-2015 is een terreinverkenning uitgevoerd (door HHSK en Deltares). Hierbij is een selectie van dwarsprofielen/locaties verkend met het doel te bepalen of dit geschikte locaties zijn voor het uitvoeren van het actuele sterkteonderzoek in het kader van de POV-M. De te verkennen dwarsprofielen zijn hoofdzakelijk geselecteerd op de volgende criteria:

- Geen voorland aanwezig.
- Profielen waar in het kader van de toetsing stabiliteit analyses zijn uitgevoerd.
- Locaties waar grondonderzoek beschikbaar is uit de toetsing dan wel uit het door Fugro uitgevoerde onderzoek in 2014.
- Profielen waar in 2004 al eens over is nagedacht om actuele sterkte onderzoek in te verrichten.

De volgende profielen zijn geselecteerd:

- Km 24.58 (niet bezocht).
- Km 26.275.
- Km 26.45.
- Km 29.465.
- Km 29.60.
- Km 30.60.
- Km 31.462.
- Km 31.57 of 31.65.
- Km 32.30.
- Km 32.45.
- Km 33.26.
- Km 33.462.
- Km 33.965.
- Km 34.20 of 34.30.
- Km 36.80 of 36.926.
- Km 38.087.
- Km 38.413.
- Km 38.50.
- Km 40.637.
- Km 42.34 (niet bezocht).

Navolgend worden deze profielen besproken.

### B.2 Km 24.58

In 2004 is voorgesteld dit profiel te kiezen (zie paragraaf 3.2.10). Buitendijks is echter voorland met bebouwing aanwezig. Daarnaast mag wordt verwacht dat opdrijven hier relevant is waardoor dit profiel minder geschikt is.

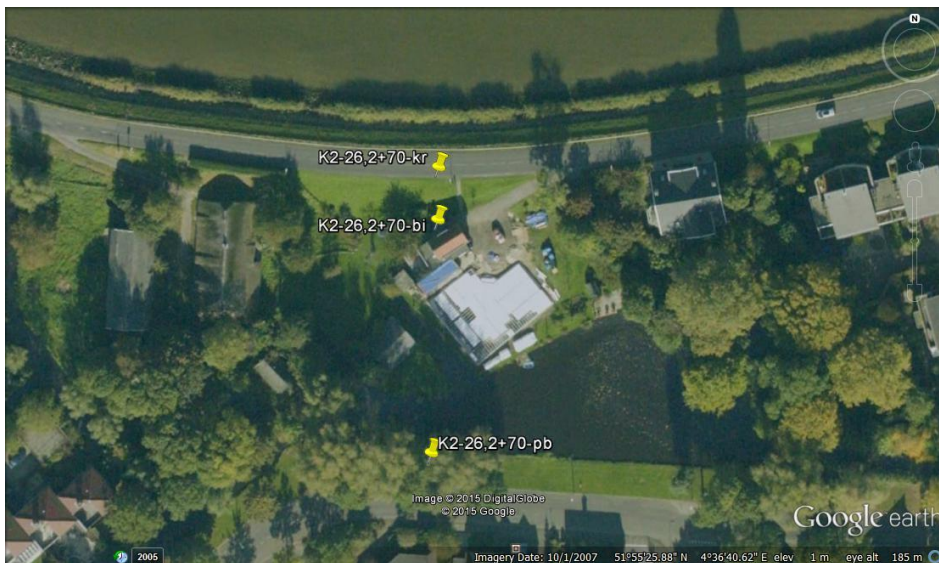
Relevantie / Prioriteit profiel: 5.0 (op schaal van 1 tot 10) waarbij 10 een perfecte score is die aangeeft dat dit profiel uitstekend geschikt is om te onderzoeken binnen het project 'Beter benutten actuele sterkte'.

### B.3 Km 26.275

- Volgens gegevens van HHSK (Arnold van der Kraan) is de dijk hier juist hoog genoeg.
- Profiel is berekend; vrij slechte stabiliteit 0.94, diep glijvlak (5m –mv en intredepunt cirkel 4,5 m vanaf de binnenkruinlijn).
- Valt binnen scope van KIJK.
- In oprijfgebied. Hoewel verwacht wordt dat dit zal meevallen gezien de grote afstand tot de Stormvloedkering.
- In kader toetsingsonderzoek 3pr's (km 26.30) en 2 peilbuizen (km 26.20) geplaatst. Uit waterspanningsmeters volgt een hoogte van de freatische lijn van circa NAP+2 m met filter op NAP +1.61m. De stijghoogte is verre van hydrostatisch. Peilbuisnr. 3 en 4 geven een gemiddelde stijghoogte ongeveer NAP -2.3m á -2.7m.
- Binnentalud en binnenteen goed toegankelijk.
- Over 35m breedte geen bebouwing binnendijs.
- grondonderzoek is verder uitgevoerd bij 26.330 (sondering in kader toetsing).
- Vraag was voorsnog of n.a.v. de stormvloedramp in 1953 het binnendijs gebied hier ter plaatse is geïnundeerd (dit bleek niet het geval). In principe zouden deze dijktrajecten voorlopig buiten beschouwing kunnen worden gelaten omdat een hoge waterstand binnendijs tegen de dijk de stabiliteit van het binnentalud verhoogd. Dit maakt de kans op succes van het actuele sterkte onderzoek minder. Echter, de polder kan weliswaar zijn geïnundeerd, maar dit hoeft niet te betekenen dat het water tot aan de binnenteen is gekomen. Als de inundatiewaterstand verder dan ca. 5 á 10 m uit de binnenteen is gebleven zal de stabiliteit van het binnentalud daardoor niet positief zijn beïnvloed (gezien de hier relatief kleine maatgevende glijvlakken). Daarnaast kan dit dwarsprofiel mogelijk goed worden gebruikt in het geval de huidige situatie als historische situatie wordt beschouwd.







Dp 26.275

Prioriteit profiel: 7.5.

#### B.4 Km 26.45

- Profiel is niet berekend in het kader van de toetsing. Verwachting is betere stabiliteit dan 26.275, aangezien voor dit vak  $F_{min}$  van 1.07 is berekend in dwarsprofiel km 27.5+06m. Dit profiel is echter in het kader van de toetsing niet als maatgevend profiel voor het dijktraject gekozen. Als de berekende stabiliteit van dit profiel gelijk of lager is dan bij 27.5+06 (dit is het maatgevende profiel voor dit dijktraject volgens de toetsing) dan zou profiel 26.45 een goede keuze voor het actuele sterkte onderzoek zijn.
- Mogelijk ligt het maatgevende glijvlak hier dieper dan bij 26.275.
- Valt binnen scope KIJK.
- In oprijfgebied. Hoewel verwacht wordt dat dit zal meevallen gezien de grote afstand tot de Stormvloedkering.
- Fugro heeft eerder onderzoek uitgevoerd met peilbuis en waterspanningsmeters:
  - Sonderingen: DKM1KR; DKM1BIT; DKM1AL.
  - Boringen: B1KR; B1Bit (uit kruinboring volgt zandcunet tot NAP +2.72m. Kruinboring echter uitgevoerd op aangevulde voorland op 8 m uit hart kruin) boring BIT op 23.7m van hart kruin).
  - Waterspanningsmeters: 3 \* bij 01BIT en 2\* bij 01KR (mogelijk zijn/waren de filterhoogtes onbekend?).
  - Peilbuizen: 2 peilbuizen (stijghoogte ongeveer NAP -2.5 a -2.3m).
- Peilbuizen zijn al eerder geplaatst en gemeten. Reactie is heel gering maar er zijn slechts incidentele metingen uitgevoerd.
- Binnentalud en binnenteen goed toegankelijk.
- Over 25m breedte geen bebouwing binnendijks.
- Kruin is breed (ca. 20m) door buitendijkse parkeerplaats.
- Uit toetsingsonderzoek volgt ook dat in de binnenteen onderzoek is uitgevoerd. (sondering en boring).

Prioriteit profiel: 6.0 (Echter indien profiel maatgevend blijkt dan 7.5).



Dp 26.45

### B.5 Km 29.465

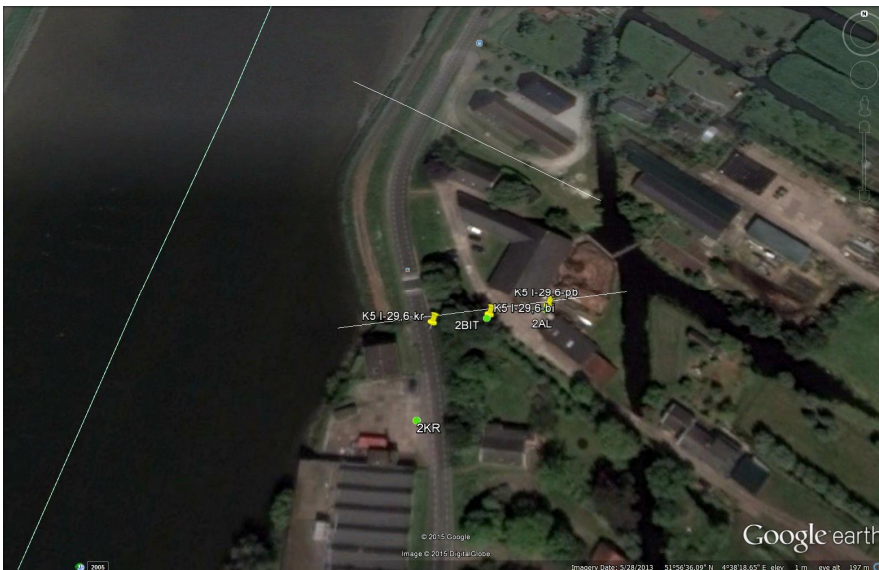
- Profiel is berekend:  $F_{min}$  1.00.
- Valt binnen scope van KIJK.
- In oprijfgebied. Hoewel verwacht wordt dat dit hel erg zal meevallen gezien de grote afstand tot de Stormvloedkering. (3km) en zeer beperkte respons.
- Binnentalud en binnenteen zijn niet goed toegankelijk.

Prioriteit profiel: 5.0.

## B.6 Km 29.60

- Dit profiel is niet berekend in het kader van de toetsing (verwachting is een stabiliteit van ca. 1.00 omdat dit profiel onderdeel uitmaakt van het vak waarvoor  $F_{min}$  1.00 is berekend voor km 29.465m). Als de berekende stabiliteit van dit profiel gelijk of lager is dan bij 29.4+65 (dit is het maatgevende profiel voor dit dijktraject volgens de toetsing) dan is profiel 29.60 een goede keuze voor het actuele sterkte onderzoek.
- Dijkskern is mogelijk van zand volgens geschematiseerde dwarsprofiel 29.465. Dit is echter gebaseerd op zeer weinig onderzoek ter plaatse van de kruin.
- Valt binnen scope van KIJK.
- In opdrijfgebied. Hoewel verwacht wordt dat dit hel erg zal meevallen gezien de grote afstand tot de Stormvloedkering. (3km) en zeer beperkte respons.
- Vanuit toetsingsonderzoek geen onderzoek in de teen uitgevoerd (wel bij km 29.72).
- Fugro onderzoek uitgevoerd bij km 29.60:
  - Sondering: DKM2AL.
  - Boring: B2AL.
  - Peilbuizen: 1pb in achterland (stijghoogte circa NAP -3.2m).
  - Is er door Fugro niet meer onderzoek uitgevoerd (blijkbaar niet).
- Over 50m (km 29.60-29.65) is bebouwing verder uit de teen waardoor grondonderzoek en proefbelasting uitvoerbaar zou moeten zijn.

Prioriteit profiel: 6.0 (Echter indien profiel maatgevend blijkt dan 7.0).





km 29.60

#### B.7 Km 30.60/30.32

- De profielen 30.60 en 30.32 zijn niet berekend in het kader van de toetsing. Dwarsprofiel 30.80, dat in hetzelfde vak valt, is wel berekend.  $F_{min}$  is 0.90 en erg laag. Profiel 30.8 is echter over slechts circa 20m vrij van opritten. En dus niet geschikt voor aanbrengen van een proefbelasting.
- Valt binnen scope van KIIJK.
- Fugro onderzoek uitgevoerd ter plaatse van. km 30.32:
  - Sonderingen: DKM3KR-A (3BIT niet uitgevoerd) bij km 30.3+20m (hieruit volgt kleikern met zandcunet).
  - Geen peilbuis en geen waterspanningsmeters geplaatst.
- Binnentalud en binnenteen zijn slecht toegankelijk. Opritten aanwezig. T.p.v. 30.33 is geen bebouwing over 60m breedte. Over circa 30 daarvan is geen oprit aanwezig. Dit profiel is echter ook niet berekend. Als de berekende stabiliteit van dit profiel gelijk of lager is dan bij 30.80 (dit is het maatgevende profiel voor dit dijktraject volgens de toetsing) dan is profiel 30.32 een redelijk goede keuze voor het actuele sterkte onderzoek.

Prioriteit profiel: 5.0 (profiel 30.32 mogelijk wel 6.0 Echter indien profiel maatgevend blijkt dan 7.0).

#### B.8 Km 31.462

- De stabiliteit is hier in het kader van de toetsing berekend.  $F_{min}$  is 0.97.
- Het dwarsprofiel bevindt zich nabij huisnr. 220.
- Veel bebouwing en opritten binnendijs aanwezig. Hierdoor is er geen ruimte om grondonderzoek uit te voeren.

Prioriteit profiel: 5.0.

### B.9 Km 31.57 of Km 31.65

- De stabiliteit is hier niet berekend in het kader van de toetsing. De stabiliteit is wel berekend in hetzelfde vak bij km 31.4+62 en  $F_{min}$  was daar 0.97.
- Valt binnen scope van KIJK.
- Fugro onderzoek is uitgevoerd bij km 31.93:
  - Sonderingen: DKM 4KR; DKM4BIT; DKM4AL.
  - Boring: B4Bit.
  - Waterspanningsmeters: 3\*bij 04BIT en 3\* bij 04KR.
  - Peilbuizen: 4 peilbuizen (ook tussenzandlaag?)
- T.p.v. 31,93 is echter veel bebouwing en zijn opritten aanwezig waardoor het geen geschikte locatie is. Hetzelfde geldt voor 31.4+62.
- Binnentalud en binnenteen wel goed toegankelijk tussen 31.64 -31.70.
- Over 50m breedte geen bebouwing binnendijs.
- Geen onderzoek exact op de locatie van 31.64-31.70 in binnenteen. T.p.v. de kruin in profiel 31.8 bestaat de dijkskern uit klei.
- Buitendijs is volgens gegevens van het HHSK (Arnold van der Kraan) circa 5 jaar geleden een taludverflauwing en een stortberm aangebracht.
- In binnenteen bij profiel 31.65 lijkt een zeer kleine binnenberm te zijn aangebracht, waardoor de stabiliteit hier wellicht iets hoger is dan in de aangrenzende stukken. Profiel 31.65 is mogelijk slechts representatief /maatgevend voor 50m. Hiermee een minder geschikt en mogelijk niet representatief profiel.
- Echter indien profiel Dp 31.6+50 maatgevend blijkt (dus lagere berekende stabiliteitsfactor dan 31.4+62) dan is de prioriteit-score 7.0). Hiervoor is het uitvoeren van gevoeligheidsanalyses noodzakelijk.

Prioriteit profiel: 6.0 (31.65) (Echter indien profiel maatgevend blijkt dan 7.0).



Dp 31.65



*Dp 31.65 (met kleine binnenberm)*

#### **B.10 Km 32.30**

Dit dwarsprofiel is tijdens de terreinverkenning bekeken maar dit was een vergissing. Bedoeling was om 33.26 te bekijken omdat daar aanvankelijk het grondonderzoek zou worden uitgevoerd door Fugro. Bij nader inzien is dit onderzoek uitgevoerd in km 33.46. Bij deze dwp (32.3) is veel bebouwing aanwezig en grondonderzoek kan nauwelijks op talud en binnendijs worden uitgevoerd.

Prioriteit profiel: 4.0.

#### **B.11 km 32.45**

Dit dwarsprofiel is tijdens de terreinverkenning bekeken maar dit was een vergissing. Bedoeling was om 33.26 te bekijken.

Echter:

- De stabiliteit is niet berekend in het kader van de toetsing. De stabiliteit is wel berekend in hetzelfde vak bij 31.4+62 en  $F_{min}$  was daar 0.97.
- Valt binnen scope van KIJK
- Binnentalud en achterland zijn goed toegankelijk bij 32.45 of 32.40 (32.40 zou nader moeten worden bekeken om dit te kunnen bevestigen). Volgens Google Earth is het een goede locatie maar tijdens de terreinverkenning is dat nog onvoldoende onderzocht.
- Over 25m breedte ontbreekt bebouwing binnendijs. Proefprofiel zou juist noordelijk of zuidelijk van de oprit ter plaatse van 32.43 kunnen worden gekozen.
- T.p.v. 32.4 is een boring en sondering binnendijs uitgevoerd in het kader van de toetsing.

Prioriteit profiel: 5.0

#### **B.12 Km 33.26**

- De stabiliteit is niet berekend in het kader van de toetsing.
- Valt binnen de scope van KIJK.
- Binnentalud en binnenteen slecht toegankelijk.

- Aanvankelijk was hier grondonderzoek gepland dat door Fugro zou worden uitgevoerd (voorstel 2013 Deltares). Dit is echter door Fugro in 2014 uitgevoerd in 33.462.

Prioriteit profiel: 5.0.

### B.13 Km 33.462

- De stabiliteit is in dit profiel berekend in het kader van de toetsing.  $F_{min}$  is 1.12. In de som is een zandcunet gemodelleerd, maar uit boring Fugro 2014 volgt een zandlaag van NAP -0.5m tot +1.5m. Dit verdient nader onderzoek.
- Valt binnen de scope van KIJK.
- In het kader van het Toetsingsonderzoek is een sondering (W12) in het achterland op 13 á 14 m uit as weg uitgevoerd. Diepe zand begint hier op NAP -10m.
- Fugro onderzoek uitgevoerd bij km 33.46:
  - Sondering DKM5BIT; is wel uitgevoerd.
  - Boring: B5KR; (uit kruinboring volgt Fugro 2014 volgt een zandlaag van NAP -0.5 tot +1.5 (met puin en laagjes klei)) Ook volgt hieruit dat diepe zand op NAP -9.5m begint.
  - Geen waterspanningsmeters beschikbaar.
  - Peilbuizen: 2 peilbuizen geplaatst (in kruin en binnentalud) Deze geven stijghoogte NAP- 4.6 a -4.8m.
- Het binnentalud en de binnenteen zijn goed toegankelijk tussen 33.43-33.7. Over een breedte van 40m is geen bebouwing binnendijs aanwezig. Dat wil zeggen, de bebouwing begint pas op grotere afstand uit de teen.
- In het kader van de toetsing is onderzoek exact op de locatie van 33.46 in binnenteen uitgevoerd. (tussenzandlaag met top op NAP -10m.).
- In binnenteen is een betonnen/stenen keermuur aanwezig die waarschijnlijk niet dieper dan een paar meter onder maaiveld is geplaatst. Dit moet onderzocht worden als dit profiel wordt gebruikt voor stabiliteitsanalyses.
- Bijkomend voordeel is dat minder verkeer gebruik maakt van de dijkweg waardoor evt. wegafsluiting eenvoudiger is te realiseren.

Prioriteit profiel: 7.5 (Opgemerkt wordt dat wel dient te worden onderzocht hoe diep de keermuur zit).



Dp 33.462



Dp 33.462

#### B.14 Km 33.965

- De stabiliteit is in dit profiel berekend in het kader van de toetsing.  $F_{min}$  is 0.98 (berekend in 2004). Het dwarsprofiel is in 2015 opnieuw berekend en geeft een iets andere stabiliteitsfactor namelijk 1.01. In de som is een kern van klei gemodelleerd. Uit het Fugro onderzoek uitgevoerd in 2014 ter plaatse van de kruin volgt een zandlaag van NAP +2 tot NAP +0. De kruinhoogte in de boring is echter NAP +2 en is op buitendijks voorlandje uitgevoerd.
- Valt binnen traject KIJK.
- Het Fugro onderzoek is niet uitgevoerd in dit dwp maar is verderop uitgevoerd bij 34.05 en 34.15:
  - Sondering: DKM6KR.
  - Geen boringen.
  - Geen waterspanningsmeters.
  - Peilbuis: 1pb geplaatst in kruin.
- Binnentalud en binnenteen goed toegankelijk.
- 30m breedte geen bebouwing binnendijks.
- Bijkomend voordeel is dat minder verkeer gebruik maakt van de dijkweg.

Prioriteit profiel: 8.5.





Dp 33.965



Dp 33.965

**B.15 Km 34.20**

- De stabiliteit in dit profiel is niet berekend in het kader van de toetsing. Dit profiel valt in zelfde vak als 33.965 en het is daarom niet zinvol dit profiel te beschouwen, ervan uitgaande dat profiel 33.965 wel wordt beschouwd.
- Valt binnen de scope van KIJK.
- Fugro onderzoek is destijds niet uitgevoerd in dit dwarsprofiel maar is verderop uitgevoerd bij 34.05 en 34.15:

- Sondering: DKM6KR.
- Geen boringen.
- Geen waterspanningsmeters.
- Peilbuis: 1pb geplaatst in kruin.
- Binnentalud en binnenteen zijn goed toegankelijk.
- Over een breedte van 30m is geen bebouwing binnendijs aanwezig.

Prioriteit profiel: 5.0.

#### **B.16 Km 34.30**

- Dit profiel is niet berekend in het kader van de toetsing.
- Binnendijs zijn hier overal opritten en bebouwing direct in de binnenteen aanwezig. Niet toegankelijk voor uitvoeren grondonderzoek.
- Fugro onderzoek is hier destijds ook niet uitgevoerd.

Prioriteit profiel: 4.0.

#### **B.17 Km 36.80**

- De stabiliteit is hier niet berekend in het kader van de Toetsing. Dit profiel valt in hetzelfde vak als 36.926 en het is daarom niet zinvol dit profiel te beschouwen ervan uitgaande dat profiel 36.926 wel wordt beschouwd.
- Valt binnen de scope van KIJK.
- Geen Fugro onderzoek uitgevoerd bij 36.95.
- Binnentalud en binnenteen zijn goed toegankelijk.
- Over 30m breedte is geen bebouwing binnendijs.
- Een sondering uit het Toetsingsonderzoek is exact op de locatie van 36.8 in de binnenteen en de kruin uitgevoerd. Uit de kruinsondering Y19 volgt een zandlaag van NAP +0.5 tot +1.5 m.

Prioriteit profiel: 6.0.

#### **B.18 Km 36.926**

- De stabiliteit is berekend in het kader van de toetsing in profiel 36.926.  $F_{min}$  is 0.85 (hierbij is een zandlaag in de kern gemodelleerd).
- Valt binnen de scope van KIJK.
- Er is geen terreinonderzoek vanuit de toetsing beschikbaar in de directe omgeving, behalve Y-12 bij Dp 37.020.
- Fugro onderzoek uitgevoerd bij 36.95:
  - 8KR niet uitgevoerd?
  - 8BIT niet uitgevoerd?
  - 8AL niet uitgevoerd?
  - Geen waterspanningsmeters.
  - Geen peilbuis.
- Binnentalud en binnenteen zijn goed toegankelijk. Hierbij dient echter te worden opgemerkt dat het binnendijs terrein en het binnentalud eigendom zijn van het Zuid-Hollandslandschap. Op dit terrein is zeldzame beplanting aanwezig.
- Over een breedte van ca.40m is geen bebouwing binnendijs aanwezig en de toegankelijkheid lijkt nauwelijks een probleem.

Prioriteit profiel: 8.0.



Km 36.926



Km 36.926

**B.19 Km 38.087**

In 2004 is voorgesteld dit profiel te kiezen voor het bewezen sterkteonderzoek (zie paragraaf 3.2.10). Buitendijks is echter bebouwing aanwezig. Binnendijks is ook enige bebouwing en zijn opritten aanwezig waardoor het aanbrengen van een evt. proefbelasting lastig zal worden.

Prioriteit profiel: 5.5.

### B.20 Km 38.413

- De stabiliteit is berekend in het kader van de toetsing in het profiel ter plaatse van km 38.413.  $F_{min}$  is 1.04 (hierbij is een zandlaag in de kern gemodelleerd).
- Lokaal ter plaatse van 38.38 tot 38.40 is het profiel iets gunstiger (qua stabiliteit) dan in de rest van het vak. De binnenteen lijkt hier iets hoger te liggen.
- Valt niet binnen de scope van KIJK.
- Er is geen grondonderzoek uit de toetsing beschikbaar direct in de binnenteen.
- Binnentalud en binnenteen zijn goed toegankelijk.
- Over slechts 15m breedte zijn geen opritten aanwezig en bebouwing binnendijs is daar op voldoende afstand van de binnenteen.

Prioriteit profiel: 5.0.

### B.21 Km 38.50

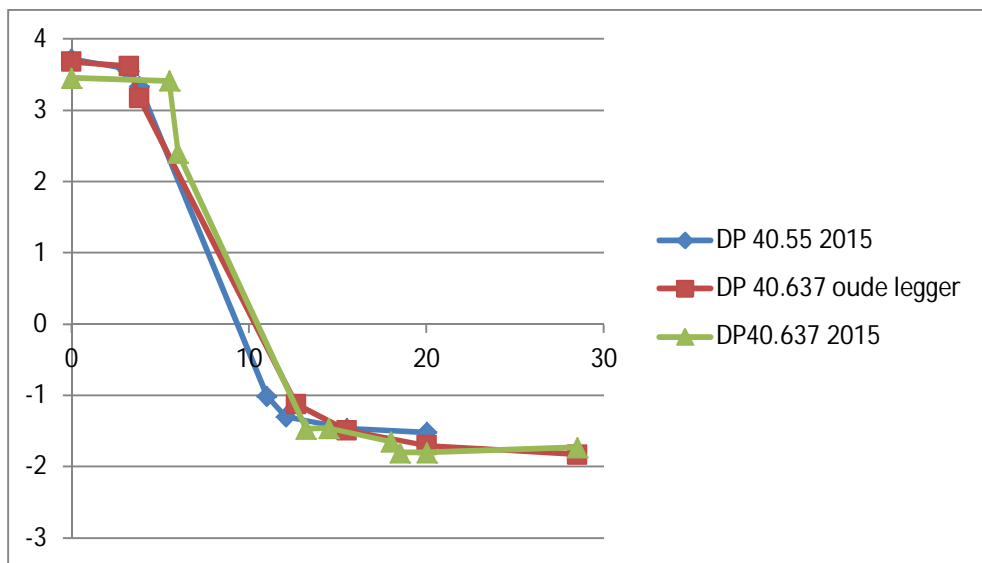
Hier ter plaatse is binnendijs geen bebouwing en zijn geen opritten aanwezig over een breedte van circa 35m. Als het profiel hier net zo ongunstig is als in profiel 38.413 zou dit dwarsprofiel een redelijke keuze voor het actuele sterkteonderzoek kunnen zijn. Vooralsnog gaan we hier echter niet van uit.

Prioriteit profiel: 5.5.

### B.22 Km 40.637 / 40.55

- De stabiliteit is in het kader van de toetsing berekend in het profiel ter plaatse van km 40.637.  $F_{min}$  is 1.10 (In de som is een kern van klei met een zandcunet gemodelleerd).
- Valt niet binnen de scope van KIJK.
- Bij 40.56 is binnendijs vanuit oud onderzoek een sondering in de kruin beschikbaar (niet in het kader van de toetsing uitgevoerd). Er is geen onderzoek op de kruin aanwezig. Bij 40.637 is geen grondonderzoek beschikbaar.
- Het binnentalud en de binnenteen zijn goed toegankelijk van km 40.52 tot 40.57. T.p.v. 40.637 is het binnentalud mogelijk wel toegankelijk maar de teen waarschijnlijk niet. Door de vele bebouwing bij 40.637 kan hier moeilijk een bovenbelasting worden aangebracht i.v.m. mogelijke invloed op de bebouwing.
- Over 50m breedte is geen bebouwing binnendijs aanwezig van km 40.52-40.57.
- Op basis van de terreinverkenning is onduidelijk of profiel 40.637 wellicht slechter is dan 40.55. Hiervoor zijn de beide profielen met elkaar vergeleken in onderstaande schets waaruit volgt dat 40.55 gelijk is aan 40.63.

Prioriteit profiel: 7.5 (bij profiel 40.55).



Km 40.55



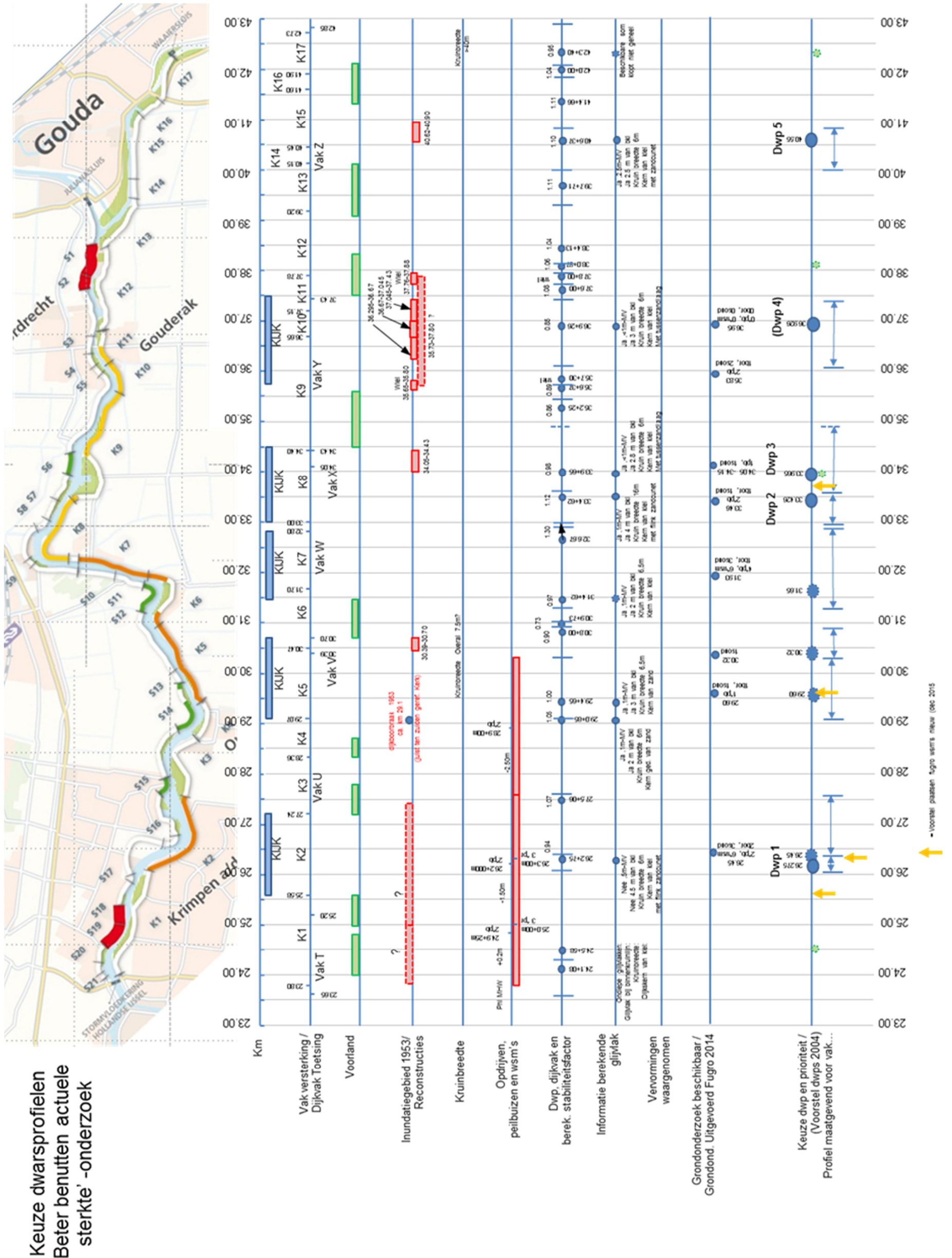
*Km 40.55*

**B.23 Km 42.34 (voorland)**

Omdat hier een breed voorland aanwezig is lijkt het voor dit onderzoek niet zinvol/handig om hier een proeftraject te kiezen.

Prioriteit profiel: 4.0.

### C Grafische samenvatting keuze dwarsprofielen



## D Principe D-Geostability met capillaire zone

In de figuur op de volgende bladzijde is de wijze geschetst waarop het (negatieve) waterspanningsverloop boven de freatische lijn kan worden geschematiseerd in D-GeoStability (interne versie specifiek gemaakt voor dit project, zie onderstaande figuur).



Figuur D.1 D-GeoStability version 16.1.2.501 (Alpha version)

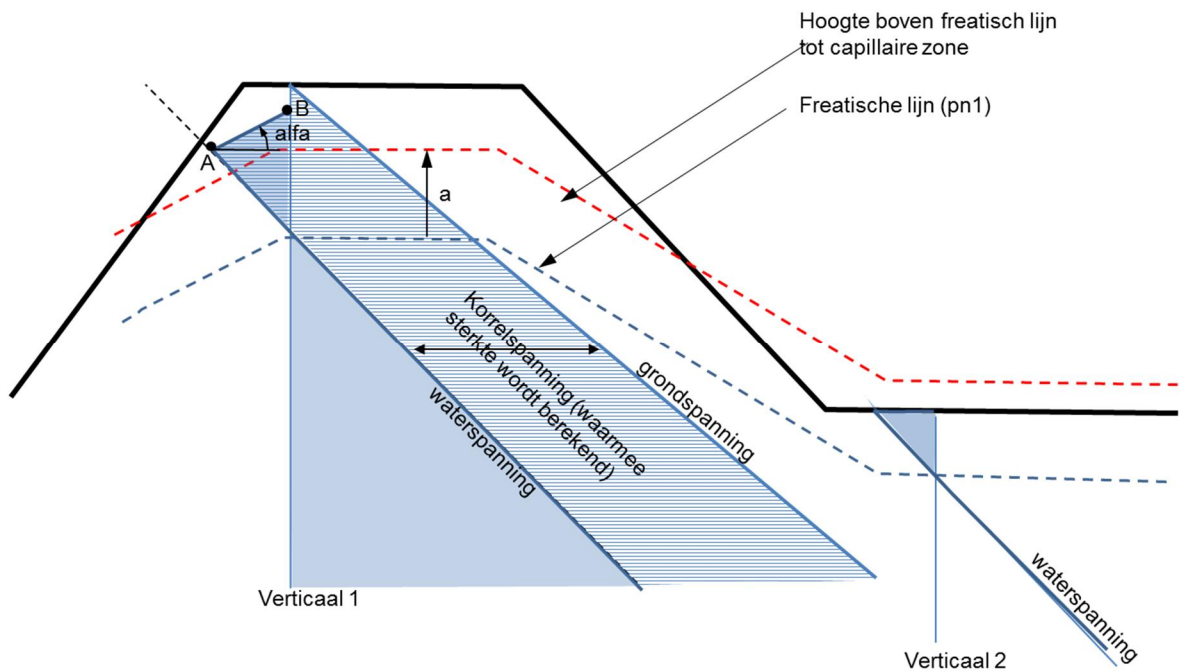
In de zone boven de freatische lijn met hoogte 'a' is het waterspanningsverloop hydrostatisch. Als punt A in de verticaal boven het maaiveld komt dan wordt tot het maaiveld hydrostatisch waterspanningsverloop aangehouden (zoals bij verticaal 2 is aangegeven).

Als de hoogte van punt A onder het maaiveldniveau in de betreffende verticaal ligt dan wordt vanaf punt A het waterspanningsverloop geschematiseerd onder een hoek alfa. Hoek alfa kan variëren tussen 0 en 135 graden (waarbij 135 graden hydrostatisch verloop betekent). Als de hoogte van punt B onder het maaiveld niveau ligt wordt de waterspanning boven punt B nul.

De schuifsterkte van de grond wordt dus bepaald rekening houdende met de negatieve waterspanningen. In GeoStability moeten deze dus niet op nul worden gesteld.

De maat 'a' is in de hele som gelijk.





In de genoemde D-GeoStability versie kan met bovengenoemde worden gerekend door handmatig de onderstaande tekst in de reeds gemaakte invoerfile (.sti) tussen te voegen voor de tekst **[WATER PRESSURE ON HORIZONTAL BAR]:**

**[NEGATIVE PORE PRESSURE ALLOWED]**

1.00 = length of negative zone

90.00 = angle from of negative reduction zone (deg)

1 negative pore pressure above freatic line is allowed

Waarin:

- Length of negative zone = 'a' is hoogte boven het freatisch vlak tot waar het waterspanningsverloop hydrostatisch is.
- Aangle from of negative reduction zone (deg) = Hoek alfa die kan variëren tussen 0 en 135 graden (waarbij 135 graden hydrostatische verloop betekent).

D-2

## E Resultaten Macro stabiliteit binnentalud

dwars- profiel	Dp	omschrijving	berekende stabiliteitsfactoren			model	verschil met file-1 [%]	Kruin- hoogte [m+NAP]	MHW [m+NAP]	filenaam:	opmerkingen:
			maatgeven de cirkel	zone-1 (norm=1,19)	zone-2 (norm=1,11)						
1	Dp 26.2+75m	huidige situatie volgens Toetsing: Zandcunet van NAP +3.90m tot +1.50m; Dijkmateriaal tot NAP -1.80m; freatische lijn buitenkruin NAP +1.70m en binnenkruin NAP +1.20m; Hydrostatisch in kruin tot NAP -6.4 en in teen tot NAP -2	1.24	1.24	1.33	LiftVan 2)		3.90	2.70	26,2+75 LiftVan a.sti	zonering onjuist, 1 horizontale raaklijn; cirkeldiepte tot NAP -6.5
			0.94	<b>0.94</b>	0.97	Bishop				26,2+75 Bishop a.sti	zonering onjuist
			0.99	0.99	1.03	Bishop Pseudo				26,2+75 Bishop b.sti	zonering onjuist
		Als hierboven maar in teen hydrostatisch tot NAP -6.1m, juiste zonering en meerdere raaklijnen in model LiftVan, juiste zonering	0.84	<b>0.84</b>	0.99	LiftVan 2)	-			26,2+75 LiftVan a 1.sti	cirkeldiepte NAP -7m
			0.90	0.90	1.19	Bishop	-			26,2+75 LiftVan a 1a.sti	
		Als hierboven (file 1.sti) maar verhoging freatische lijn in kruin met 0.5m	0.80	<b>0.80</b>	0.94	LiftVan 2)	-4.8			26,2+75 LiftVan a 2.sti	
			0.89	0.89	1.15	Bishop	-1.1			26,2+75 LiftVan a 2a.sti	
		Als file 1.sti, maar met zandcunet van NAP +3.90 tot +2.4m	0.84	<b>0.84</b>	0.99	LiftVan 2)	0.0			26,2+75 LiftVan a 3.sti	
			0.90	0.90	1.19	Bishop	0.0			26,2+75 LiftVan a 3a.sti	
		Als file 1.sti, maar zonder verkeersbelasting	0.89	<b>0.89</b>	1.01	LiftVan 2)	6.0			26,2+75 LiftVan a 4.sti	
			0.95	0.95	1.19	Bishop	5.6			26,2+75 LiftVan a 4a.sti	
		Als file 1.sti, maar waterspanningen en de onverzadigde zone	0.85	<b>0.85</b>	1.05	LiftVan 2)	1.2			26,2+75 LiftVan a 5.sti	D-Geo Stability 16.1.2.501
			0.92	0.92	1.19	Bishop	2.2			26,2+75 LiftVan a 5a.sti	D-Geo Stability 16.1.2.501
		2	Dp 33.4+62m	huidige situatie volgens Toetsing (zandcunet van NAP +3.80m tot +1.90m; Dijkmateriaal tot NAP -1.80m; freatische lijn buitenkruin NAP +1.80m en binnenkruin NAP +1.30m; Pn 1 op 7 m uit binneteen is NAP -2.58 (2m drooglegging). Hydrostatisch waterspanningsverloop in gehele model. Pn2 is NAP -4.0m (geen pn-3 gemodelleerd).	0.37	1.04	0.37	Bishop pseudo	-	3.80	2.80
1.02	<b>1.12</b>				1.07	Bishop	-			33,4+62 Bishop a.sti	maatgevende cirkel gaat door alleen de keermuur; niet reel; zonering onjuist, geen wosp agv verkeersbelasting; diepte cirkel tot NAP -1m
1.02	1.12				1.07	Bishop Pseudo	-			33,4+62 Bishop b.sti	
Als hierboven maar in teen hydrostatisch tot NAP -4m (kruin NAP -6m), juiste zonering en meerdere raaklijnen in model LiftVan, juiste zonering, freatisch vlak binnendijks op circa 0.75m onder mv	1.05			<b>1.05</b>	1.06	LiftVan 2)	-			33,4+62 LiftVan a 1.sti	cirkeldiepte NAP -3.5m (NIETdoor veenlaag binnendijks); 2 m zandcunet
	1.11			1.11	1.11	Bishop	-			33,4+62 Bishop a 1.sti	cirkel niet door veenlaag binnendijks
Als hierboven (file 1.sti) maar verhoging freatische lijn in kruin met 0.5m	0.95			<b>0.95</b>	1.01	LiftVan 2)	-9.5			33,4+62 LiftVan a 2.sti	cirkel niet door veenlaag binnendijks
	1.01			1.01	1.11	Bishop	-9.0			33,4+62 Bishop a 2.sti	cirkel niet door veenlaag binnendijks
Als file 1.sti, maar zonder verkeersbelasting	1.09			<b>1.09</b>	1.10	LiftVan 2)	3.8			33,4+62 LiftVan a 3.sti	cirkel niet door veenlaag binnendijks
	1.06			1.17	1.07	Bishop	5.4			33,4+62 Bishop a 3.sti	maatgevende cirkel zone 2 is gelijk aan zonder zonering, cirkel gaat alleen door binnentalud
Als file 1.sti, maar waterspanningen en de onverzadigde zone 3)	1.08			1.08	1.12	LiftVan 2)	2.9			33,4+62 LiftVan a 4.sti	D-Geo Stability 16.1.2.501 cirkeldiepte NAP -1.5m
	1.16			1.16	1.19	Bishop	4.5			33,4+62 Bishop a 4.sti	D-Geo Stability 16.1.2.501
Als file 1.sti, maar waterspanningen en de onverzadigde zone 4)	1.06			1.06	1.09	LiftVan 2)	1.0			33,4+62 LiftVan a 5.sti	D-Geo Stability 16.1.2.501; cirkeldiepte tot NAP -4m
	1.13			1.13	1.19	Bishop	1.8			33,4+62 Bishop a 5.sti	D-Geo Stability 16.1.2.501

dwars-profiel	Dp	omschrijving	berekende stabiliteitsfactoren			model	verschil met file-1 [%]	Kruin-hoogte [m+NAP]	MHW [m+NAP]	filenaam:	opmerkingen:
			maatgevende cirkel	zone-1 (norm=1,19)	zone-2 (norm=1,11)						
3	Dp 33.9+65m	huidige situatie volgens Toetsing (geen zandcunet; freatische lijn buitenkruin NAP +1.85m en binnenkruin NAP 1.35; Hydrostatisch waterspanningsverloop in gehele model. Pn2 is NAP -4.0m (geen pn-3 gemodelleerd).	0.98	<b>0.98</b>	0.98	Bishop	-			33,9+65 Bishop a.sti	zonering onjuist; geen water gemodelleerd binnendijs!!!; diepte cirkel is NAP -2m
			1.02	1.02	1.02	Bishop pseudo	-			33,9+65 Bishop b.sti	
			0.89	0.91	0.85	Bishop pseudo	-			33,9+65 Bishop c.sti	
			1.01	1.01	1.01	Bishop	-			33,9+65 Bishop c Nieuwe proefverzameling.sti	
		Als hierboven maar hydrostatisch waterspanningsverloop tot NAP -5 a -6m, daarna linear verlopend van pn-1 naar pn2 in het diepe zand, juiste zonering (vanaf buitenkruinlijn; meerdere raaklijnen in LiftVan (zie ook andere dwp's); Wateroverspanning 0% agv verkeersbelasting en temporary	0.68	0.68	0.73	Bishop	-			33,9+65 Bishop a 1.sti	uitgangspunt file is 33,9+65 Bishop a.sti maatgevende cirkel (ook zone 1) door bovenkant talud
			0.64	0.64	0.76	LiftVan 2)	-			33,9+65 LiftVan a 1.sti	maatgevende cirkel (ook zone 1) door bovenkant talud
		Als hierboven (file 1.sti) maar verhoging freatische lijn in kruin met 0.5m	0.65	0.65	1.01	Bishop	-4.4			33,9+65 Bishop a 2	
			0.60	0.60	0.74	LiftVan 2)	-6.3			33,9+65 LiftVan a 2	
		Als file 1.sti, maar zonder verkeersbelasting	0.68	0.68	0.73	Bishop	0.0			33,9+65 Bishop a 3	
			0.64	0.64	0.76	LiftVan 2)	0.0			33,9+65 LiftVan a 3	
		Als file 1.sti, maar waterspanningen en de onverzadigde zone 3)	0.70	0.70	0.75	Bishop	2.9			33,9+65 Bishop a 4	D-Geo Stability 16.1.2.501. maatgevende cirkel niet door zandcunet
			0.67	0.67	0.78	LiftVan 2)	<b>4.7</b>			33,9+65 LiftVan a 4	
		Als file 1.sti, maar waterspanningen en de onverzadigde zone 5)	0.69	0.69	0.75	Bishop	1.5			33,9+65 Bishop a 5	D-Geo Stability 16.1.2.501. maatgevende cirkel niet door zandcunet
	0.66	0.66	0.77	LiftVan 2)	3.1			33,9+65 LiftVan a 5			
4	Dp 36.9+26m	huidige situatie volgens Toetsing (geen zandcunet, maar wel zandlaag van NAP+2.0m tot NAP +0m; freatische lijn buitenkruin NAP +1.95m en binnenkruin NAP 1.55; Geen hydrostatisch waterspanningsverloop. Pn2 is NAP -4.0m (geen pn-3 gemodelleerd).	0.82	<b>0.82</b>	1.10	Bishop	-			36,9+26 bishop a.sti	zonering onjuist, geen zandcunet gemodelleerd (1.5 a 2 m); zandlaag van NAP =2 tot NAP+0 moet zijn dijksmateriaal;
		Als hierboven maar hydrostatisch waterspanningsverloop tot NAP -5 a -6m, daarna van pn-1 naar pn2 in het diepe zand; juiste zonering (vanaf buitenkruinlijn); meerdere raaklijnen in LiftVan (zie ook andere dwp's); Wateroverspanning 0% agv verkeersbelasting en temporary; zandcunet te modelleren met dikte 1.5m; zandlaag van NAP +2 tot NAP+0 moet dijksmateriaal zijn; Dijksmateriaal tpv kruin loopt van NAP +2 tot NAP -6m, Ook 3 m Tiel tpv kruin van NAP -6 tot -9m. LiftVan: modelgrens op 35 m ipv 26 m.	0.78	0.78	0.91	LiftVan 2)	-			36,9+26 LiftVan a 1.sti	uitgangspunt file is 36,9+26 bishop a.sti
			0.82	0.82	1.10	Bishop	-			36,9+26 bishop a 1.sti	
		Als hierboven (file 1) maar verhoging freatische lijn in kruin met 0.5m	0.76	0.76	0.87	LiftVan 2)	-2.6			36,9+26 LiftVan a 2.sti	
			0.77	0.77	1.00	Bishop	-6.1			36,9+26 bishop a 2.sti	
		Als file 1, maar zonder verkeersbelasting	0.83	0.83	0.90	LiftVan 2)	6.4			36,9+26 LiftVan a 3.sti	
			0.86	0.86	1.10	Bishop	4.9			36,9+26 bishop a 3.sti	
		Als file 1, maar waterspanningen en de onverzadigde zone 4)	0.79	0.79	0.93		<b>1.3</b>			36,9+26 LiftVan a 3.sti	D-Geo Stability 16.1.2.501
			0.83	0.83	1.13		1.2			36,9+26 bishop a 3.sti	D-Geo Stability 16.1.2.501

dwars- profiel	Dp	omschrijving	berekende stabiliteitsfactoren			model	verschil met file-1 [%]	Kruin- hoogte [m+NAP]	MHW [m+NAP]	filenaam:	opmerkingen:
			maatgeven de cirkel	zone-1	zone-2						
				(norm=1,19)	(norm=1,11)						
5	Dp 40.5+50m (berekende profiel is 40.6+37 in zelfde dijkvak)	huidige situatie volgens Toetsing (zandcunet tot NAP+1.78m, (1.8m dik); freatische lijn buitenkruin NAP +2.0 en binnenkruin NAP 1.50; Geen hydrostatisch waterspanningsverloop. Pn2 is NAP -4.0m (geen pn-3 gemodelleerd). Hollandveen in teen van NAP -2.3 tot NAP -7.1m; Wateroverspanning in zandcunet gemodelleerd (maar maarkt in dit geval niet uit omdat freatisch vlak lager ligt).	1.14	1.35	1.30	Bishop pseudo	-	3.78	3.00	40,6+37.sti	
			1.14	1.32	1.28	Bishop pseudo	-			40,6+37 nieuwe PV.sti	
			<b>1.10</b>	1.28	1.25	Bishop	-			40,6+37 geen pseudo.sti	cirkeldiepte tot NAP -3.5 (door veenlaag binnendijks)
		Als hierboven maar hydrostatisch waterspanningsverloop tot NAP -3m in de kruin en NAP -2 in binnenteen, daarna linear verlopend van pn-1 naar pn2 in het diepe zand, juiste zonering (vanaf buitenkruinlijn); meerdere raaklijnen in LiftVan (zie ook andere dwp's); In binnenteen Tiel tot NAP -3.4m ipv NAP -2.3m. waterspanningverloop ongunstig tpv kruin, dus Tiel onder gemodelleerd (volumegewichten gelijk aan dijksmat, korrelspanning blijft gelijk)	0.98	<b>1.00</b>	1.28	Bishop	-	3.78	3.00	40,6+37 geen pseudo Bishop1.sti	Uitgangspuntfiel is 40,6+37 geen pseudo.sti; cirkeldiepte NAP -3m (NIET door veenlaag binnendijks)
			0.89	0.90	1.19	LiftVan 2)	-			40,6+37 geen pseudo LiftVan1.sti	cirkeldiepte tot NAP -3.5 a -4.0m (NET wel door veenlaag binnendijks) (cirkel zone 2 gaat geheel door veenlaag)
		Als hierboven (file 1.sti) maar verhoging freatische lijn in kruin met 0.5m	0.84	<b>0.84</b>	1.17	LiftVan 2)	-6.7			40,6+37 geen pseudo LiftVan2	cirkeldiepte tot NAP -3.5 a -4.0m (NET wel door veenlaag binnendijks) (cirkel zone 2 gaat geheel door veenlaag)
			0.91	0.93	1.25	Bishop	-7.0			40,6+37 geen pseudo Bishop2	cirkeldiepte tot NAP -3.5 a -4.0m (NET wel door veenlaag binnendijks) (cirkel zone 2 gaat geheel door veenlaag)
		Als file 1.sti, maar zonder verkeersbelasting	0.95	0.97	1.24	LiftVan 2)	7.8			40,6+37 geen pseudo LiftVan3	cirkeldiepte tot NAP -3.5 a -4.0m (NET wel door veenlaag binnendijks) (cirkel zone 2 gaat geheel door veenlaag)
			1.05	1.09	1.36	Bishop	9.0			40,6+37 geen pseudo Bishop3	cirkeldiepte tot NAP -3.5 a -4.0m (NET wel door veenlaag binnendijks) (cirkel zone 2 gaat geheel door veenlaag)
		Als file 1.sti, maar waterspanningen en de onverzadigde zone 3)	1.00	1.02	1.29	Bishop	2.0			40,6+37 geen pseudo Bishop4.sti	D-Geo Stability 16.1.2.501. cirkeldiepte tot NAP -3.5m (NET wel door veenlaag binnendijks) (cirkel zone 2 gaat geheel door veenlaag)
			0.90	<b>0.91</b>	1.20	LiftVan 2)	1.1			40,6+37 geen pseudo LiftVan4.sti	D-Geo Stability 16.1.2.501
		1)		proevenverzameling van celproeven Kr+Al spanningsafhankelijk							
2)		de gepresenteerde berekende evenwichtsfactoren zijn voor model LiftVan modelfactoren van 1.05 al verdisconteerd									
3)		Gemodelleerd door capillaire zone in klei van 1.0m en in zand 0.2 m. Daarboven is de waterspanning in klei en in zand constant.									
4)		Gemodelleerd door capillaire zone in klei van 1.0m en in zand 0.2 m. Daarboven is de waterspanning in klei constant en in zand nul.									
5)		Gemodelleerd door capillaire zone in klei van 1.0m en in zand 0.2 m. Daarboven is de waterspanning in klei en in zand nul.									