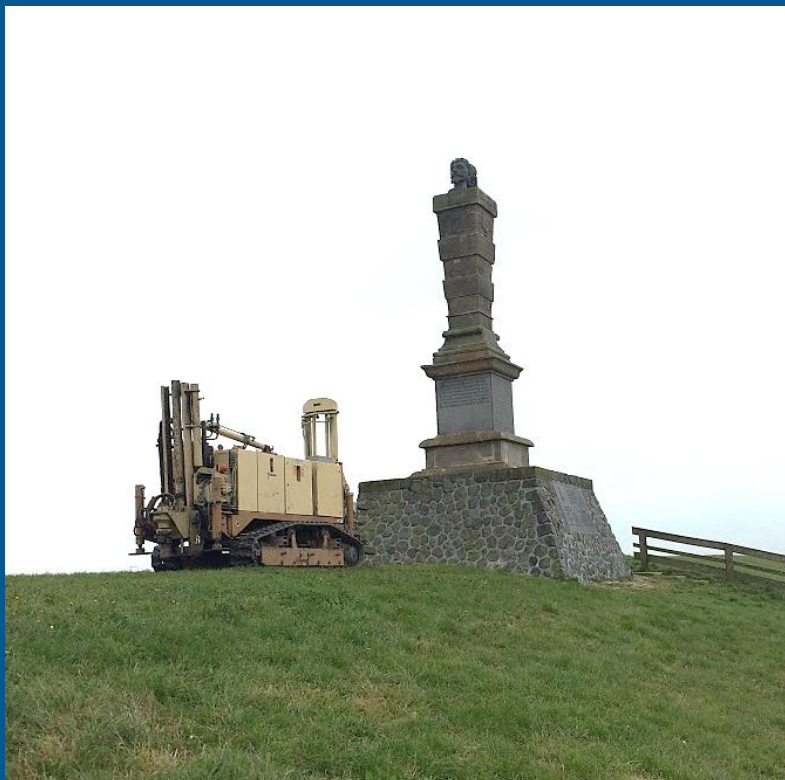




Stabiliteitsanalyse Stiennen Man

Een onderzoek naar de invloed van de Stiennen Man op de macrostabiliteit van de primaire kering

Bachelorscriptie Civiele Techniek

Marc Frankena

Wetterskip Fryslân

Universiteit Twente



UNIVERSITEIT TWENTE.

Colofon

Uitgevoerd van:

Maandag 10 april 2017 tot vrijdag 23 juni 2017

Auteur:

M. (Marc) Frankena

Studentnummer: s1570234

Studie: BSc Civiele Techniek te Enschede

Telefoonnummer: 06 81228147

E-mailadres: m.frankena@student.utwente.nl

Adres: De Klomp 109, 7511DH Enschede

In opdracht van:

Wetterskip Fryslân

Cluster Plannen

Begeleider: A. (Anne) Steegstra

Telefoonnummer: 058 2922178

E-mailadres: asteegstra@wetterskipfryslan.nl

Adres: Fryslânplein 3, 8914 BZ Leeuwarden

Website: www.wetterskipfryslan.nl

Onder begeleiding van:

Ir. K.D. (Koen) Berends

PhD kandidaat

Telefoonnummer: 053 489 2073

Telefoonnummer Secretariaat: 053 489 3546

E-mailadres: k.d.berends@utwente.nl

Adres: De Horst 2, 7522 LW Enschede

Universiteit Twente

Faculteit Engineering Technology

Water Engineering and Management

Samenvatting

Wetterskip Fryslân is in januari 2017 begonnen met de eerste beoordelingsronde van de primaire waterkeringen. De beoordeling van de Friese primaire kering wordt uitgevoerd aan de hand van het nieuwe wettelijke beoordelingsinstrumentarium. Onderdeel van de beoordeling is het beoordelen van de stabiliteit van de kering. Hiervoor zijn verschillende toetssporen opgesteld. Bovendien moeten niet-waterkerende objecten worden meegenomen in de beoordeling. Het is van belang om in beeld te brengen op welke manier de stabiliteit van de kering wordt beïnvloed door niet-waterkerende objecten.

Het doel van dit onderzoek is het beoordelen van de veiligheid van de primaire waterkering met betrekking tot macrostabiliteit ten gevolge van het niet-waterkerend object de Stiennen Man. Het onderzoek is een afstudeeropdracht voor Bachelor of Science (BSc) aan opleiding Civiele Techniek van Universiteit Twente. Het onderzoek dient bovendien als een verkenning voor Wetterskip Fryslân in het beoordelen van niet-waterkerende objecten. Het onderzoek is opgedeeld in vier deelvragen:

- (1) Wat is de samenstelling van de fundering van de Stiennen Man?
- (2) Op welke manier beïnvloedt de Stiennen Man de stabiliteit van de primaire waterkering?
- (3) Wat is het veiligheidsoordeel met betrekking tot macrostabiliteit van de primaire waterkering op de specifieke locatie, bij het buiten beschouwing laten van de Stiennen Man?
- (4) Wat is het veiligheidsoordeel met betrekking tot macrostabiliteit van de primaire waterkering op de specifieke locatie, bij het in acht nemen van de Stiennen Man?

De samenstelling van de fundering van de Stiennen Man is onderzocht door het uitvoeren van archiefonderzoek en grondonderzoek. Voor het archiefonderzoek zijn archiefstukken van Tresoor onderzocht. Het grondonderzoek is uitbesteed aan Fugro. De resultaten zijn gebruikt om een schematisering te maken van de fundering van de Stiennen Man. Vervolgens is bestudeerd op welke manier de stabiliteit van de primaire kering wordt beïnvloed door aanwezigheid van de Stiennen Man. Hierna is bepaald welke manier het meest geschikt is om de invloeden te schematiseren in software D-Geostability.

In D-Geostability zijn glijvlakanalyses uitgevoerd om de stabiliteit van de kering te bepalen. De stabiliteitsfactor is omgerekend naar een faalkans. Verschillende scenario's zijn berekend, waarna een totale faalkans is bepaald voor faalmechanismen binnen- en buitenwaartse macrostabiliteit. Voor beide faalmechanismen is dit gedaan voor de situatie zonder en situatie met Stiennen Man. Vervolgens is een oordeel gegeven over de invloed van de Stiennen Man op de veiligheid van de primaire kering.

Het archiefonderzoek en het grondonderzoek geven een duidelijk inzicht in de opbouw van de fundering van de Stiennen Man. De resultaten zijn verwerkt in de schematisering van de Stiennen Man. Aan de hand van de schematisering is een uniforme belasting en een windbelasting bepaald. Deze belasting is toegevoegd in D-Geostability in de situatie met Stiennen Man.

Voor binnenwaartse macrostabiliteit geldt voor de situaties met en zonder de Stiennen Man het veiligheidsoordeel IV_v: het dijkvak voldoet mogelijk aan de ondergrens en/of de signaleringswaarde. Voor buitenwaartse macrostabiliteit geldt voor de situaties met en zonder de Stiennen Man het veiligheidsoordeel II_v: het dijkvak voldoet aan de faalkanseis. Op basis van de berekende faalkans per situatie is geconcludeerd dat de Stiennen Man een relevante negatieve invloed heeft op de stabiliteit van de kering, zowel bij binnen- als buitenwaartse macrostabiliteit.

Op basis van dit onderzoek wordt aanbevolen om niet-waterkerende objecten mee te nemen in de toetsing van de stabiliteit per dijkvak. Een optie voor vervolgonderzoek is het onderzoeken hoe het beoordelen van niet-waterkerende objecten kan worden meegenomen in andere toetssporen.

Inhoudsopgave

Colofon	i
Samenvatting.....	ii
Inhoudsopgave.....	iii
1. Inleiding.....	1
1.1. Achtergrond	1
1.2. Probleemstelling	1
1.3. Doel & onderzoeksvragen	2
1.4. Afbakening.....	2
1.5. Leeswijzer & begrippen.....	4
2. Theoretisch kader	5
2.1. Beoordelen macrostabiliteit in WBI 2017	5
2.2. Beoordelen NWO's in WBI 2017	7
2.3. Veiligheidsoordeel	8
3. Methodiek	10
3.1. Onderzoeksmethodes.....	10
3.2. Software	11
4. Resultaten	12
4.1. Samenstelling fundering Stiennen Man	12
4.2. Invloed Stiennen Man op stabiliteit primaire kering	13
4.3. Veiligheidsoordeel macrostabiliteit situatie zonder Stiennen Man	15
4.3.1. Binnenwaartse macrostabiliteit (STBI).....	15
4.3.2. Buitenwaartse macrostabiliteit (STBU).....	17
4.4. Veiligheidsoordeel macrostabiliteit situatie zonder Stiennen Man	18
4.4.1. Binnenwaartse macrostabiliteit (STBI).....	18
4.4.2. Buitenwaartse macrostabiliteit (STBU).....	19
5. Discussie.....	20
6. Conclusie	22
7. Aanbevelingen	23
Referenties.....	24
Bijlage A – Overzicht methodiek	25
Bijlage B – Resultaten archiefonderzoek	26
Bijlage C – Resultaten Fugro.....	32
Bijlage D – Invloed Stiennen Man op stabiliteit primaire kering	47
Bijlage E – Toetsing in D-Geostability	50
Bijlage F – Resultaten eenvoudige toets	61
Bijlage G – Resultaten gedetailleerde toets.....	67

1. Inleiding

1.1. Achtergrond

Nederland is van oudsher verwickeld in een strijd tegen het water. Zo'n 59% van het landoppervlak is kwetsbaar voor overstromingen. Dit gebied wordt beschermd door dijken, duinen, dammen en kunstwerken (Planbureau voor de Leefomgeving, 2007). Nederland is altijd een voorloper geweest op het gebied van hoogwaterbescherming. Om dit in stand te houden, is het van belang om de primaire waterkeringen te onderhouden en te toetsen, zeker nu het stijgende zeeniveau de druk op de waterkeringen verhoogt.

Beheerders van primaire waterkeringen zijn bij wet verplicht om eens in twaalf jaar te beoordelen of de keringen aan de veiligheidseisen voldoen (Helpdesk Water, 2017). De beoordelingsmethoden zijn vastgelegd in een wettelijk instrumentarium. De huidige beoordelingsronde is 1 januari 2017 van start gegaan. Het instrumentarium dat in deze toetsronde gebruikt wordt, is grondig bijgewerkt ten opzichte van het vorige instrumentarium, vanwege nieuwe kennis, inzichten en ervaringen. De voornaamste reden voor de update is de implementatie van nieuwe veiligheidsnormen, die gebaseerd zijn op overstromingsrisico's (Helpdesk Water, 2017).

Wetterskip Fryslân is een voorbeeld van een beheerder van primaire waterkeringen. Wetterskip Fryslân is in januari 2017 begonnen met de eerste beoordelingsronde van de primaire waterkeringen. Dit waterschap zal het nieuwe instrumentarium (Wettelijk Beoordelings Instrumentarium 2017) in de periode van 2017 t/m 2023 gebruiken voor het beoordelen van de veiligheid van de primaire waterkeringen in hun werkgebied. In het vervolg van dit verslag wordt het nieuwe instrumentarium uitgedrukt als WBI 2017.

1.2. Probleemstelling

De primaire keringen zijn opgedeeld in trajecten. Per traject is een norm bepaald. De keringbeheerder is verantwoordelijk voor het beoordelen van ieder normtraject. In de toetsing wordt een traject opgedeeld in vakken.

Er zijn verschillende toetssporen opgesteld, zodat met ieder mogelijk faalmechanisme rekening wordt gehouden. Voor de beoordeling van de stabiliteit van de kering zijn onder andere de toetssporen binnenwaartse en buitenwaartse macrostabiliteit opgesteld.

Een ander toetsspoor in WBI 2017 is het beoordelen van Niet-Waterkerende Objecten (NWO's). Deze NWO's zijn objecten zonder waterkerende functie in, op of nabij de primaire waterkering (Regeling Veiligheid Primaire Waterkeringen 2017, 2017). Voorbeelden van NWO's zijn kabels, leidingen, bebouwing en begroeiing.

Een voorbeeld van een Niet-Waterkerend Object is de *Stiennen Man* op de Westerzeedijk te Harlingen. De *Stiennen Man* is een standbeeld dat bovenop de primaire waterkering staat. Het standbeeld is in de primaire waterkering gefundeerd. Het zichtbare deel van de *Stiennen Man* is in 2013 gerenoveerd. Over de fundering van het standbeeld is echter weinig informatie beschikbaar (zie Figuur 1-1).

NWO's kunnen op verschillende manieren de stabiliteit van de primaire waterkering en dus de waterveiligheid beïnvloeden: door verstoring van het grondlichaam, door het veroorzaken van extra belastingen en door verstoring van lokale waterspanningen. De overgang van het grondlichaam naar een solide object is bijvoorbeeld vaak een zwak punt in de waterkering. Dit maakt duidelijk dat

het van belang is om de aanwezigheid van NWO's mee te nemen in de beoordeling. Er is echter nog geen duidelijke methode opgesteld waarin de verstoringen door NWO's worden meegenomen in de berekening van de faalkans per toetsspoor. Er is behoefte aan een methodiek voor het meenemen van de invloed van NWO's op de faalkans per toetsspoor.



Figuur 1-1 Schets fundering Stienne Man

1.3. Doel & onderzoeksvragen

Het hoofddoel van dit onderzoek is het beoordelen van de veiligheid van de primaire waterkering met betrekking tot macrostabiliteit op de locatie van de Stienne Man. De keuze voor macrostabiliteit wordt verder toegelicht in Paragraaf 1.4. Het onderzoek is een Bachelor of Science (BSc) afstudeeropdracht voor de opleiding Civiele Techniek aan Universiteit Twente. Het onderzoek zal tevens dienen als een verkenning voor Wetterskip Fryslân in het beoordelen van NWO's. Secundaire doelen zijn het leren kritisch te analyseren, het leren gestructureerd onderzoek uit te voeren en het ervaring opdoen met software voor het beoordelen van primaire waterkeringen.

Het doel van het onderzoek is herleid tot vier onderzoeksvragen:

- (1) Wat is de samenstelling van de fundering van de Stienne Man?
- (2) Op welke manier beïnvloedt de Stienne Man de stabiliteit van de primaire waterkering?
- (3) Wat is het veiligheidsoordeel met betrekking tot macrostabiliteit van de primaire waterkering op de specifieke locatie, bij het buiten beschouwing laten van de Stienne Man?
- (4) Wat is het veiligheidsoordeel met betrekking tot macrostabiliteit van de primaire waterkering op de specifieke locatie, bij het in acht nemen van de Stienne Man?

1.4. Afbakening

Vanwege de beperkte tijdsduur van tien weken dient het afstudeeronderzoek te worden afgebakend. Keuzes met betrekking tot de afbakening van het onderzoek en bijbehorende onderbouwing worden hier gegeven.

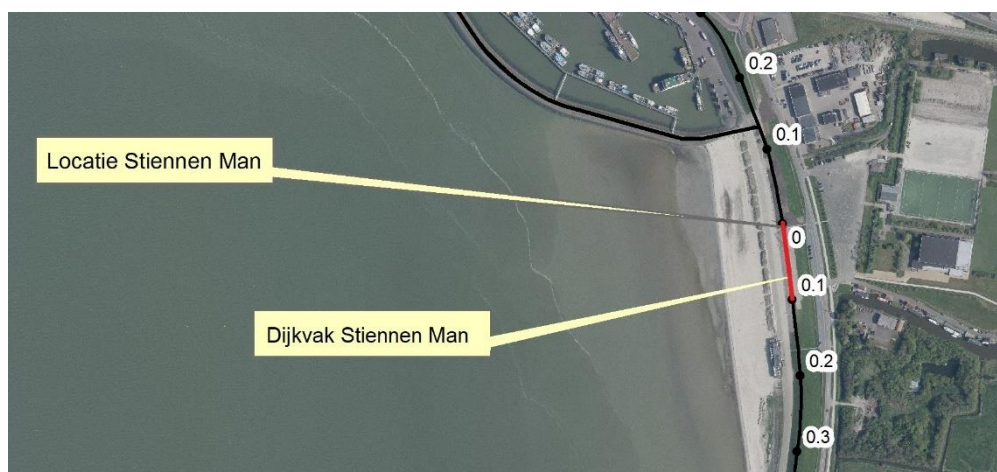
Het onderzoek betreft een beoordeling van de veiligheid van de primaire kering op de locatie van de Stienne Man te Harlingen. Deze beoordeling wordt gedaan voor de situatie met en de situatie zonder de Stienne Man. Vervolgens worden de resultaten vergeleken. Hieruit kan een conclusie worden getrokken over de invloed van de Stienne Man op de veiligheid van de primaire kering.

Vanwege de specifieke locatie van de Stienne Man wordt er een toets per vak uitgevoerd. Dit betekent dat de karakteristieken van het dijkvak waarop de Stienne Man zich bevindt als uniform worden aangenomen. De resultaten uit de toetsing leiden tot een veiligheidsoordeel voor het

dijkvak. De ligging van de Stiennen Man in het normtraject 6-3 wordt weergegeven in Figuur 1-2. De ligging van het specifieke dijkvak wordt weergegeven in Figuur 1-3.



Figuur 1-2 Locatie Stiennen Man in normtraject 6-3



Figuur 1-3 Locatie Stiennen Man en bijbehorend dijkvak

De toetsing wordt uitgevoerd voor de faalmechanismen binnenwaartse en buitenwaartse macrostabiliteit. Op basis van advies van een geotechnisch expert van Wetterskip Fryslân wordt aangenomen dat deze toetssporen het meest zullen worden beïnvloed door aanwezigheid van de Stiennen Man.

Binnenwaartse en buitenwaartse macrostabiliteit zijn directe faalmechanismen. Er kunnen echter ook indirecte faalmechanismen optreden. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer een NWO omvalt en er een ontgroning plaatsvindt. Dit leidt tot een verandering van de stabiliteit van de primaire kering. Om vervolgens de faalkans te berekenen, dient de kans op falen van het NWO te worden

bepaald. Vanwege de beperkte tijd en expertise wordt dit indirecte faalmechanisme buiten beschouwing gelaten.

Voor de situatie waarin de Stienne Man buiten beschouwing wordt gelaten, wordt de beoordeling van de primaire waterkering beperkt tot het eenvoudige toetsniveau en, indien dit niveau verdere beoordeling vereist, het gedetailleerde toetsniveau. De toets op maat voor macrostabiliteit zal niet worden uitgevoerd, vanwege een gebrek aan tijd en expertise op dit vlak.

1.5. Leeswijzer & begrippen

In Hoofdstuk 2 wordt het theoretische kader van het onderzoek uiteengezet. Vervolgens wordt in Hoofdstuk 3 de onderzoeksmethodiek toegelicht. In Hoofdstuk 4 worden de resultaten weergegeven. Per paragraaf wordt een deelvraag beantwoord. In Hoofdstuk 5 is een discussie gepubliceerd. In Hoofdstuk 6 wordt per deelvraag een conclusie getrokken. In Hoofdstuk 7 wordt het rapport afgesloten met aanbevelingen. De bijlage bevat gedetailleerde informatie over de aanpak van de beoordeling.

In Tabel 1-1 wordt weergegeven welke begrippen worden gehanteerd.

Tabel 1-1 Toelichting begrippen

Begrip	Toelichting
Macrostabiliteit	Het optreden van een glijvlak in het talud en ondergrond van de primaire kering, ten gevolge van het overschrijden van de schuifweerstand.
Niet-waterkerend object (NWO)	Een object zonder waterkerende functie dat zich in, op of naast de primaire kering bevindt.
WBI 2017	Het huidige wettelijk beoordelingsinstrumentarium. Dit instrumentarium is op 1 januari 2017 in werking getreden.
STBI	Afkorting voor toetsspoor binnenwaartse macrostabiliteit
STBU	Afkorting voor toetsspoor buitenwaartse macrostabiliteit
Signaleringswaarde	De faalkans per jaar waarvan overschrijding wordt gemeld aan de Minister
Ondergrenswaarde	De faalkans per jaar waarop het dijktraject tenminste berekend moet zijn

2. Theoretisch kader

Als basis voor de onderzoeksopzet wordt in dit hoofdstuk uitgewerkt hoe de primaire keringen worden beoordeeld voor het faalmechanisme macrostabiliteit en wordt uitgelegd hoe de NWO's worden meegenomen in deze beoordeling. Vervolgens wordt uitgelegd hoe dit tot een veiligheidsoordeel leidt.

Waterschappen zijn verantwoordelijk voor een doelmatig en samenhangend waterbeheer (Waterwet, 2009). Deel van deze verantwoordelijkheid is het onderhouden en beheren van primaire keringen. Waterschappen zijn bij wet verplicht om eens in de twaalf jaar te beoordelen of de primaire keringen aan de eisen voldoen (Helpdesk Water, 2017). Wetterskip Fryslân maakt vanaf 1 januari 2017 gebruik van het nieuwe beoordelingsinstrumentarium (WBI 2017) voor het beoordelen van de primaire keringen.

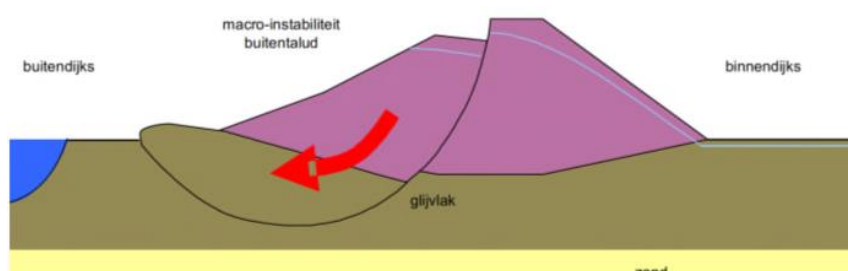
WBI 2017 is gebaseerd op een risicobenadering. In deze benadering wordt niet alleen gekeken naar de kans op het falen van een primaire kering, maar ook naar het gevolg van het falen van een primaire kering (Helpdesk Water, 2017). Aguilar López (2016) beschrijft drie betrouwbaarheidsniveaus voor beoordelingsmethodes. Niveau I-methodes zijn gebaseerd op een semi-probabilistische aanpak. Niveau II-methodes zijn geschatte faalkans methodes. Niveau III-methodes zijn gebaseerd op specifieke probabilistische verdelingen van meerdere variabelen. Dit wordt gezien als het meest betrouwbare niveau. In WBI 2017 wordt toegewerkt naar Niveau III-methodes. Het instrumentarium bevat echter nog deterministische en semi-probabilistische elementen.

De aanwezigheid van NWO's zal de meeste faalmechanismes en bijbehorende veiligheidsoordelen beïnvloeden. NWO's kunnen de stabiliteit van de primaire kering op meerdere manieren negatief beïnvloeden: door het veranderen van de belastingen, door het verstoren van het grondlichaam en door het verstoren van de lokale waterspanningen. Aan de andere kant kunnen solide objecten in de primaire kering bijdragen aan de stabiliteit van de kering. Het is van belang om te beoordelen op welke manier NWO's de stabiliteit van de primaire kering beïnvloeden (Aguilar López, 2016).

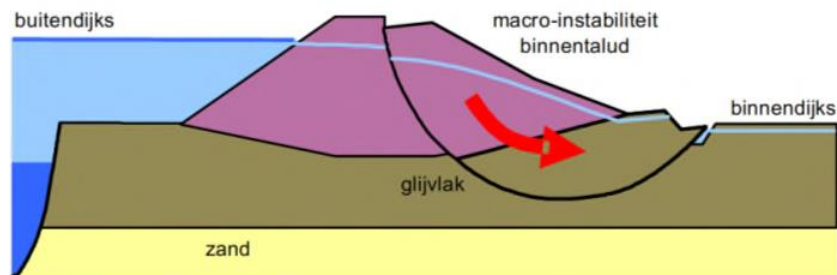
Voor het beoordelen van de invloed van de Stiennen Man op binnen- en buitenwaartse macrostabiliteit zullen drie toetssporen worden gevolgd. De eerste twee toetssporen bevatten rekenmethoden voor de beoordeling van de primaire kering op binnenwaartse macrostabiliteit (STBI) en buitenwaartse macrostabiliteit (STBU) (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). Het derde toetsspoor betreft de beoordeling van NWO's. Ieder toetsspoor bestaat uit meerdere beoordelingsniveaus. In Paragraaf 2.1 en Paragraaf 2.2 worden de toetssporen beschreven.

2.1. Beoordelen macrostabiliteit in WBI 2017

WBI 2017 biedt duidelijke richtlijnen voor het beoordelen van zowel binnen- als buitenwaartse macrostabiliteit (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). Deze faalmechanismes worden geschematiseerd in Figuur 2-1 en Figuur 2-2.



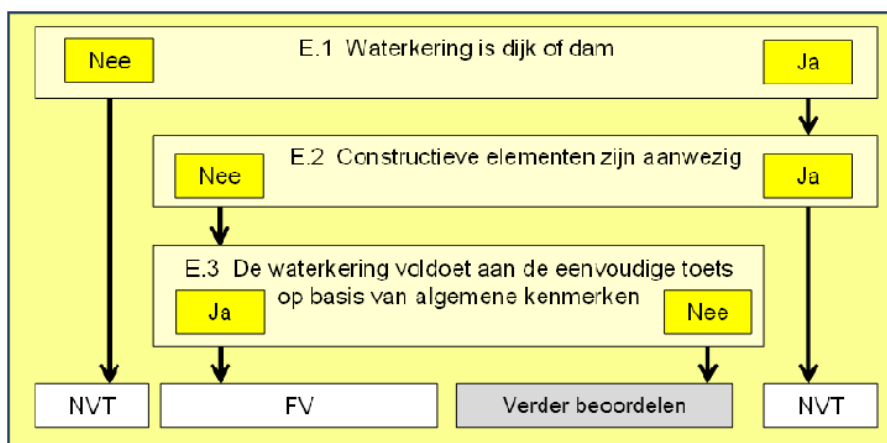
Figuur 2-1 Schematisering macrostabiliteit buitenwaarts (Helpdesk Water, 2017)



Figuur 2-2 Schematisering macrostabiliteit binnenwaarts (Helpdesk Water, 2017)

Vanwege de overeenkomst tussen de toetssporen voor beide faalmechanismen worden de beoordelingsniveaus samengenomen in de beschrijving in de volgende paragrafen.

Het eerste beoordelingsniveau is de eenvoudige toets (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). Deze toets bestaat uit drie stappen (zie Figuur 2-3). De eerste twee stappen (E.1 & E.2) hebben betrekking tot relevantie van het volgen van het toetsspoor voor het beoordelen van de specifieke primaire waterkering. Met constructieve elementen wordt bedoeld op elementen die bedoeld zijn voor het versterken van de primaire kering. NWO's behoren dus niet tot constructieve elementen. Indien dit relevant is, wordt vervolgd met de derde stap (E.3). Deze derde stap dient om te bepalen of de dimensies of de primaire kering van voldoende grootte zijn om te garanderen dat afglijding van een grondmoot de stabiliteit van de primaire kering niet zal beïnvloeden. Dit wordt berekend door de dimensies van de primaire kering als input voor algemene formules te gebruiken. De formules verschillen per faalmechanisme. Indien de dimensies van de primaire kering als onvoldoende worden beoordeeld, wordt de beoordeling vervolgd met de gedetailleerde toets voor macrostabiliteit. Indien de dimensies als voldoende beoordeeld worden, wordt de faalkans verwaarloosbaar geschat.



Figuur 2-3 Schema eenvoudige toets macrostabiliteit (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016)

In de gedetailleerde toets per vak wordt de faalkans per vak van de primaire kering met betrekking tot de specifieke faalmechanismen berekend (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). De eerste stap in de gedetailleerde toets is om te bepalen of de primaire waterkering voldoet aan de toepassingsvoorwaarden voor de gedetailleerde toets. Hiervoor wordt nagegaan of het grondlichaam vrij is van versterkende elementen. De tweede stap is het analyseren van de belastingen en sterkte van de primaire kering. De hydraulische belastingen worden bepaald conform Bijlage II Hydraulische belastingen (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). Software D-Geostability wordt gebruikt voor het uitvoeren van glijvlakanalyses. In deze analyses wordt het meest waarschijnlijke glijvlak voor afschuiving van een grondmoot van een primaire kering bepaald.

Hiervoor moet de doorsnede van de specifieke primaire kering worden geschematiseerd in D-Geostability. Verder moeten parameterwaarden worden ingevuld in D-Geostability. Het resultaat van de analyse is de faalkans per vak van de primaire kering met betrekking tot binnen- en buitenwaartse macrostabiliteit. Deze faalkans wordt gekoppeld aan een veiligheidsoordeel (zie Paragraaf 2.3). Indien de faalkans niet voldoet, dient te toetsing te worden vervolgd met de toets op maat.

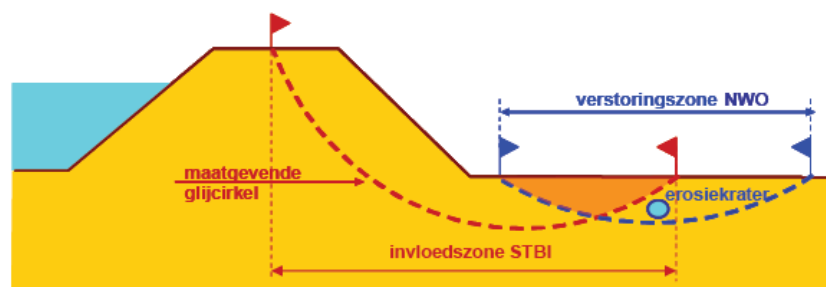
WBI 2017 biedt de mogelijkheid tot het uitvoeren van een gedetailleerde toets per traject. Aangezien de toetsing van de Stiennen Man betrekking heeft tot een specifieke locatie, en dus tot een specifiek vak, is de gedetailleerde toets per traject niet relevant in dit onderzoek.

De toets op maat is voornamelijk gericht op verdere analyse. Aangezien de eenvoudige toets of de gedetailleerde toets voor macrostabiliteit al leiden tot een betrouwbare faalkans, wordt de toets op maat buiten beschouwing gelaten in de toetsing.

2.2. Beoordelen NWO's in WBI 2017

In WBI 2017 worden beoordelingsmethodes onderscheiden voor verschillende soorten NWO's: bebouwing, begroeiing, kabels en leidingen en overige NWO's (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). Vanwege de opbouw en omvang van de Stiennen Man wordt de beoordelingsmethode voor NWO type bebouwing verder uitgewerkt. De drie beoordelingsniveaus worden hieronder beschreven.

Het eerste beoordelingsniveau is de eenvoudige toets (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). De eerste stap in deze methode is het berekenen van de hoogte en stabiliteit van de primaire waterkering in de situatie waarin het NWO buiten beschouwing worden gelaten. Indien de stabiliteit voldoet aan de norm, wordt vervolgd met de tweede stap. In de tweede stap wordt gecontroleerd of de verstoringszone van het NWO overlapt met de invloedszone van alle faalmechanismen samen. Dit wordt geschematiseerd in Figuur 2-4. In dit onderzoek wordt alleen gekeken naar de invloedszone bij STBI en STBU. Indien er geen overlap is, wordt geconcludeerd dat het NWO geen invloed uitoefent op de stabiliteit van de primaire kering. Als er wel overlap is, wordt er verder beoordeeld.



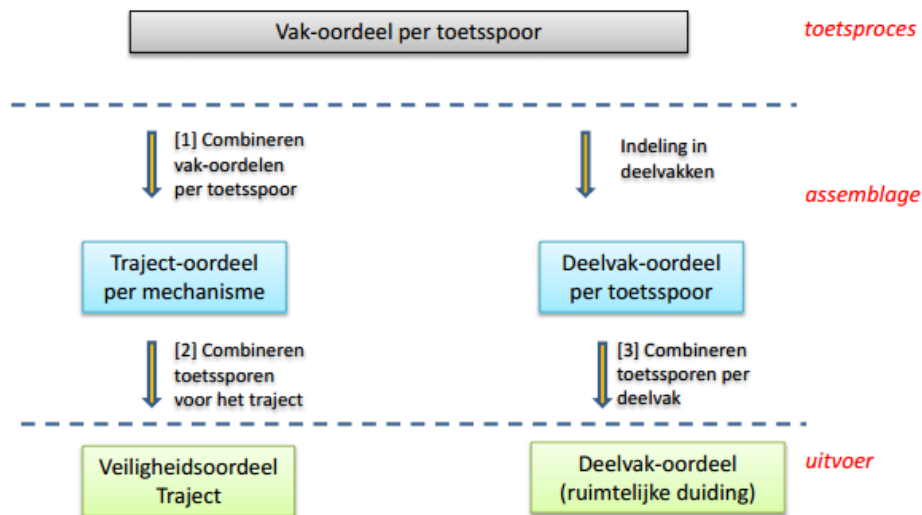
Figuur 2-4 Schematisering verstoringszone en invloedszone (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016)

De volgende stap in de beoordeling van NWO's is de gedetailleerde toets. Deze methode is echter niet ontwikkeld voor het NWO-type bebouwing. Daarom wordt vervolgd met een toets op maat.

De toets op maat dient te worden opgesteld voor de beoordeling van de primaire waterkering in de specifieke situatie. De toets op maat voor de Stiennen Man op de primaire kering bestaat uit het inpassen van extra belastingen door de Stiennen Man in D-Geostability en het schematiseren van de fundering van de Stiennen Man in D-Geostability. Vervolgens wordt de faalkans per faalmechanisme berekend. Vergelijking van de faalkansen in de situatie met en zonder Stiennen Man zal inzicht geven in de invloed van het NWO op de veiligheid van de primaire kering.

2.3. Veiligheidsoordeel

Keringbeheerders dienen per traject een veiligheidsrapportage aan te leveren aan de Inspectie Leefomgeving en Transport. Aangezien de karakteristieken van de primaire kering verschillen per locatie, wordt het traject opgedeeld in dijkvakken. Vervolgens worden alle toetssporen voor ieder dijkvak doorlopen. Dit leidt tot een vakoordeel per toetsspoor. De vakoordelen per toetsspoor worden vervolgens gecombineerd tot een trajectoordeel per toetsspoor. Daarna worden alle trajectoordelen per toetsspoor samengenomen om het veiligheidsoordeel voor het totale traject te bepalen. Verder worden per vak de vakoordelen van ieder toetsspoor samengenomen, om het totale veiligheidsoordeel per vak te bepalen. Hierdoor wordt inzicht gekregen in waar de zwakke plekken zich in het traject bevinden. Met behulp van de Assemblagetool wordt het vakoordeel per toetsspoor herleid tot een veiligheidsoordeel per traject. De Assemblagetool is onderdeel van WBI-software. In Figuur 2-5 wordt het assemblageproces schematisch weergegeven.



Figuur 2-5 Schematische weergave van het assemblageproces (Deltares, 2016)

In de toetsing in dit onderzoek wordt een faalkans berekend voor de toetssporen binnenwaartse en buitenwaartse macrostabiliteit. Dit wordt gedaan voor het dijkvak waarop de Stienen Man zich bevindt. De faalkans per toetsspoor per vak dient vervolgens te worden vergeleken met de categorie-indeling van het veiligheidsoordeel per toetsspoor per vak.

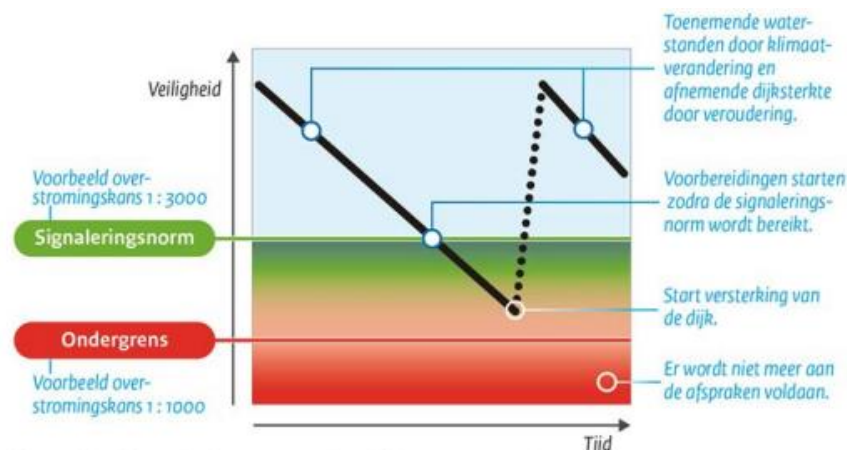
De categorisering voor de toets per vak voor binnenwaartse macrostabiliteit wordt weergegeven in Tabel 2-1.

Hierin wordt weergegeven dat de berekende faalkans per dijkvak wordt vergeleken met de signaleringswaarde per vak en de ondergrenswaarde per vak om tot een veiligheidsoordeel te komen. Voor een goed begrip van de categorisering is het van belang om bekend te zijn met de termen 'signaleringswaarde' en 'ondergrenswaarde'.

De signaleringswaarde is de overstromingskans per jaar waarvan overschrijding wordt gemeld aan de Minister. Het overschrijden van deze signaleringswaarde is een 'signaal' dat de kering mogelijk binnen afzienbare tijd in aanmerking komt voor versterking. De ondergrens is de faalkans per jaar waarop het dijktraject tenminste berekend moet zijn (Deltares, 2016). In Figuur 2-6 worden de waarden schematisch weergegeven.

Tabel 2-1 Categorisering toetsoordeel per vak per toetsspoor (Deltares, 2016)

Cat.	Aanduiding categorie toetsoordeel per vak per toetsspoor	Begrenzing categorie
		$P_{f,dsn}$ Faalkans per vak (doorsnede of kunstwerk) [1/jaar]. $P_{eis,sig}$ Signaleringswaarde van het dijktraject [1/jaar]. $P_{eis,ond}$ Ondergrens van het dijktraject [1/jaar]. $P_{eis,sig,dsn}$ Faalkanseis per doorsnede of kunstwerk [1/jaar]
I _v	voldoet ruim aan de signaleringswaarde	$P_{f,dsn} < \frac{1}{30} P_{eis,sig,dsn}$
II _v	voldoet aan de signaleringswaarde	$\frac{1}{30} P_{eis,sig,dsn} < P_{f,dsn} < P_{eis,sig,dsn}$
III _v	voldoet aan de ondergrens en mogelijk aan de signaleringswaarde	$P_{eis,sig,dsn} < P_{f,dsn} < P_{eis,ond,dsn}$
IV _v	voldoet mogelijk aan de ondergrens en/of aan de signaleringswaarde	$P_{eis,ond,dsn} < P_{f,dsn} < P_{eis,ond}$
V _v	voldoet niet aan de ondergrens	$P_{eis,ond} < P_{f,dsn} < 30 P_{eis,ond}$
VI _v	voldoet ruim niet aan de ondergrens	$P_{f,dsn} > 30 P_{eis,ond}$
VII _v	nog geen oordeel	



Figuur 2-6 Schematische weergave signaleringswaarde en ondergrenswaarde (Deltares, 2016)

De signaleringswaarde en ondergrenswaarde per traject worden in twee stappen herleid tot een signaleringswaarde en ondergrenswaarde per toetsspoor per vak. Dit wordt gedaan in de Assemblagetool.

Toetsspoor buitenwaartse macrostabiliteit valt onder de indirecte toetssporen. Om deze reden wordt het oordeel voor buitenwaartse macrostabiliteit niet meegenomen in de assemblage voor het toetsoordeel per vak. Wel zal gerapporteerd worden of de indirecte toetssporen voldoen aan de gedetailleerde toets. Dit wordt gedaan door de berekende faalkans te vergelijken met de faalkanseis per vak voor toetsspoor buitenwaartse macrostabiliteit. Deze faalkanseis volgt uit de Assemblagetool.

3. Methodiek

In dit hoofdstuk wordt beschreven welke onderzoeksmethodes worden gevolgd om de onderzoeksvragen te beantwoorden. Vervolgens wordt beschreven welke software gebruikt wordt in de toetsing.

3.1. Onderzoeksmethodes

Per deelvraag wordt beschreven welke aanpak wordt gebruikt om de vraag te beantwoorden.

(1) Wat is de samenstelling van de fundering van de Stiennen Man?

Er wordt op twee manieren onderzocht hoe de fundering van de Stiennen Man is samengesteld. De eerste methode is door archiefonderzoek uit te voeren. Voor het archiefonderzoek zijn verschillende aanknopingspunten, zoals het Fries Historisch Archief Tresoar, Gemeente Harlingen en de Rijksmonumentendienst.

De tweede methode is door grondonderzoek uit te laten voeren. Dit grondonderzoek wordt door Wetterskip Fryslân uitbesteed aan Fugro. Doel van dit onderzoek is om de dimensies van de fundering van de Stiennen Man in beeld te brengen en om informatie over de opbouw van de ondergrond te verkrijgen.

(2) Op welke manier beïnvloedt de Stiennen de stabiliteit van de primaire waterkering?

Om de invloed van de Stiennen Man op de stabiliteit van de primaire kering te bepalen, wordt een verkennende studie gedaan naar de manieren waarop een dijklichaam door een vast object kan worden verstoord. In overleg met een geotechnicus wordt vastgesteld hoe de aanwezigheid van het NWO kan worden meegenomen in de beoordeling. Hierbij wordt bijvoorbeeld gedacht aan het toepassen van extra belastingen op de kering ten gevolge van het eigen gewicht van de Stiennen Man.

(3) Wat is het veiligheidsoordeel van de primaire waterkering met betrekking tot macrostabiliteit op de specifieke locatie, bij het buiten beschouwing laten van de Stiennen Man?

Om het veiligheidsoordeel van de primaire kering in deze situatie te bepalen, wordt de beoordeling conform WBI 2017 gevolgd. De toetssporen STBI en STBU uit Hoofdstuk 5 en 6 uit *Regeling Veiligheid Primaire Waterkeringen 2017. Bijlage III Sterkte en Veiligheid* worden gevolgd (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). Voor de toetsing zal allereerst informatie moeten worden verzameld met betrekking tot dimensies van het dijklichaam en de opbouw van de ondergrond. Diverse resultaten uit boringen en sonderingen zijn hiervoor beschikbaar. Bovendien leidt het grondonderzoek naar verwachting tot aanvullende informatie over de opbouw van het dijklichaam.

Vervolgens wordt de eenvoudige toets voor macrostabiliteit uitgevoerd. Indien verdere beoordeling is vereist, wordt vervolgd met een gedetailleerde toets voor macrostabiliteit. Deze toets bestaat uit glijvlakanalyses in D-Geostability. Hiervoor wordt eerst de dijkopbouw geschematiseerd in D-Geostability. Vervolgens moeten parameterwaarden worden toegevoegd aan de verschillende grondlagen. Na het opstellen van een rekenraster kan een berekening door de software worden uitgevoerd. Het resultaat van de berekening is de stabiliteitsfactor van de primaire kering met betrekking tot macrostabiliteit voor de situatie zonder de Stiennen Man. Deze stabiliteitsfactor wordt vervolgens omgerekend naar een faalkans. Deze faalkans wordt herleid tot een veiligheidsoordeel.

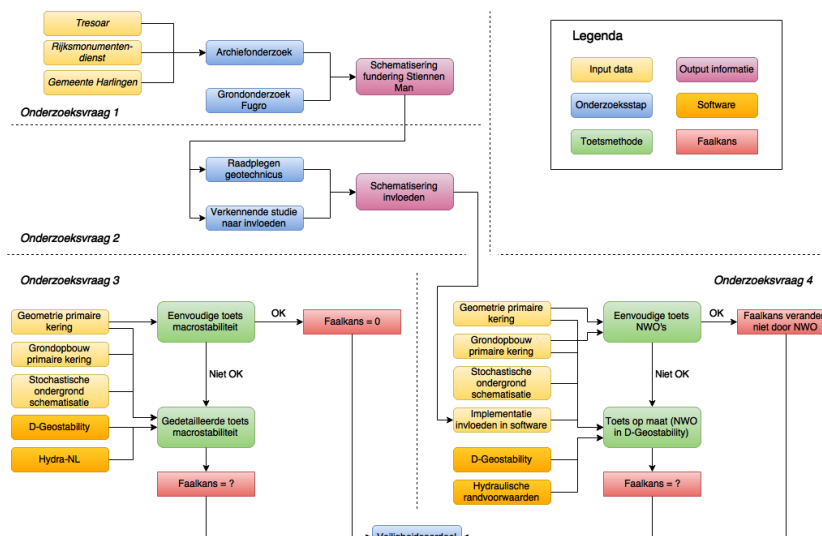
(4) *Wat is het veiligheidsoordeel met betrekking tot macrostabiliteit van de primaire waterkering op de specifieke locatie, bij het in acht nemen van de Stiennen Man?*

Om het veiligheidsoordeel van de primaire kering in deze situatie te bepalen, wordt de methodiek in de derde deelvraag vervolgd. Hoofdstuk 25 uit *Regeling Veiligheid Primaire Waterkeringen 2017*. Bijlage III *Sterkte en Veiligheid* dient hierbij als leidraad (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016).

Als eerste stap wordt de eenvoudige toets voor NWO's uitgevoerd. In deze stap wordt hoofdzakelijk bepaald of het relevant is om de aanwezigheid van het NWO mee te nemen in de verdere beoordeling. Als hieruit blijkt dat de NWO's inderdaad mee moeten worden genomen in de verdere beoordeling, wordt de toetsing vervolgd met de toets op maat voor NWO's.

De toets op maat in toetsspoor NWO-bebouwing is gelijk aan de gedetailleerde toets voor STBI en STBU. Echter, in de toets op maat wordt de invloed van de Stiennen Man ingepast in de schematisering in D-Geostability. Dit zal worden gedaan door belastingen in te voegen in D-Geostability en door de grondschematisering op de plek van de fundering aan te passen. Dit volgt uit de uitwerking van de tweede deelvraag. Vervolgens worden de glijvlakanalyses opnieuw uitgevoerd door de software te laten rekenen. Dit zal leiden tot een veiligheidsoordeel van de primaire kering met betrekking tot macrostabiliteit voor de situatie met de Stiennen Man.

Het gehele proces wordt schematisch weergegeven in Bijlage A – Overzicht methodiek (zie Figuur 3-1).



Figuur 3-1 Overzicht methodiek (zie Bijlage A voor afbeelding op ware grootte)

3.2. Software

In het onderzoek wordt D-Geostability gebruikt voor het uitvoeren van glijvlakanalyses. Voor het opstellen van Stochastische Ondergrondscenario's (SOS) wordt D-Soilmodel gebruikt. De hydraulische randvoorwaarden zijn verkregen via Hydra-NL. Zowel de ondergrondscenario's als de hydraulische randvoorwaarden dienen als input voor de glijvlakanalyses. De resultaten uit D-Geostability worden verwerkt in de Assemblagetool om een veiligheidsoordeel per vak te geven.

4. Resultaten

4.1. Samenstelling fundering Stiennen Man

Door middel van onderzoek in de archieven van Tresoar zijn documenten gevonden betreffende tekeningen van de samenstelling van de fundering en de sokkel van de Stiennen Man. Bovendien geven wapeningstekeningen gedetailleerde informatie over de ligging van de wapening in de dekplaat en de funderingsplaat. Samen met een beschrijving van de achtergrond van de Stiennen Man zijn de tekeningen gepubliceerd in Bijlage B – Resultaten archiefonderzoek. Uit de tekeningen blijkt dat de sokkel bestaat uit metselwerk met een opvulling van vuilwerkklinkers en grond. De Stiennen Man is gefundeerd op een funderingsplaat.

Fugro Service B.V. heeft in opdracht van Wetterskip Fryslân een geofysisch onderzoek ten behoeve van de fundering van de Stiennen Man uitgevoerd. Het hoofdzakelijke doel van dit onderzoek is het bepalen van de diepteligging van de fundering. Verder worden de resultaten gebruikt voor het bepalen van de verschillende grondsoorten in de primaire kering.

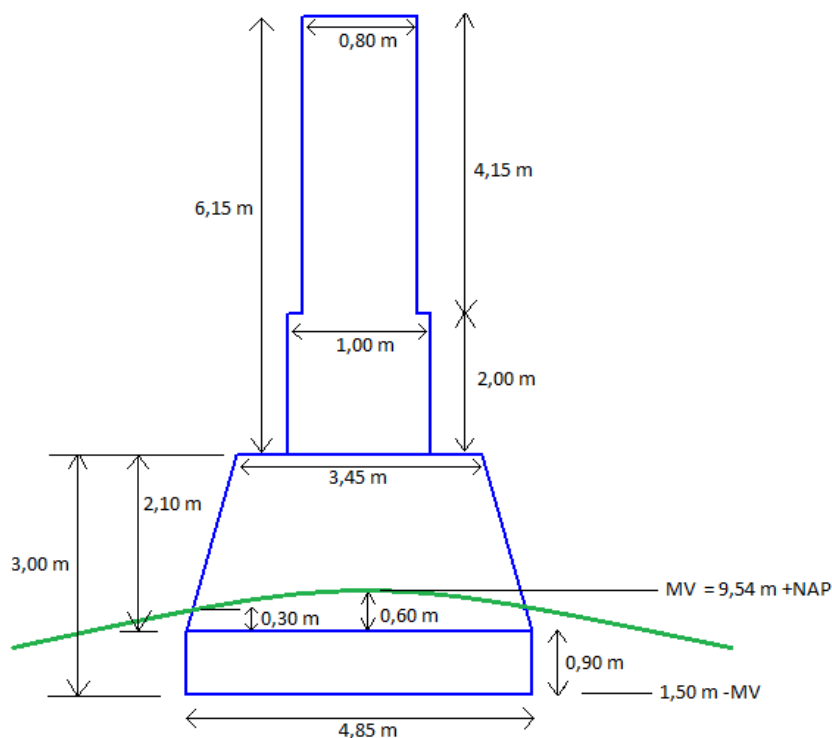
Met behulp van een sondeerrups zijn twee sonderingen uitgevoerd: een seismische sondering en een elektromagnetische sondering. De resultaten worden weergegeven in Tabel 4-1. Het volledige rapport betreffende het geofysisch onderzoek is gepubliceerd in Bijlage C – Resultaten Fugro.

Tabel 4-1 Resultaten sonderingen Fugro

	Diepteligging [m –MV]	Diepteligging [m +NAP]	Nauwkeurigheid [m]
Seismische sondering	1,65	7,89	0,25
Elektromagnetische sondering	1,40	8,14	0,25

De sonderingsresultaten en bijbehorende nauwkeurigheden maken duidelijk dat de onderkant van de fundering in het gebied tussen 1,65 m –MV en 1,40 m –MV moet liggen. De archieftekeningen laten zien dat de onderkant van de fundering zich 1,50 m onder het maaiveld (m –MV) bevindt. Aangezien de meetresultaten en de afmetingen uit de tekeningen overeenkomen, wordt in het vervolg aangenomen dat de onderkant van de fundering op 1,50 m –MV ligt. Dit is gelijk aan 8,04 m +NAP. Aan de hand van de resultaten van het grondonderzoek en het archiefonderzoek is de Stiennen Man en de fundering geschematiseerd (zie Figuur 4-1).

Deze schematisering dient als uitgangspunt voor de toetsing van de primaire kering met aanwezigheid van de Stiennen Man. In Paragraaf 4.2 wordt de schematisering gebruikt om de invloed van de Stiennen Man op de stabiliteit te bepalen.



Figuur 4-1 Schematisering Stienen Man en zijn fundering

4.2. Invloed Stienen Man op stabiliteit primaire kering

Er zijn hoofdzakelijk drie manieren waarop een NWO in de primaire kering invloed heeft op de stabiliteit van de kering: door verstoring van de waterspanningen, door het opwekken van extra belastingen en door verstoring van het grondlichaam.

De diepteligging van de fundering wordt vergeleken met de maximale hoogte van het freatisch vlak en de stijghoogtelijnen. Het freatisch vlak is het verloop van de grondwaterstand in de primaire kering. De stijghoogtelijnen geven het verloop van de stijghoogte van het samendrukbare lagenpakket en het watervoerende zandpakket weer. Omdat er bij iedere maatgevende situatie minstens drie meter verschil zit tussen de onderkant van de fundering van de Stienen Man en de maximale hoogte van het freatisch vlak en de stijghoogtelijnen, worden de waterspanningen naar verwachting nauwelijks beïnvloedt door de fundering. Verstoring van de waterspanningen door de Stienen Man wordt daarom niet verder meegenomen in de beoordeling.

Het opwekken van extra belastingen wordt veroorzaakt door verandering van het eigen gewicht. In plaats van het eigen gewicht van een klei- en zandlaag wordt de belasting veroorzaakt door het gewicht van het beeld, de sokkel en de fundering. Verstoring van het grondlichaam is voornamelijk van toepassing wanneer een NWO faalt, bijvoorbeeld de situatie wanneer de Stienen Man is omgevallen. Het onderzoeken van dit indirecte faalmechanisme valt echter buiten de begrenzing van dit onderzoek.

De gedefinieerde invloeden en de opgestelde schematisering moeten worden meegenomen in de berekening in D-Geostability. Er moet daarom worden bepaald hoe de mogelijke invloeden van de Stienen Man kwantitatief worden meegenomen in de beoordeling. Voor de veranderende belasting met betrekking tot het eigen gewicht van de Stienen Man worden drie mogelijkheden (1a, 1b en 1c) geformuleerd. Verder wordt de mogelijkheid (2) geformuleerd waarin de windbelasting wordt meegenomen.

De volgende mogelijkheden zijn geformuleerd:

- 1a. Toevoegen van een uniforme belasting op de kruin
- 1b. Schematiseren van de Stiennen Man als een solide grondmoot met kenmerkende eigenschappen
- 1c. Toevoegen van een uniforme belasting ter hoogte onderzijde fundering
- 2. Toevoegen van puntlast voor meenemen windbelasting

Per mogelijkheid wordt een toelichting gegeven. Vervolgens wordt bepaald welke mogelijkheden worden doorgevoerd in de berekeningen.

1a. Invoegen van een uniforme belasting op de kruin:

In deze methode wordt een uniforme belasting over de breedte van de onderzijde van de fundering geplaatst. De grootte van de belasting wordt afgeleid van het gewicht van het gehele object. Het voordeel van deze methode is dat de belasting eenvoudig is toe te voegen in D-Geostability. Het nadeel is dat de belasting aangrijpt op de bovenkant van de kruin, in plaats van ter hoogte van de onderkant van de fundering.

1b. Schematiseren van de Stiennen Man als een solide grondmoot met kenmerkende eigenschappen:

In deze methode wordt een grondmoot over de breedte van de fundering geschematiseerd als aparte grondsoort. Deze grondmoot representeert het Niet-Waterkerende Object. Via het *Materials*-menu worden representatieve eigenschappen aan de grondmoot toegekend. Via het soortelijk gewicht en het volume wordt het eigen gewicht van het object meegenomen als eigenschap van de grondmoot. Hierdoor grijpt de belasting t.g.v. het eigen gewicht van het NWO aan ter hoogte van de onderzijde van de fundering. Echter, er moeten ook andere materiaaleigenschappen worden toegekend; cohesie (c') en hoek van inwendige wrijving (ϕ'). Het is lastig om voor deze parameters representatieve waarden te kiezen. Het nadeel is daarom dat de keuze voor parameterwaarden tot onbetrouwbare toetsresultaten leidt.

1c. Toevoegen van een uniforme belasting ter hoogte onderzijde fundering:

In deze methode wordt over de breedte van de onderzijde van de fundering een grondmoot weggehaald in D-Geostability, tot op de diepteligging van de onderzijde van de fundering. Vervolgens wordt een uniforme belasting, net als in de eerste optie, toegevoegd over de breedte van de onderzijde van de fundering. De grootte van de belasting is wederom afgeleid van het eigen gewicht van het object. In tegenstelling tot de bij de eerste optie grijpt de belasting in deze methode aan ter hoogte van de onderzijde van de fundering. Het nadeel van deze optie is dat er relatief veel handelingen in D-Geostability moeten worden uitgevoerd om de schematisering aan te passen.

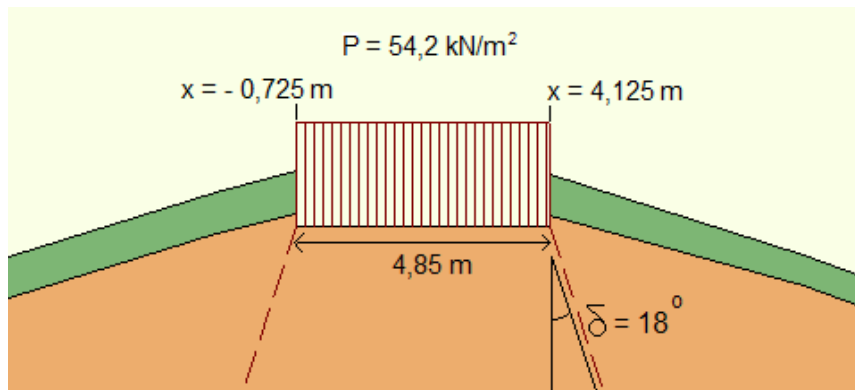
2. Toevoegen van een puntlast voor meenemen windbelasting conform NEN-EN 1991-1-4:

Via de windbelasting op het NWO wordt een moment opgewekt. In D-Geostability kunnen momenten niet direct worden geschematiseerd. Wel is er de mogelijkheid om een puntlast toe te voegen op een bepaalde afstand van het draaipunt. Op deze manier wordt het moment vertegenwoordigd als $\text{Moment} = \text{Kracht} \cdot \text{Arm}$.

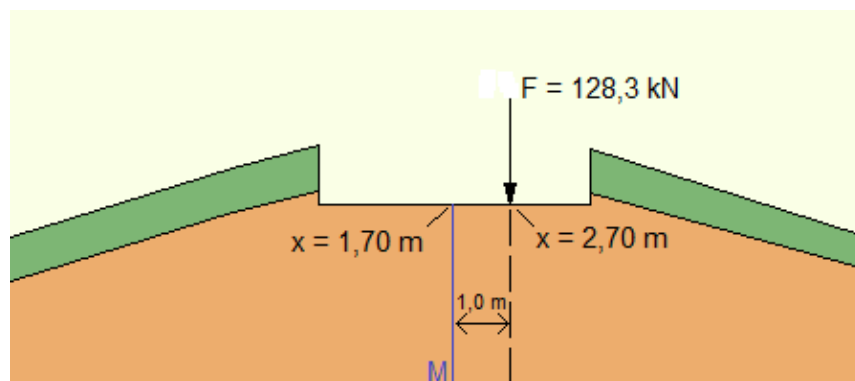
Het schematiseren van de belasting op de primaire kering ten gevolge van het gewicht van het NWO is representatief wanneer de belasting aangrijpt ter hoogte van de onderzijde van de fundering. In de eerste methodiek (optie 1a) is dit niet het geval, terwijl dit wel het geval is in de derde methodiek (optie 1c). De tweede methodiek (optie 1b) biedt geen betrouwbaarheid. Deze methodiek is daarom niet geschikt. Om deze redenen wordt ervoor gekozen om de derde methodiek (optie 1c) toe te passen in de berekening. Dit wordt gecombineerd met het toevoegen van een puntlast om invloeden van de windbelasting mee te nemen (optie 2).

In Bijlage D wordt de grootte van de uniforme belasting en de grootte van de windbelasting berekend. In Figuur 4-2 en Figuur 4-3 worden de waarden van de belastingen en bijbehorende parameters weergegeven. Deze waarden dienen als input in de toetsing voor de situatie met Stienen Man.

Voor binnenwaartse macrostabiliteit wordt de windbelasting aan de binnenzijde van de kering geschematiseerd, terwijl de windbelasting voor buitenwaartse macrostabiliteit aan de buitenzijde van de kering wordt geschematiseerd. In D-Geostability is gevarieerd met de locatie van de puntbelasting. Hieruit bleek dat de genoemde schematisering het meest conservatief is.



Figuur 4-2 Karakteristieke waarden uniforme belasting



Figuur 4-3 Karakteristieke waarden windbelasting (STBI)

4.3. Veiligheidsoordeel macrostabiliteit situatie zonder Stienen Man

Per faalmechanisme worden de resultaten van de eenvoudige en gedetailleerde toets beschreven voor de situatie zonder de Stienen Man. In het kader van herleidbaarheid van de toetsing wordt de aanpak van de toetsing in D-Geostability weergegeven in Bijlage E. Uitgangspunten en aannames worden op deze manier verantwoord. In Bijlage G worden kritieke glijvlakken weergegeven.

4.3.1. Binnenwaartse macrostabiliteit (STBI)

De eerste stap in de toetsing is het doorlopen van de eenvoudige toets voor binnenwaartse macrostabiliteit. Deze toetsing wordt weergegeven in Bijlage F. Uit de eenvoudige toets volgt dat de primaire kering geen veilige afmetingen heeft. De toetsing dient daarom te worden vervolgd met de gedetailleerde toets.

In de gedetailleerde toetsing is de faalkans voor verschillende scenario's berekend. Scenario A heeft betrekking tot de situatie bij maatgevend hoogwater. Scenario B heeft betrekking tot de situatie bij gemiddeld hoogwater en extreme neerslag. De cijfers (1 t/m 4) representeren de ondergrondscenario's. De faalkans per scenario is herleid tot een totale faalkans voor binnenwaartse macrostabiliteit. De resultaten worden weergegeven in Tabel 4-2.

Uit de berekeningen in D-Geostability volgt een stabiliteitsfactor voor de primaire kering (Sb_i). Deze factor wordt gecorrigeerd aan de hand van een modelfactor (Y_d) tot een gecorrigeerde stabiliteitsfactor (Sb_i/Y_d). Verder volgt er een faalkans per scenario (Pf_i). Deze faalkans wordt vermenigvuldigd met de kans op optreden van het ondergrondscenario ($Psos_i$). Deze kans volgt uit de Stochastische Ondergrondschematisatie. De gewogen faalkans (Pg_i) volgt uit het vermenigvuldigen van de faalkans bij het scenario met de kans op het ondergrondscenario. Vervolgens wordt de gewogen faalkans per maatgevende situatie gesommeerd. Dit leidt tot een totale faalkans per maatgevende situatie (Pg). De totale faalkans voor binnenwaartse of buitenwaartse macrostabiliteit wordt verkregen door het optellen van de totale faalkans per maatgevende situatie. De totale faalkans wordt vervolgens vergeleken met de signaleringswaarde en ondergrenswaarde per toetsspoor per vak en met de categorisering van het veiligheidsoordeel.

Tabel 4-2 Resultaten gedetailleerde toets: STBI – zonder Stienen Man

Scenario	Stabiliteits-factor Berekend	Stabiliteits-factor Gecorrigeerd	Faalkans bij scenario	Kans op ondergrond scenario	Gewogen faalkans	Totale faalkans
$i [-]$	$Sb_i [-]$	$Sb_i/Y_d [-]$	$Pf_i [\text{jaar}^{-1}]$	$Psos_i [-]$	$Pg_i [\text{jaar}^{-1}]$	$Pg [\text{jaar}^{-1}]$
A.1.	1,51	1,44	$1,96 \cdot 10^{-5}$	0,18	$3,53 \cdot 10^{-6}$	$9,66 \cdot 10^{-6}$
A.2.	1,50	1,43	$6,02 \cdot 10^{-6}$	0,72	$4,33 \cdot 10^{-6}$	
A.3.	1,51	1,44	$1,96 \cdot 10^{-5}$	0,02	$3,92 \cdot 10^{-7}$	
A.4.	1,52	1,45	$1,76 \cdot 10^{-5}$	0,08	$1,41 \cdot 10^{-7}$	
B.1.	1,56	1,49	$2,43 \cdot 10^{-6}$	0,18	$4,37 \cdot 10^{-7}$	$2,47 \cdot 10^{-6}$
B.2.	1,56	1,49	$2,48 \cdot 10^{-6}$	0,72	$1,79 \cdot 10^{-6}$	
B.3.	1,56	1,49	$2,40 \cdot 10^{-6}$	0,02	$4,80 \cdot 10^{-8}$	
B.4.	1,56	1,49	$2,46 \cdot 10^{-5}$	0,08	$1,97 \cdot 10^{-7}$	
					Totale faalkans	$1,21 \cdot 10^{-5}$
					STBI [jaar^{-1}]	
					Signalerings- waarde [jaar^{-1}]	$4,67 \cdot 10^{-7}$
					Ondergrens- waarde [jaar^{-1}]	$1,40 \cdot 10^{-6}$

De totale faalkans voor binnenwaartse macrostabiliteit is gelijk aan $1,21 \cdot 10^{-5} [\text{jaar}^{-1}]$. Uit Tabel 4-2 blijkt dat de situatie bij maatgevend hoogwater (situatie A) het grootste aandeel heeft in de totale faalkans. Dit wordt verklaard door relatief hoge hydraulische belastingen op de primaire kering.

De totale faalkans voor STBI per vak is groter dan de signaleringswaarde en ondergrenswaarde voor het toetsspoor per vak. De indeling van categorieën wordt weergegeven in Tabel 4-3. Met een totale faalkans van $1,21 \cdot 10^{-5} [\text{jaar}^{-1}]$ valt de veiligheid van de primaire kering in categorie IV_v. Dit betekent dat de primaire kering mogelijk voldoet aan de ondergrens en/of aan de signaleringswaarde. Er wordt gesproken over 'mogelijk voldoen'. Hieraan liggen probabilistische uitgangspunten in de Assemblagetool ten grondslag.

Tabel 4-3 Categorisering veiligheidsoordeel

Categorie	Ondergrens [jaar ⁻¹]	Bovengrens [jaar ⁻¹]
I _v (meest veilig)	0	$1,56 \cdot 10^{-8}$
II _v	$1,56 \cdot 10^{-8}$	$4,67 \cdot 10^{-7}$
III _v	$4,67 \cdot 10^{-7}$	$1,40 \cdot 10^{-6}$
IV _v	$1,40 \cdot 10^{-6}$	$1,00 \cdot 10^{-3}$
V _v	$1,00 \cdot 10^{-3}$	$3,00 \cdot 10^{-2}$
VI _v (meest onveilig)	$3,00 \cdot 10^{-2}$	1

4.3.2. Buitenwaartse macrostabiliteit (STBU)

De eerste stap in de toetsing is het doorlopen van de eenvoudige toets voor buitenwaartse macrostabiliteit. Deze toetsing wordt weergegeven in Bijlage F. Uit de eenvoudige toets volgt dat de primaire kering geen veilige afmetingen heeft. De toetsing dient daarom te worden vervolgd met de gedetailleerde toets.

De toetsing is wederom uitgevoerd met D-Geostability. Scenario A heeft betrekking op de situatie na een snelle val van maatgevend hoogwater naar gemiddeld hoogwater. Scenario B heeft betrekking op de situatie na een snelle val van gemiddeld hoogwater naar laag laag water. Scenario C is gerelateerd aan de situatie van extreme neerslag bij gemiddeld laag water. De cijfers (1 t/m 4) representeren de ondergrondscenario's. De faalkans per scenario is herleid tot een totale faalkans voor buitenwaartse macrostabiliteit. De resultaten worden weergegeven in Tabel 4-4.

Tabel 4-4 Resultaten gedetailleerde toets: STBU – zonder Stienen Man

Scenario	Stabiliteits-factor Berekend	Stabiliteits-factor Gecorrigeerd	Faalkans bij scenario	Kans op ondergrond scenario	Gewogen faalkans	Totale faalkans
i [-]	Sb _i [-]	Sb _i /Y _d [-]	Pf _i [jaar ⁻¹]	Psos _i [-]	Pg _i [jaar ⁻¹]	Pg [jaar ⁻¹]
A.1.	2,19	2,08	$3,05 \cdot 10^{-16}$	0,18	$5,49 \cdot 10^{-17}$	$2,50 \cdot 10^{-16}$
A.2.	2,20	2,09	$2,36 \cdot 10^{-16}$	0,72	$1,70 \cdot 10^{-16}$	
A.3.	2,19	2,08	$3,05 \cdot 10^{-16}$	0,02	$6,10 \cdot 10^{-18}$	
A.4.	2,20	2,09	$2,36 \cdot 10^{-16}$	0,08	$1,89 \cdot 10^{-17}$	
B.1.	2,37	2,26	$1,76 \cdot 10^{-19}$	0,18	$3,17 \cdot 10^{-20}$	$3,40 \cdot 10^{-19}$
B.2.	2,38	2,27	$1,04 \cdot 10^{-17}$	0,72	$9,36 \cdot 10^{-20}$	
B.3.	2,39	2,27	$1,30 \cdot 10^{-19}$	0,02	$2,08 \cdot 10^{-19}$	
B.4.	2,39	2,28	$8,01 \cdot 10^{-20}$	0,08	$6,41 \cdot 10^{-21}$	
C.1.	2,50	2,38	$4,00 \cdot 10^{-22}$	0,18	$7,20 \cdot 10^{-23}$	$4,00 \cdot 10^{-22}$
C.2.	2,50	2,38	$4,00 \cdot 10^{-22}$	0,72	$2,88 \cdot 10^{-22}$	
C.3.	2,50	2,38	$4,00 \cdot 10^{-22}$	0,02	$8,00 \cdot 10^{-24}$	
C.4.	2,50	2,38	$4,00 \cdot 10^{-22}$	0,08	$3,20 \cdot 10^{-23}$	
Totale faalkans						$2,50 \cdot 10^{-16}$
STBU [jaar ⁻¹]						
Faalkanseis per						$4,67 \cdot 10^{-6}$
vak [jaar ⁻¹]						

De berekende faalkans voor buitenwaartse macrostabiliteit is gelijk aan $2,50 \cdot 10^{-16}$ [jaar⁻¹]. Hiermee kan worden verondersteld dat de faalkans voor buitenwaartse macrostabiliteit verwaarloosbaar is. Scenario A heeft het overgrote aandeel in de totale faalkans.

De faalkanseis per vak voor de gedetailleerde toets voor toetsspoor buitenwaartse macrostabiliteit is gelijk aan $4,67 \cdot 10^{-6}$ [jaar⁻¹]. Met een totale faalkans van $2,50 \cdot 10^{-16}$ [jaar⁻¹] voldoet de primaire kering aan de faalkanseis per vak voor buitenwaartse macrostabiliteit.

4.4. Veiligheidsoordeel macrostabiliteit situatie zonder Stienne Man

Per faalmechanisme worden de resultaten van de eenvoudige en gedetailleerde toets beschreven voor de situatie met de Stienne Man. In het kader van herleidbaarheid van de toetsing wordt de aanpak van de toetsing in D-Geostability weergegeven in Bijlage E. In Bijlage G worden kritieke glijvlakken weergegeven.

4.4.1. Binnenwaartse macrostabiliteit (STBI)

De eerste stap in de toetsing is het doorlopen van de eenvoudige toets voor NWO's. Deze toetsing wordt weergegeven in Bijlage F. Uit de eenvoudige toets volgt dat het NWO mee moet worden genomen in verdere toetsing. Dit is gedaan door invloeden van het NWO op de stabiliteit van de primaire kering te schematiseren in D-Geostability. De uitgangspunten hiervoor zijn gedefinieerd in Paragraaf 4.1 en Paragraaf 4.2.

In de toetsing is de faalkans voor verschillende scenario's berekend. Scenario A heeft betrekking tot de situatie bij maatgevend hoogwater. Scenario B heeft betrekking tot de situatie bij gemiddeld hoogwater en extreme neerslag. De cijfers (1 t/m 4) representeren de ondergrondscenario's. De faalkans per scenario is herleid tot een totale faalkans voor binnenwaartse macrostabiliteit. De resultaten worden weergegeven in Tabel 4-5.

Tabel 4-5 Resultaten gedetailleerde toets: STBI – met Stienne Man

Scenario	Stabiliteits-factor Berekend	Stabiliteits-factor Gecorrigeerd	Faalkans bij scenario	Kans op ondergrond scenario	Gewogen faalkans	Totale faalkans
i [-]	Sb _i [-]	Sb _i /Y _d [-]	Pf _i [jaar ⁻¹]	Pso _s _i [-]	Pg _i [jaar ⁻¹]	Pg [jaar ⁻¹]
A.1.	1,45	1,38	$1,44 \cdot 10^{-4}$	0,18	$2,59 \cdot 10^{-5}$	$1,01 \cdot 10^{-4}$
A.2.	1,41	1,34	$9,50 \cdot 10^{-5}$	0,72	$6,84 \cdot 10^{-5}$	
A.3.	1,45	1,38	$1,44 \cdot 10^{-4}$	0,02	$2,88 \cdot 10^{-6}$	
A.4.	1,44	1,37	$4,31 \cdot 10^{-5}$	0,08	$3,45 \cdot 10^{-6}$	
B.1.	1,49	1,42	$2,40 \cdot 10^{-5}$	0,18	$4,32 \cdot 10^{-6}$	$2,43 \cdot 10^{-5}$
B.2.	1,49	1,42	$2,44 \cdot 10^{-5}$	0,72	$1,76 \cdot 10^{-5}$	
B.3.	1,49	1,42	$2,40 \cdot 10^{-5}$	0,02	$4,80 \cdot 10^{-7}$	
B.4.	1,49	1,42	$2,44 \cdot 10^{-5}$	0,08	$1,95 \cdot 10^{-6}$	
					Totale faalkans STBI [jaar ⁻¹]	$1,25 \cdot 10^{-4}$
					Signalerings- waarde [jaar ⁻¹]	$4,67 \cdot 10^{-7}$
					Ondergrens- waarde [jaar ⁻¹]	$1,40 \cdot 10^{-6}$

De totale faalkans voor binnenwaartse macrostabiliteit is gelijk aan $1,25 \cdot 10^{-4}$ [jaar⁻¹]. Uit Tabel 4-5 blijkt dat de situatie bij maatgevend hoogwater (situatie A) het grootste aandeel heeft in de totale faalkans. Dit wordt verklaard door relatief hoge hydraulische belastingen op de primaire kering. De totale faalkans voor STBI per vak is groter dan de signaleringswaarde en ondergrenswaarde voor het toetsspoor per vak. De indeling van categorieën wordt weergegeven in Tabel 4-3. Met een totale faalkans van $1,21 \cdot 10^{-5}$ [jaar⁻¹] valt de veiligheid van de primaire kering in categorie IV_v. Dit betekent dat de primaire kering mogelijk voldoet aan de ondergrens en/of aan de signaleringswaarde.

4.4.2. Buitenwaartse macrostabiliteit (STBU)

De eerste stap in de toetsing is wederom het doorlopen van de eenvoudige toets voor NWO's. Zoals in Paragraaf 4.4.1. blijkt, moet het NWO mee worden genomen in de verdere toetsing.

Scenario A heeft betrekking op de situatie na een snelle val van maatgevend hoogwater naar gemiddeld hoogwater. Scenario B heeft betrekking op de situatie na een snelle val van gemiddeld hoogwater naar laag laag water. Scenario C is gerelateerd aan de situatie van extreme neerslag bij gemiddeld laag water. De cijfers (1 t/m 4) representeren de ondergrondscenario's. De faalkans per scenario is herleid tot een totale faalkans voor buitenwaartse macrostabiliteit. De resultaten worden weergegeven in Tabel 4-6.

Tabel 4-6 Resultaten gedetailleerde toets: STBU – met Stienen Man

Scenario	Stabiliteits- factor Berekend	Stabiliteits- factor Gecorrigeerd	Faalkans bij scenario	Kans op ondergrond scenario	Gewogen faalkans	Totale faalkans
i [-]	Sb _i [-]	Sb _i /Y _d [-]	Pf _i [jaar ⁻¹]	Psos _i [-]	Pg _i [jaar ⁻¹]	Pg [jaar ⁻¹]
A.1.	1,91	1,82	$3,14 \cdot 10^{-11}$	0,18	$5,65 \cdot 10^{-12}$	$2,36 \cdot 10^{-11}$
A.2.	1,92	1,83	$2,17 \cdot 10^{-11}$	0,72	$1,56 \cdot 10^{-11}$	
A.3.	1,91	1,82	$3,12 \cdot 10^{-11}$	0,02	$6,24 \cdot 10^{-13}$	
A.4.	1,92	1,83	$2,17 \cdot 10^{-11}$	0,08	$1,74 \cdot 10^{-12}$	
B.1.	2,19	2,09	$2,58 \cdot 10^{-16}$	0,18	$4,64 \cdot 10^{-17}$	$5,01 \cdot 10^{-16}$
B.2.	2,20	2,09	$5,50 \cdot 10^{-16}$	0,72	$3,96 \cdot 10^{-16}$	
B.3.	2,19	2,09	$7,14 \cdot 10^{-16}$	0,02	$1,43 \cdot 10^{-17}$	
B.4.	2,19	2,09	$5,50 \cdot 10^{-16}$	0,08	$4,40 \cdot 10^{-17}$	
C.1.	2,10	2,00	$1,03 \cdot 10^{-14}$	0,18	$1,85 \cdot 10^{-15}$	$1,03 \cdot 10^{-14}$
C.2.	2,10	2,00	$1,03 \cdot 10^{-14}$	0,72	$7,42 \cdot 10^{-15}$	
C.3.	2,10	2,00	$1,03 \cdot 10^{-14}$	0,02	$2,06 \cdot 10^{-16}$	
C.4.	2,10	2,00	$1,03 \cdot 10^{-14}$	0,08	$8,24 \cdot 10^{-16}$	
					Totale faalkans STBU [jaar ⁻¹]	$2,36 \cdot 10^{-11}$
					Faalkanseis per vak [jaar ⁻¹]	$4,67 \cdot 10^{-6}$

De berekende faalkans voor buitenwaartse macrostabiliteit is gelijk aan $2,36 \cdot 10^{-11}$ [jaar⁻¹]. Hiermee kan worden verondersteld dat de faalkans voor buitenwaartse macrostabiliteit verwaarloosbaar is. Scenario A heeft het overgrote aandeel in de totale faalkans.

De faalkanseis per vak voor de gedetailleerde toets voor toetsspoor buitenwaartse macrostabiliteit is gelijk aan $4,67 \cdot 10^{-6}$ [jaar⁻¹]. Met een totale faalkans van $2,36 \cdot 10^{-11}$ [jaar⁻¹] voldoet de primaire kering aan de faalkanseis per vak voor buitenwaartse macrostabiliteit.

5. Discussie

Voor dit onderzoek zijn verschillende methoden gebruikt. Archiefonderzoek en grondonderzoek is uitgevoerd voor het bepalen van de dimensies van de fundering van de Stiennen Man. De resultaten van beide methoden komen overeen. Daarna zijn de resultaten herleid tot een algemene schematisering van de fundering. Vervolgens is de toetsing uitgevoerd met behulp van D-Geostability. De toetsing is uitgevoerd conform de Schematiseringhandleiding Macrostabiliteit (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). Resultaten van de toetsing worden vervolgens vergeleken om een oordeel te kunnen geven over de invloed van het NWO op de faalkans van de primaire kering. Vanwege de systematische uitvoering kan worden gesproken van een methodologische validiteit.

Uit de resultaten blijkt dat de aanwezigheid van de Stiennen Man een relevante invloed heeft op de faalkans per vak van de primaire kering. Voor binnenwaartse macrostabiliteit verhoogt dit de faalkans met factor 10. Voor buitenwaartse macrostabiliteit verhoogt de Stiennen man de faalkans met factor 10000. Echter, de faalkans voor buitenwaartse macrostabiliteit is verwaarloosbaar in de situatie met en de situatie zonder Stiennen Man. De dusdanig grote verhoging van de faalkans ten gevolge van de aanwezigheid van de Stiennen Man is daarom niet relevant.

De Stiennen Man heeft in de toetsing geen invloed op het uiteindelijke veiligheidsoordeel voor binnenwaartse en buitenwaartse macrostabiliteit. Dit is afhankelijk van de specifieke situatie; doordat de veiligheidsbeoordeling is opgedeeld in categorieën van faalkansen, kan het voorkomen dat de aanwezigheid van een NWO wel degelijk invloed heeft op het veiligheidsoordeel.

Een verwachting was dat de aanwezigheid van de fundering van de Stiennen Man de stabiliteit van de primaire kering zou verhogen. Uit de resultaten blijkt dat dit niet van toepassing is. Een verklaring hiervoor is dat de diepte van de fundering relatief klein is ten opzichte van de hoogte van de kering. In plaats van het verhogen van de stabiliteit veroorzaken de extra belastingen een lagere stabiliteitsfactor voor zowel binnen- als buitenwaartse macrostabiliteit.

Het huidige onderzoek is een verkenning naar hoe de invloed van NWO's kan worden meegenomen in de toetsing van de primaire keringen voor het toetsspoor macrostabiliteit. In plaats van het aparte toetsspoor voor niet-waterkerende objecten wordt de invloed van het NWO direct meegenomen in de toetsing per vak. Aan de hand van dit onderzoek kan worden bevestigd dat er de mogelijkheid is om de invloed van NWO's direct mee te nemen in de toetsing van binnen- en buitenwaartse macrostabiliteit.

Deze studie behandelt niet het indirecte faalmechanisme waarbij het NWO faalt. In het scenario dat de Stiennen Man omvalt, zal er ontgronding plaatsvinden in de kruin van de kering. Bovendien verandert de verdeling van de belastingen. Wanneer deze situatie wordt geschematiseerd in D-Geostability, kan de faalkans voor deze situatie worden berekend. Door deze faalkans te vermenigvuldigen met de kans op falen van de Stiennen Man, kan de faalkans van het indirecte faalmechanisme worden bepaald.

Een kanttekening die hierbij geplaatst dient te worden, is dat er naar verwachting een lage stabiliteitsfactor overblijft na ontgronding van de Stiennen Man. De bekleding zal namelijk scheuren en daardoor verliest de kering zijn samenhang. De zandkern die overblijft, zou vervolgens weg kunnen spoelen ten gevolge van golfklappen. Hierdoor heeft de kering geen reststerkte. Bovendien is het voor dit indirecte faalmechanisme lastig om te bepalen wat de kans op falen van de Stiennen Man is. Deze kans dient te worden geschat. Dit zorgt voor een hoge onzekerheid in de beoordeling.

Er moet rekening mee worden gehouden dat een gebrek aan gegevens in de toetsing leidt tot veilige uitgangspunten voor parameterwaarden. Vanwege een gebrek aan meetresultaten van

grondeigenschappen moeten rekenwaarden worden gebruikt in D-Geostability. Verder ontbreekt informatie over het verloop van waterspanningen over de doorsnede van de primaire kering. Hierdoor moeten veilige schattingen worden gemaakt voor het verloop van de waterspanningen. Dit leidt tot een faalkans die naar verwachting groter is dan in de werkelijke situatie.

Voor het uitvoeren van de berekeningen in D-Geostability zijn aannames gemaakt voor bijvoorbeeld het schematiseren van de primaire kering en voor het schematiseren van het verloop van de freatische lijnen en stijghoogtelijnen. Deze aannames zijn grotendeels verantwoord door gebruik te maken van conservatieve waarden.

Resultaten uit het archiefonderzoek en uit het grondonderzoek zijn gebruikt om de diepteligging van de fundering te bepalen. De resultaten zijn in overeenstemming. Echter, de resultaten van het grondonderzoek leveren een bereik waarin de onderkant van de fundering zich bevindt. Dit is het gevolg van onnauwkeurigheid van de meetmethodiek. Doordat de exacte diepteligging van de fundering niet bepaald is, moet een aanname voor deze waarde worden gemaakt. In de berekeningen wordt de diepte van de fundering geschematiseerd als 1,50 m onder het maaiveld. Deze aanname leidt tot onzekerheid in de resultaten. Het kan voorkomen dat de onderzijde van de fundering in werkelijkheid enigszins hoger of lager ligt dan de geschatte waarde. Doordat deze verschillen relatief klein zijn in verhouding met de totale hoogte van de primaire kering, kan worden aangenomen dat de stabiliteit van de kering nauwelijks zal veranderen ten gevolge van een verandering van de diepteligging. Er kan daarom worden verondersteld dat de resultaten betrouwbaar zijn.

Het advies voor vervolgonderzoek is om te onderzoeken hoe de beoordeling van NWO's kan worden ingepast in andere toetssporen, zoals piping. Daarnaast kan wellicht een onderzoek naar het toetsen van indirecte faalmechanismen in D-Geostability worden opgezet.

6. Conclusie

Per deelvraag wordt een antwoord op de vraag gegeven.

1. *Wat is de samenstelling van de fundering van de Stiennen Man?*

Uit de tekeningen blijkt dat de sokkel bestaat uit metselwerk met een opvulling van vuilwerkklinkers en grond. De Stiennen Man is gefundeerd op een funderingsplaat. De archieftekeningen laten zien dat de onderkant van de fundering zich op ongeveer 1,50 m onder het maaiveld (m –MV) bevindt. De seismische en elektromagnetische sonderingen maken duidelijk dat de onderkant van de fundering in het gebied tussen 1,65 m –MV en 1,40 m –MV ligt. Dit komt overeen met de diepteligging in de bestektekeningen. In de schematisering van de Stiennen Man wordt uitgegaan van een diepteligging van 1,50 m –MV (zie Figuur 4-1). Dit is gelijk aan 8,04 m +NAP.

2. *Op welke manier beïnvloedt de Stiennen Man de stabiliteit van de primaire waterkering?*

Het freatisch vlak en de stijghoogtelijnen worden nauwelijks verstoord door de aanwezigheid van de Stiennen Man. Verstoring van het grondlichaam is van toepassing wanneer het falen van de Stiennen Man tot ontgronding leidt. Dit indirecte faalmechanisme is echter niet verder onderzocht in dit onderzoek. De Stiennen Man beïnvloedt de stabiliteit van de kering hoofdzakelijk door het veroorzaken van een belasting ten gevolge van het eigen gewicht van het NWO en door het effect van de windbelasting. In de toetsing worden de extra belastingen meegenomen door het schematiseren van een uniforme belasting en een puntlast. Deze belastingen grijpen aan ter hoogte van de onderzijde van de fundering (8,04 m +NAP).

3. *Wat is de faalkans met betrekking tot macrostabiliteit van de primaire waterkering op de specifieke locatie, bij het buiten beschouwing laten van de Stiennen Man?*

Voor binnenwaartse macrostabiliteit is de signaleringswaarde voor het toetsspoor per vak gelijk aan $4,67 \cdot 10^{-7}$ [jaar⁻¹]. De ondergrens voor het toetsspoor vak is gelijk aan $1,40 \cdot 10^{-6}$ [jaar⁻¹]. De totale faalkans voor binnenwaartse macrostabiliteit is gelijk aan $1,21 \cdot 10^{-5}$ [jaar⁻¹]. Met deze faalkans valt de veiligheid van de primaire kering in categorie IV_v. Dit betekent dat de primaire kering "mogelijk voldoet aan de ondergrens en/of aan de signaleringswaarde" (Deltares, 2016).

Voor buitenwaartse macrostabiliteit is de faalkanseis per vak gelijk aan $4,67 \cdot 10^{-6}$ [jaar⁻¹]. De totale faalkans voor buitenwaartse macrostabiliteit is gelijk aan $2,50 \cdot 10^{-16}$ [jaar⁻¹]. Hierdoor valt de veiligheid van de primaire kering in categorie II_v. Dit betekent dat de primaire kering voldoet aan de faalkanseis per vak.

4. *Wat is de faalkans met betrekking tot macrostabiliteit van de primaire waterkering op de specifieke locatie, bij het in acht nemen van de Stiennen Man?*

De totale faalkans voor binnenwaartse macrostabiliteit is gelijk aan $1,25 \cdot 10^{-4}$ [jaar⁻¹]. Met deze faalkans valt de veiligheid van de primaire kering in categorie IV_v. Dit betekent dat de primaire kering "mogelijk voldoet aan de ondergrens en/of aan de signaleringswaarde" (Deltares, 2016).

Voor buitenwaartse macrostabiliteit is de faalkanseis per vak gelijk aan $4,67 \cdot 10^{-6}$ [jaar⁻¹]. De totale faalkans voor buitenwaartse macrostabiliteit is gelijk aan $2,36 \cdot 10^{-11}$ [jaar⁻¹]. Hierdoor valt de veiligheid van de primaire kering in categorie II_v. Dit betekent dat de primaire kering voldoet aan de signaleringswaarde.

Er kan worden geconcludeerd dat de aanwezigheid van de Stiennen Man een relevante invloed heeft op de faalkans van de primaire kering. Voor binnenwaartse macrostabiliteit verhoogt dit de faalkans met factor 10. Voor buitenwaartse macrostabiliteit verhoogt de Stiennen man de faalkans met factor 10000. Echter, de faalkans voor buitenwaartse macrostabiliteit is verwaarloosbaar in de situatie met en de situatie zonder Stiennen Man. De dusdanig grote verhoging van de faalkans ten gevolge van de aanwezigheid van de Stiennen Man is daarom niet relevant. Voor zowel binnen- als buitenwaartse macrostabiliteit verandert het veiligheidsoordeel niet ten gevolge van het NWO.

7. Aanbevelingen

Uit het onderzoek blijkt dat de implementatie van niet-waterkerende objecten in de toetsing van binnen- en buitenwaartse macrostabiliteit geschikt is voor het bepalen van de invloed van een NWO op de stabiliteit van een primaire kering. Om deze reden kan worden gesteld dat deze methode geschikt is voor Wetterskip Fryslân voor het beoordelen van dijkvakken waarop zich NWO's bevinden. Dit leidt tot een betrouwbare faalkans per dijkvak. Kanttekening hierbij is dat deze beoordeling wordt uitgevoerd door geotechnische experts. Op deze manier worden onderbouwde keuzes voor de schematiseringen en de berekeningen gemaakt. Zo kan worden voorkomen dat de faalkans per dijkvak wordt overschat.

Bovendien blijkt uit het onderzoek dat het uitvoeren van archiefonderzoek en grondonderzoek een helder beeld geeft van de opbouw van de fundering van de Stiennen Man. Indien er bij vergelijkbare NWO's informatie ontbreekt over de opbouw van het object, dient Wetterskip Fryslân de combinatie van archiefonderzoek en grondonderzoek uit te voeren. Op deze manier kan relevante informatie worden gekregen over de opbouw van het object. Er wordt aanbevolen om eerst archiefonderzoek uit te voeren. Dit kan leiden tot informatie over de opbouw, waarop het plan van aanpak voor het grondonderzoek eventueel kan worden aangepast.

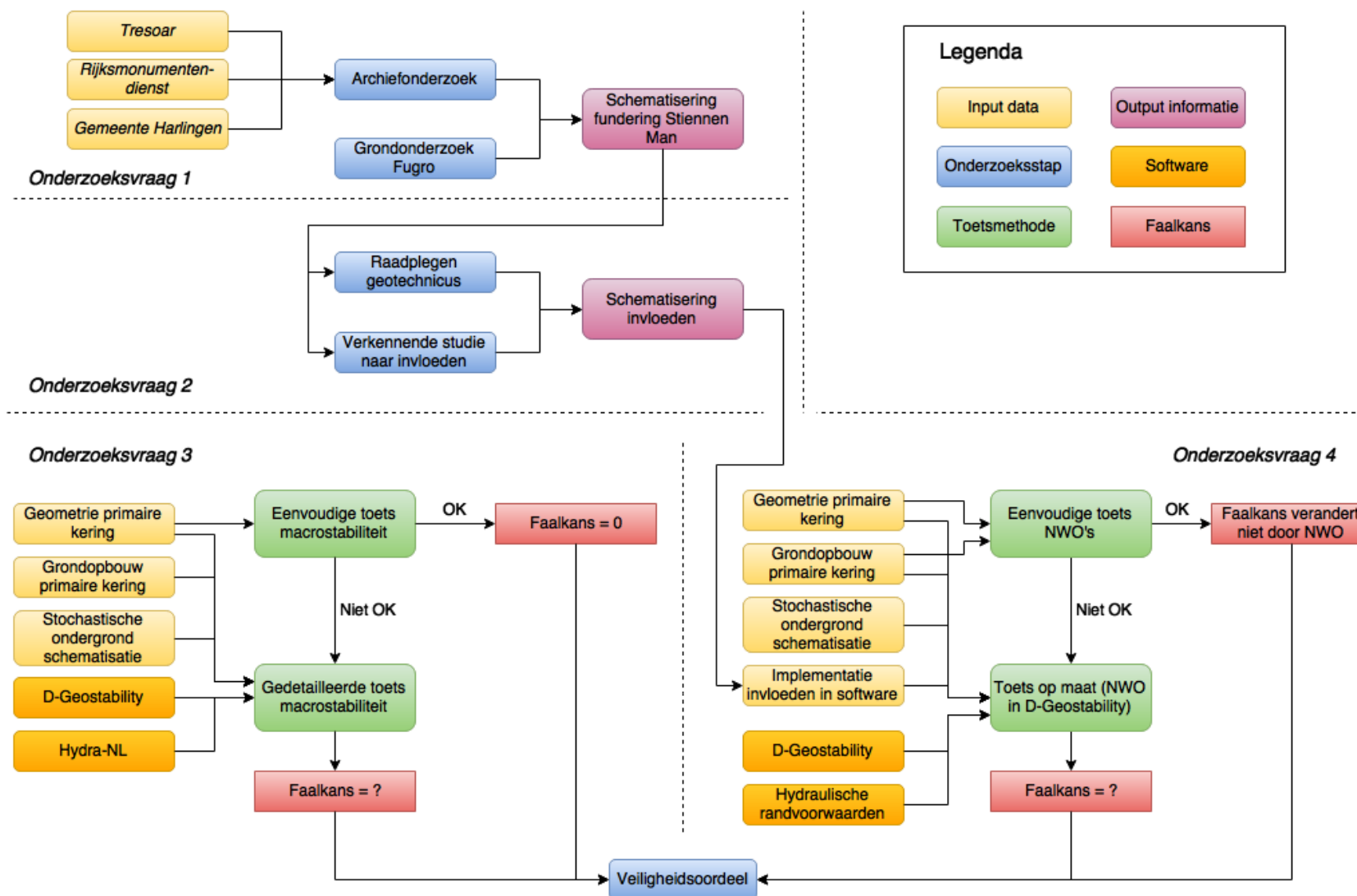
Verder is in de toetsing gebleken dat er momenteel informatie ontbreekt over de bijvoorbeeld de eigenschappen van de grondsoorten in de primaire kering of over het verloop van de freatische lijn en de stijghoogtelijnen. Het is van belang dat Wetterskip Fryslân een inventarisatie maakt van de ontbrekende gegevens. Vervolgens moet een plan van aanpak worden opgesteld, waarin duidelijk wordt op welke manier het gebrek aan gegevens wordt opgelost. Aanvullend grondonderzoek wordt hierbij geadviseerd. Via deze weg worden representatieve rekenwaarden bepaald en wordt voorkomen dat er met veilige invoerwaarden voor parameters moet worden gerekend.

Tenslotte is het van belang om de toestand van de bekleding van de Westerzeedijk te beoordelen. Dit naar aanleiding van het onderzoek op locatie, waarbij bleek dat de bekleding bestaat uit zandige klei in plaats van zuivere klei. Het kan zijn dat de zandige klei alleen op de kruin nabij de Stiennen Man te vinden is. Echter, het kan ook blijken dat er een groter deel van de Westerzeedijk bedekt wordt door een zandige kleilaag. Om beschadigde bekledingen te voorkomen, dient de kwaliteit van de bekleding daarom te worden beoordeeld.

Referenties

- Aguilar López, J. (2016). *Probabilistic Safety Assessment of Multi-functional Flood Defences*. PhD Thesis, Enschede.
- Archieven.nl. (2015). *Historisch overzicht: Vijf Deelen Buitendijks 1949-1979*. Opgeroepen op april 21, 2017, van Archieven.nl: <http://www.archieven.nl/>
- Deltares. (2012). *Achtergrondrapportage Technisch Deel VTV, Ref. 1204143-001-GEO-0019*.
- Deltares. (2016). *Assemblageprotocol WBI2017*.
- EK Bouwadvies. (2016). *Lambda waarde materialen*. Opgeroepen op Mei 31, 2017, van <http://www.ekbouwadvies.nl>
- GWWmaterialen.nl. (2016). *Soortelijk Gewicht*. Opgeroepen op Mei 31, 2017, van <http://gwwmaterialen.blogspot.nl>
- Harlinger Courant. (1972, juni 30). Gedenkstenen bij de Stenen Man geplaatst.
- Helpdesk Water. (2017). *Factsheet Macrostabieliteit Binnenwaarts STBI*. Opgeroepen op April 11, 2017, van www.helpdeskwater.nl
- Helpdesk Water. (2017). *Over Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium*. Opgeroepen op March 2, 2017, van www.helpdeskwater.nl
- Hooghiemstra, J. (2014, mei 9). *Wetterskip Fryslân draagt zes rijksmonumenten over aan Stichting Waterschapserfgoed*. Opgeroepen op april 20, 2017, van Franeker Courant: <http://www.franekercourant.nl/>
- Hosper, U., Karstkarel, P., & van der Woude, S. (2008). *De Slachte*. Leeuwarden: Friese Pers Boekerij bv.
- Keunstwurk. (2011, december 27). *De Stienen Man. Monument voor Caspar de Robles*. Opgeroepen op april 20, 2017, van Keunstwurk: <http://www.keunstwurk.nl/>
- Leeuwarder Courant. (1965, mei 26). Stenen Man.
- MAYKO. (2013). *Natuurstenen - Zandsteen*. Opgeroepen op Mei 31, 2017, van <http://nl.mayko.de>
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2016). *Regeling Veiligheid Primaire Keringen 2017. Bijlage III Sterkte en Veiligheid*.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2016). *Regeling Veiligheid Primaire Waterkeringen 2017. Bijlage II Hydraulische Belastingen*.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2016). *Schematiseringshandleiding Macrostabieliteit*.
- Nieuwsblad van het Noorden. (1969, augustus 28). Stenen Man bij Harlingen kijkt weer over land en zee.
- Planbureau voor de Leefomgeving. (2007). *Correctie Formulering Over Overstromingsrisico Nederland In IPCC-rapport*. Opgeroepen op March 6, 2017, van www.pbl.nl
- Regeling Veiligheid Primaire Waterkeringen 2017. (2017, December 12). Retrieved March 4, 2017, from wetten.overheid.nl
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. (2004). *Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken*.
- van der Heijden, C. (2001, oktober 31). De Allerheiligenvloed. NRC. Opgeroepen op april 20, 2017, van <http://www.nrc.nl/>
- van der Pol, K. (2017, april 21). <http://www.vandervelde.net>. Opgehaald van De geschiedenis van Achlum.
- VKG. (2017). *Constructies & Eisen - 4.9 Constructies*. Opgeroepen op May 2017, 30, van VKG Kwaliteitshandboek: www.vkg-kwaliteitshandboek.nl/
- Waterwet. (2009). Retrieved March 6, 2017, from wetten.overheid.nl

Bijlage A – Overzicht methodiek



Bijlage B – Resultaten archiefonderzoek

Bijlage B1 – Achtergrond van de Stiennen Man

Achtergrond

De Allerheiligenvloed van 1 november 1570 wordt bestempeld als de zwaarste stormramp uit de Nederlandse geschiedenis. De hoogte van het water tijdens de storm wordt geschat op 5 tot 6,5 meter boven NAP. Het aantal slachtoffers wordt tegenwoordig op 20.000 geschat, waaronder 3.000 in Friesland. Doordat de storm in de nacht opkwam, werden de Friezen in hun slaap verrast. De heersers van toen, Filips II en Alva, hadden al voorspeld dat de dijken niet meer voldeden. Het onderhoud van de dijken was achterstallig, doordat omwonenden het niet zo nauw namen met de lokale onderhoudsplicht (van der Heijden, 2001).

Toenmalig dictatoriale stadhouder van Friesland, Caspar de Robles, zette in op het herstellen van de beschadigde zeedijken bij Harlingen (Keunstwurk, 2011). Hij stelde een leger van 3300 dokwerkers samen. De dijkverbetering vond plaats in de jaren 1574/1575, waarin de dijk verhoogd werd van 2,66m +NAP naar 3,46m +NAP (Harlinger Courant, 1972). In groepen van 300 man werd er gewerkt aan het herstel van de dijk. Voor de mensen die weigerden te werken, stond de galg klaar bovenop de dijk, volgens oude verhalen. Ondanks zijn harde regime werd De Robles geroemd om zijn verrichtingen. In 1576 werd het dijktraject opgedeeld in twee delen (Hosper, Karstkarel, & van der Woude, 2008). De Binnendijkers werden verantwoordelijk voor het onderhoud van het deel ten noorden van de scheiding, terwijl de Buitendijkers verantwoordelijk werden voor het onderhoud van het deel ten zuiden van de scheiding.

In 1576 werd Caspar de Robles vereeuwigd met een monument: het standbeeld de Stiennen Man op de Westerzeedijk bij Harlingen (zie Figuur B-1). Dit beeld is precies op de grens van het noordelijke en zuidelijke deel van het dijktraject geplaatst (Hosper, Karstkarel, & van der Woude, 2008). Het beeld heeft twee koppen: een kop is naar het zuiden gericht, de andere is naar het noorden gericht. Zo waakt de Stiennen Man over de Westerzeedijk.



*Figuur B-1 De Stiennen Man te Harlingen
(Hooghiemstra, 2014)*

Waterschappen

In 1868 werd het beheer van de Westerzeedijk verdeeld over twee waterschappen: het Waterschap Vijf Deelen Zeedijken Binnendijks en het Waterschap Vijf Deelen Zeedijken Buitendijks (Hosper, Karstkarel, & van der Woude, 2008). Deze waterschappen werden in 1980 deel van het nieuwe waterschap Wetterskip Fryslân.

Dijkverhogingen en renovaties

Ondanks de waardering voor Caspar de Robles, werd het monument verwaarloosd. Het monument verviel en de oorspronkelijke Januskop is later teruggevonden bij een boer in Hitzum. Dit was reden voor Graaf van Wassenaer Twickel om het monument in 1744 in z'n geheel te laten vervangen.

De Westerzeedijk bij Harlingen is door de jaren heen meerdere malen verhoogd. Zo waren er dijkverhogingen in 1812, 1912, 1928 en 1963. Door deze dijkverhogingen is de dijkhoogte gestegen van +3,46m +NAP naar +9,54m +NAP.

Van 1894 tot 1896 werd de Stiennen Man grondig gerenoveerd. Uit het archief van Waterschap Der Vijf Deelen Zeedijken Buitendijks zijn bestek en voorwaarden voor de renovatie achterhaald. De fundering werd bij de renovatie opgemetseld tot een hoogte van 6,00m +NAP. De sokkel werd opgemetseld met klinkers, met zerkstenen op de vier hoeken. Vervolgens werd het gerenoveerde beeld op de sokkel geplaatst. De grond rond het fundament werd opgehoogd tot 5,80m +NAP. Vervolgens werd er een ijzeren hek rond het monument geplaatst. In Figuur B-2 wordt geschetst hoe dit beeld na deze renovatie op het binnentalud van de Westerzeedijk stond.



Figuur B-2 De Stenen Man op het binnentalud (van der Pol, 2017)

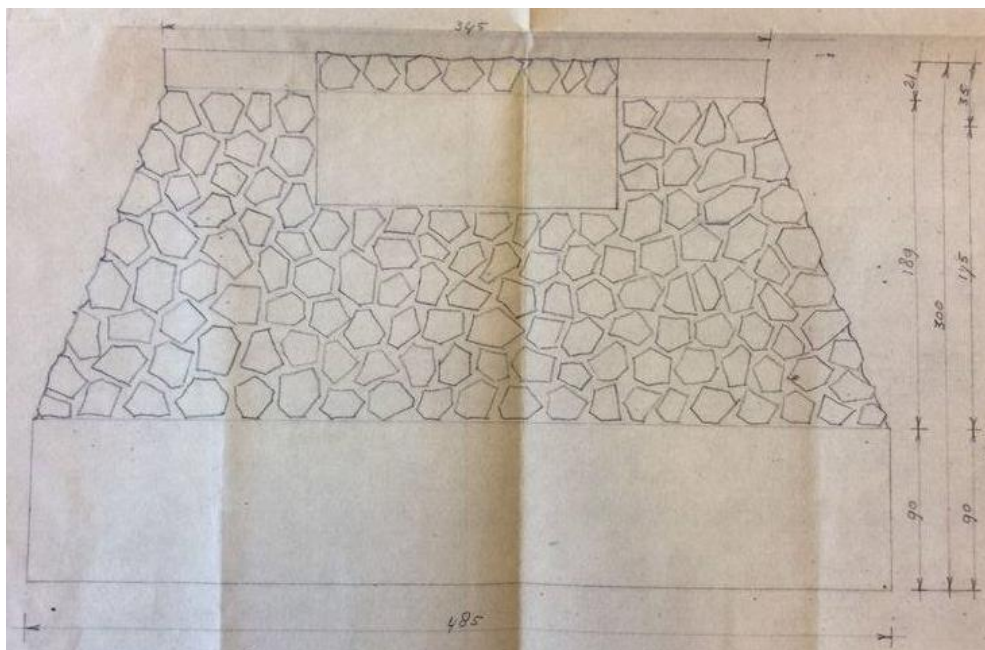
De watersnoodramp in 1953 maakte duidelijk dat er snel moest worden opgetreden tegen het stijgende zeewaterniveau. In de jaren 1963-1966 werd de zeedijk tussen Zurich en Harlingen op Deltahoogte gebracht (Archieven.nl, 2015). Hierbij werd de dijk verhoogd tot 9,54m +NAP. Vanwege de dijkverhoging werd de Stiennen Man tijdelijk van de dijk gehaald (zie Figuur B-3). Dit ging niet zonder problemen, waardoor het standbeeld gerenoveerd diende te worden.



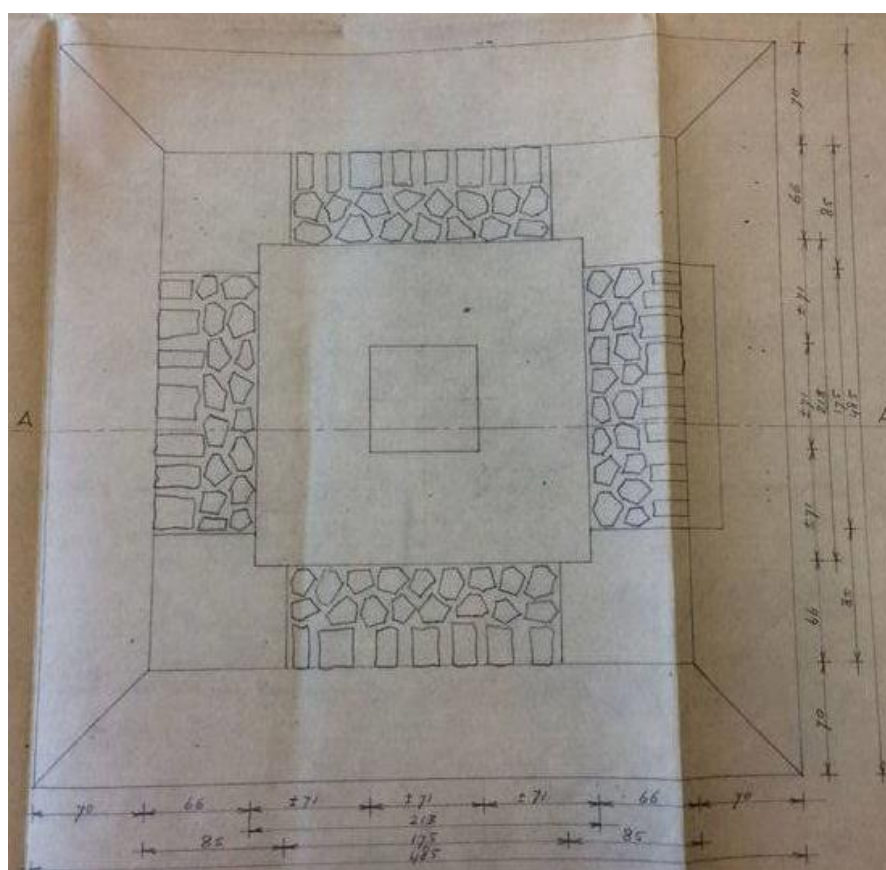
Figuur B-3 Demontage Stiennen Man in mei 1965 (Leeuwarder Courant, 1965)

In augustus 1969 werd de Stiennen Man teruggeplaatst op de Westerzeedijk (Nieuwsblad van het Noorden, 1969). Ditmaal niet op het binnentalud, maar op de kruin van de dijk. De fundering en de sokkel zijn vernieuwd. Zo is de sokkel tegenwoordig opgebouwd uit tichelstenen. De vier originele zerkstenen zijn nog onderdeel van de sokkel.

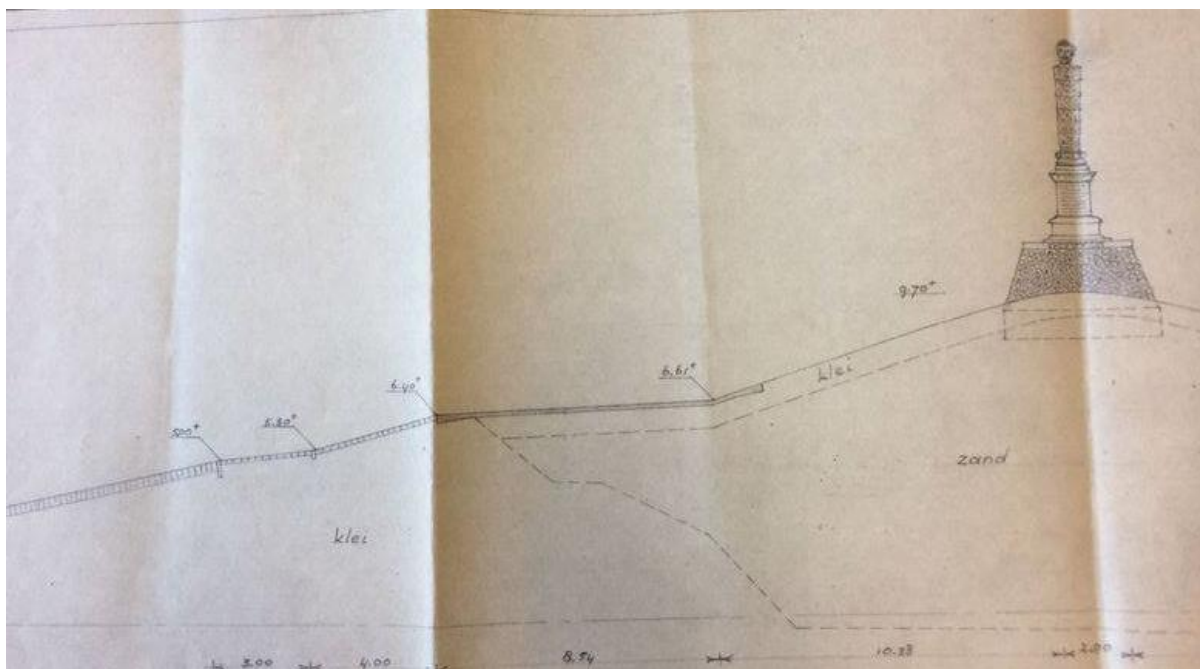
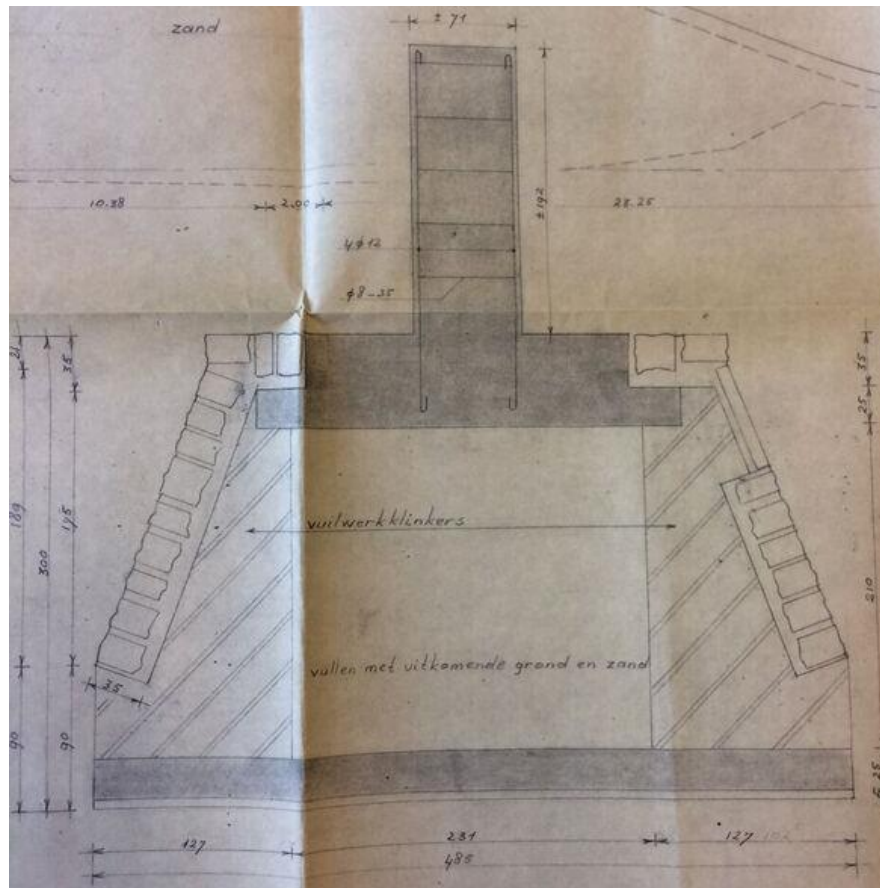
De archieftekeningen komen uit de inventaris van Waterschap Vijf Deelen Zeedijken Binnendijks (1949-1980). Het betreft inventarisnummer 485 – Stukken betreffende de restauratie en herplaatsing van het monument De Stenen Man op de Westerzeedijk bij Harlingen (1968, 1969 en 1971). Zie Figuur B-4 t/m Figuur B-11.

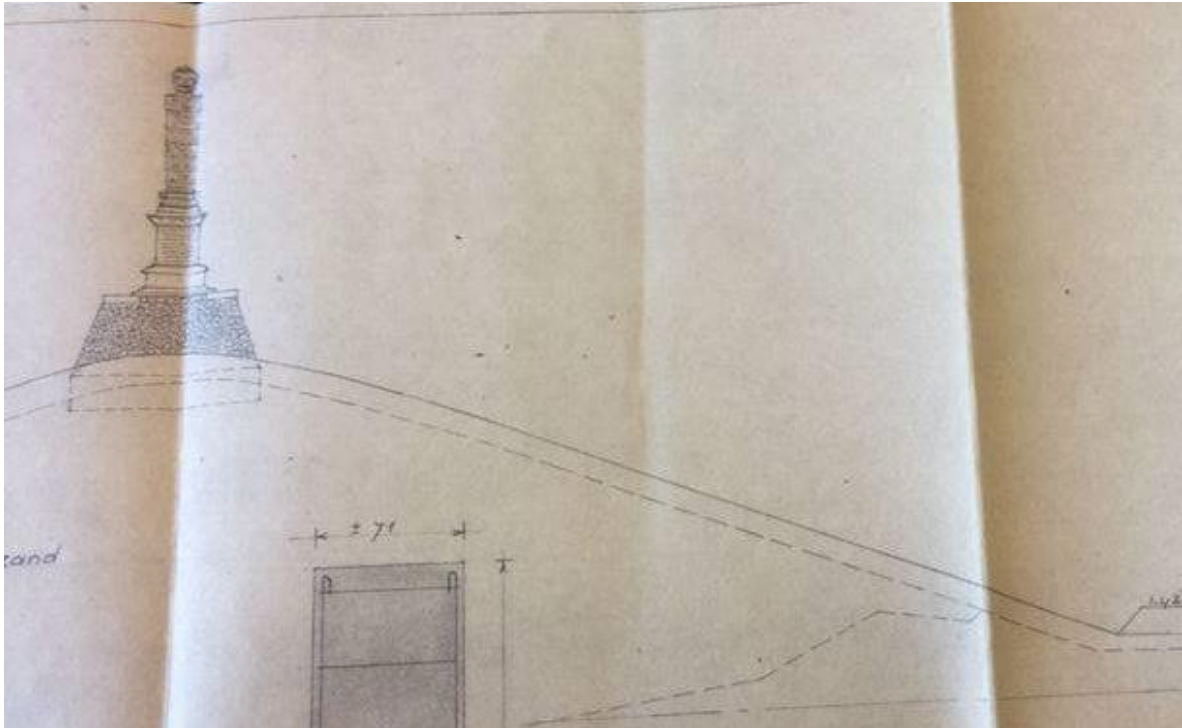


Figuur B-4 Aanzicht Westzijde

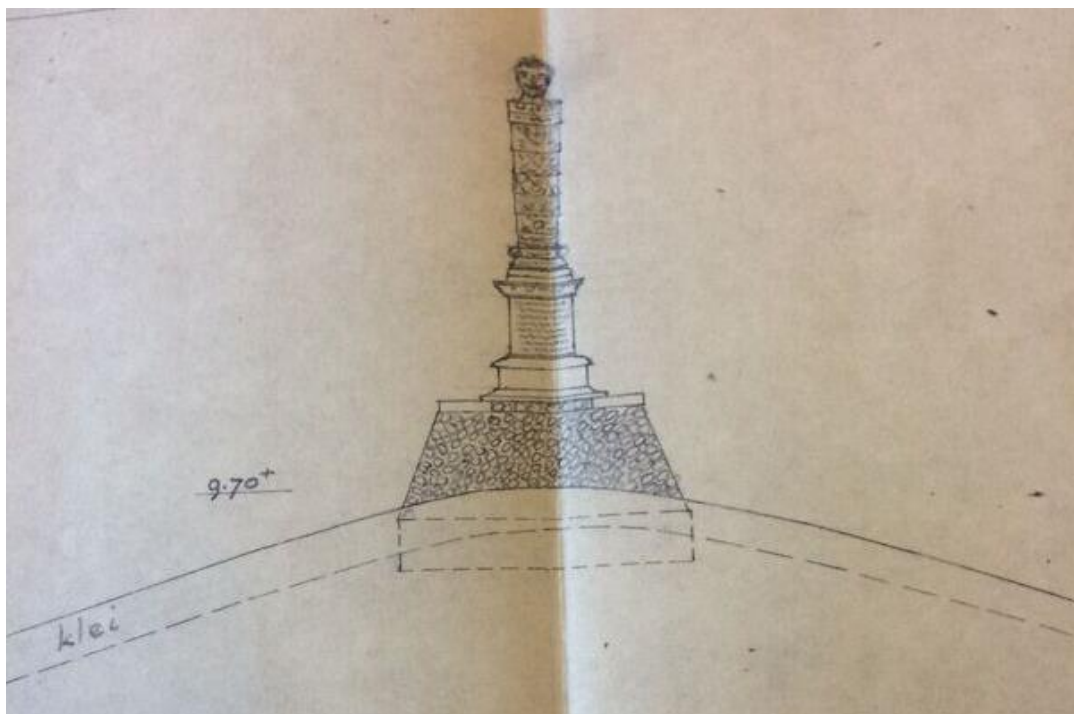


Figuur B-5 Bovenaanzicht sokkel

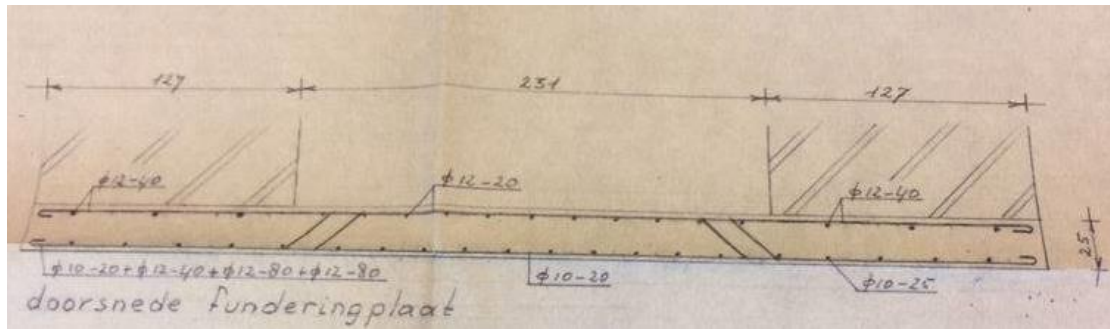




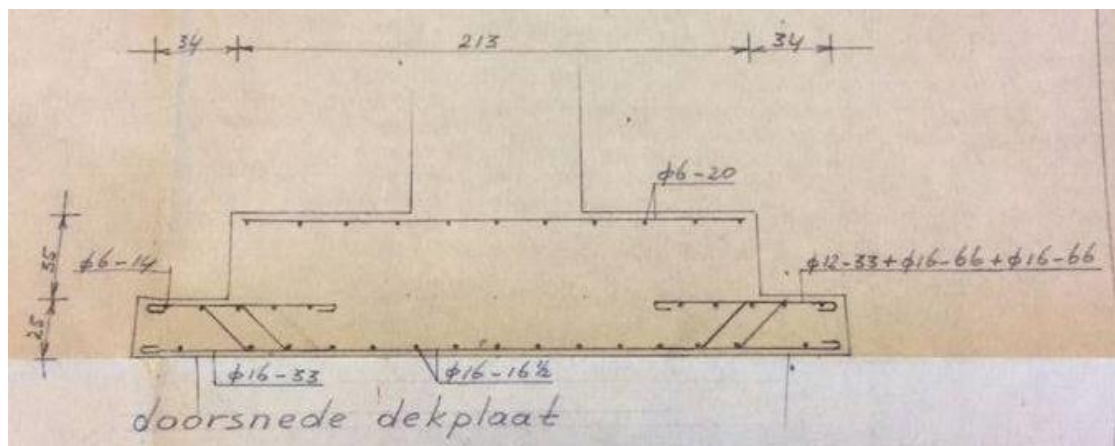
Figuur B-8 Dwarsdoorsnede Westerzeedijk binnenwaarts



Figuur B-9 Gedetailleerde tekening Stiennen Man



Figuur B-10 Doorsnede funderingsplaat



Figuur B-11 Doorsnede dekplaat

Bijlage C – Resultaten Fugro

FUGRO GEOSERVICES B.V.
Geofysica



RAPPORT
betreffende

**GEOFYSISCH ONDERZOEK T.B.V.
FUNDERING VAN STENEN MAN
TE HARLINGEN**

Opdrachtnummer: 1517-0026-000

Opdrachtgever : Waterschap Friesland
T.a.v. A. Steegstra
Postbus 36
8900 AA LEEUWARDEN

Datum grondonderzoek : 03 mei 2017

Projectleider : ing. S.N. Elgün
Senior Adviseur Geofysica

Opgesteld door : ing. S.N. Elgün
Senior Adviseur Geofysica

Gecontroleerd door : drs. C. van Isselt
Senior Adviseur Geofysica

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	24 mei 2017	1 ^{ste} versie	SNE

FILE: 1517-0026-000.R01.docx Op deze rapportage zijn de algemene leveringsvoorwaarden ALV 2012 van toepassing die een aansprakelijkheidsbeperking bevatten

Kantoor: Veurse Achterweg 10, 2264 SG Leidschendam, Tel.: 070 31 70700, Email: www.fugro.nl
Onderdeel van de Fugro Groep met vestigingen over de hele wereld.

<u>INHOUDSOPGAVE</u>	<u>Blz.</u>
1. INLEIDING	2
2. UITVOERING SEISMISCHE EN MAGNETOMETER SONDERING	3
3. RESULTATEN SEISMISCH EN MAGNETOMETER SONDERING	5
3.1. Seismisch onderzoek	5
3.2. Magnetometer onderzoek	6
3.3. Betrouwbaarheid en nauwkeurigheid meettechniek	7
4. CONCLUSIE	8
 <u>BIJLAGEN</u>	 <u>Nr.</u>
- Situatiekening	1517-0026-000-1
- Sondeergrafiek seismisch sondering	1517-0026-000-2
- Sondeergrafiek magnetometer sondering	1517-0026-000-3
- Modellerings magnetometer data	1516-0026-000-4

1. INLEIDING

Op 21 april 2017 ontving Fugro GeoServices B.V. te Leidschendam van Waterschap Friesland te Leeuwarden, de opdracht voor het uitvoeren van een geofysisch onderzoek ten behoeve van de fundering van het kunstwerk "Stenen Man" op de Westerzeedijk te Harlingen.

Waterschap Friesland is momenteel bezig voor de toetsing van de primaire waterkering waar het kunstwerk zich op de kruin van de waterkering bevindt. Om aan de toetsing van de waterkering te kunnen voldoen heeft de opdrachtgever gegevens nodig over de diepteligging van de fundering van het kunstwerk.

Het veldwerk is uitgevoerd op 3 mei 2017 en bestond uit het uitvoeren van 1 seismische sondering en 1 magnetometer sondering. De sonderingen zijn uitgevoerd met behulp van de mini sondeerrups.

2. UITVOERING SEISMISCHE EN MAGNETOMETER SONDERING

Het door Fugro GeoServices B.V. uitgevoerde onderzoek heeft bestaan uit:

- KLIC-melding en verwerking
- Het uitzetten en inmeten van de sondeerpunten in RD coördinaten en ten opzichte van NAP met behulp van een 06-GPS.
- Het uitvoeren van 1 seismisch sondering (DKMS1) tot een diepte van circa 15 m –MV inclusief meting van de plaatselijke wrijvingsweerstand en 1 magnetometersondering tot een diepte van circa 4.5 m –MV, inclusief meting van de plaatselijke wrijvingsweerstand en van de verstoring van het aardmagnetisch veld in 3 richtingen (code DKMM).

De sonderingen zijn uitgevoerd met behulp van mini sondeerrups en zijn ingemeten in RD coördinaten en ten opzichte van NAP. De coördinaten van de uitgevoerde sondeerlocaties zijn aangegeven in onderstaande tabel 2-2.

Tabel 2-2.: De coördinaten van uitgevoerde sonderingen te Harlingen

Naam	X coördinaten [m]	Y coördinaten [m]	Hoogte t.o.v. NAP [m]
DKMS1	156952.47	575730.97	9.36
DKMM2	156952.59	575730.27	9.42
bovenkant fundering kunstwerk	156952.51	575728.75	11.15
bovenkant pin	156952.54	575729.26	9.88
Kruin weg	157017.64	575658.41	1.58

De locaties van uitgevoerde sonderingen zijn aangegeven in een situatietekening, in bijlage 1517-0026-000-1.

De seismisch sondering is uitgevoerd met de (seismische) elektrische Fugro-(kleefmantel) conus conform norm NEN. Een beschrijving van de gevolgde meet- en registratiemethode is voor de elektrische sonderingen gegeven in de bijlage "Continu Elektrisch Sonderen". Tijdens de uitvoering van de seismisch sondering, aan de noordzijde van het kunstwerk is via een ijzeren pin (chemisch anker) het seismisch signaal in het kunstwerk gegenereerd. De seismische testen zijn gestart vanaf circa 0.80 m –MV en om de 25 cm en zijn tot een diepte van circa 3.50 m –MV uitgevoerd. Niet alle opgeslagen signalen waren bruikbaar voor de interpretatie.

De magnetometersondering is uitgevoerd met de elektrische Fugro magnetometer conus conform de norm NEN-EN-ISO 22476 (klasse 3). De elektrische Fugro magnetometer conus is ontworpen voor zowel de meting van de puntdruk en wrijvingsweerstand als de meting van het magnetisch veld in 3 orthogonale richtingen. De magnetische gevoeligheid van de sensor ligt in de orde van 4 nT. De conus is voorzien van een hellingmeter. In de sondeergrafieken is de diepte gecorrigeerd voor de gemeten afwijking van de verticaal. Omdat uit het archiefonderzoek bleek dat er wapening in de fundering van het kunstwerk aanwezig is, heeft Fugro op een halve meter afstand van de fundering van het kunstwerk ook 1 magnetometer sondering uitgevoerd om de diepteligging van de wapening in de fundering vast te stellen.



Foto 2.1. Uitvoering seismisch en magnetometersondering Stenen Man te Harlingen



Foto 2.2. Uitvoering seismisch en magnetometersondering Stenen Man te Harlingen

1517-0026-000.R01.docx

Opdr. : 1517-0026-000
Blz. : 4

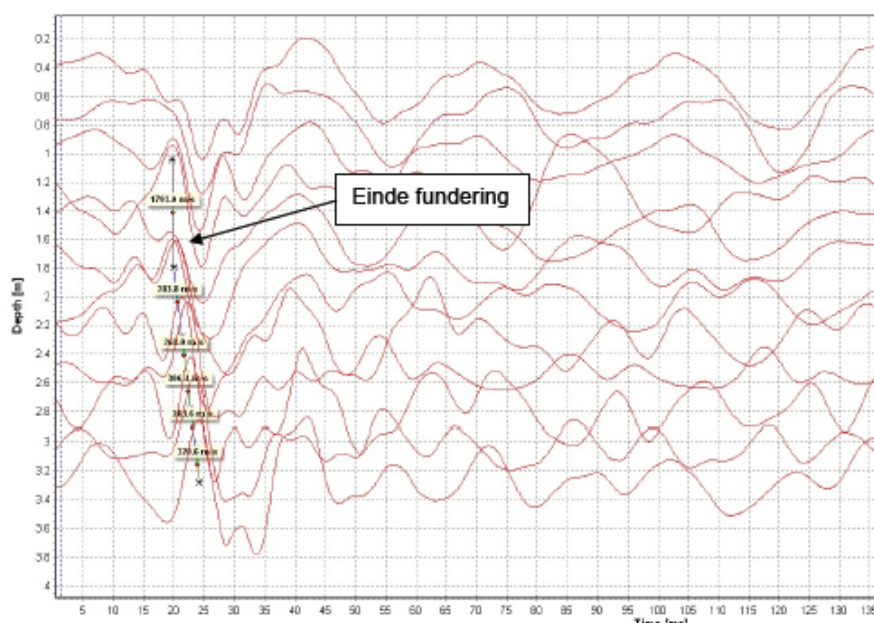
3. RESULTATEN SEISMISCH EN MAGNETOMETER SONDERING

3.1. Seismisch onderzoek

Door het slaan met een hamer op een pin trillingen door het kunstwerk te brengen en de seismische conus dicht langs de fundering naar beneden te sonderen kan de diepteligging van de fundering bepaald worden aan de hand van de tijd dat het signaal erover doet de afstand tussen de fundering en de conus te overbruggen.

Zolang de seismische conus zich naast de fundering bevindt zal de geluidsgolf bij verschillende dieptes zonder enige significante vertraging de conus bereiken. Zodra de conus voorbij de fundering geraakt zal het geluidssignaal een grotere afstand door de bodem moeten af leggen en er dus langer over doen voordat het de seismische ontvangers van de conus bereikt. Deze verandering in tijd van aankomst van de geluidsgolf geeft het einde van de fundering aan.

Zoals te zien in de onderstaande figuur 3.1.1, hebben de aankomsttijden van het seismisch signaal een omslagpunt op circa 1.65 m –MV.



Figuur 3.1.1 Resultaten SCPT1 Seismische sondering fundering Stenen Man, Harlingen

Het succes van de methode hangt af van de ondergrond, de kwaliteit van de fundering en de afstand tussen de conus en het funderingselement. Als de fundering zeer broos is of uit ongeconsolideerd onregelmatig puin (vuilwerkklinkers) bestaat zal de kwaliteit van de geluidsgolf minder zijn en deze minder goed te ontvangen en te onderscheiden van ruis.

In onderstaande tabel 3.1.1 zijn het gemeten snelheden van het seismisch signaal aangegeven.

Diepte [m] mv	Vs snelheid [m/s]
1.02 - 1.65	1793.00
1.65 - 2.30	283.80
2.30 - 2.55	268.00
2.55 - 2.80	306.40
2.80 - 3.05	283.60
3.05 -	320.60

Tabel 3.1.1. Resultaten SCPT1 fundering Stenen Man, Harlingen

Zoals te zien in de bovenstaande tabel is er vanaf 1.65 m –MV een overgang van de golfsnelheid. In het geval van goedkwaliteit beton, reist het seismisch signaal met een snelheid van circa 4000 m/s door het beton. De gemeten snelheid van 1793 m/s in de fundering geeft aan, dat of het contact tussen de buitenmuur en de fundering slecht is of dat dit een effect is van de aanwezigheid van het ongeconsolideerde onregelmatig puin in de fundering van het kunstwerk.

Er is een nauwkeurigheid van ca. 25 cm behaald omdat er elke 25 cm een meting is gedaan, er moet dus een compromis tussen nauwkeurigheid en snelheid worden gesloten

Het resultaat van de seismisch sondering is getekend op de grafieken in bijlage 1517-0026-002, waarop de diepte is uitgezet in meters ten opzichte van NAP. De aankomsttijden van het seismisch signaal is bijgevoegd als bijlage 1517-0026-000-3

3.2. Magnetometer onderzoek

Aan de hand van de magnetometer data uit één magnetometer sondering langs de fundering aan de noordzijde van het kunstwerk "Stenen Man" aan de Westerzeedijk te Harlingen is het magnetisch veld gemodelleerd. Uit het model is de diepteligging van de wapening in de fundering van het kunstwerk bepaald. Dit gebeurt op basis van een "best fit" tussen de gemeten waarden en het softwarematig berekende magnetisch veld.

Het resultaat van de magnetometer sondering is getekend op de grafieken in de bijlage 1517-0026-004, waarop de diepte is uitgezet ten opzichte van NAP.

Voor de modellering van de gegevens zijn eerst x/y correcties uitgevoerd op basis van de waargenomen inclinatie van de conus. Ondanks het verticaal plaatsen van de conus op het maaiveld is de helling van de conus vrijwel oncontroleerbaar onder de grond. De x/y-positie van de conus onder de grond is net zo belangrijk als de z-positie aangezien de magnetische veldsterkte aanzienlijk verandert als de afstand tussen conus en object verandert.

Op de bijlagen 1517-0026-000-5 zijn de magnetometer resultaten (blauw) weergegeven in meters t.o.v. NAP, alsmede een profiellijn langs de sondering (groen) inclusief gemodelleerde objecten (rood). In de vier kolommen zijn van links naar rechts te zien: het aardmagnetisch veld in de x richting, het aardmagnetisch veld in de y richting, het aardmagnetisch veld in de z richting, en de TMI (Total Magnetic Intensity). Kolom A, B en C geven de dimensies van het object weer waarbij C de lengte is.

1517-0026-000.R01.docx

Opdr. : 1517-0026-000
Blz. : 6

Tijdens de modellering van de fundering er is vanuit gegaan dat de te onderzoeken fundering gelijk onder de sondeerpunt begint.

Op basis van het magnetometersondering en de 3D modellering van het aardmagnetisch veld is de diepteligging van de fundering van het kunstwerk "Stenen Man" aan de Westerzeedijk te Harlingen bepaald. Het resultaat is aangegeven in onderstaande tabel 3.2.

Sondering	Einddiepte sondering t.o.v. MV [m]	Einddiepte sondering t.o.v. NAP [m]	Diepteligging fundering t.o.v. MV [m]	Diepteligging fundering t.o.v. NAP [m]
DKMM 2	-4.48	4.94	-1.40	8.00

Tabel 3.2. Resultaten van het magnetometer onderzoek Stenen Man, Harlingen

3.3. Betrouwbaarheid en nauwkeurigheid meettechniek

De betrouwbaarheid van de meettechniek hangt in grote mate af van de afstand tot het te detecteren object en de in het te detecteren object aanwezige hoeveelheid ijzer en magnetisatie hiervan. Eventuele aanwezigheid van omgevingsruis ontstaan door ijzerhoudende lagen of puin kan de betrouwbaarheid of bruikbaarheid verminderen. De meetnauwkeurigheid is verder afhankelijk van de volgende factoren:

- Inmeting sondeerlocatie
- De locatie waar daadwerkelijk de conus de grond is ingebracht;
- De locatie van de conus in de nabijheid van de fundering, afhankelijk van de diepte;
- Onnauwkeurigheid verbonden aan de wijze van modelleren (signaalverwerking).

In de volgende tabel zijn de genoemde factoren per meetrichting gekwantificeerd.

Factoren		Meetnauwkeurigheid [m]	
		X- en Y-richting (horizontaal)	Z-richting (verticaal)
Inmeting op maaiveldniveau m.b.v. DGPS	σ_{imm}	0,03	0,05
daadwerkelijke positie conus op maaiveldniveau	$\sigma_{\text{con,mv}}$	0,03	0,03
positie conus op basis van afwijking hellingmeter van 0,5° bij een fundering diepte van ca. 2 m t.o.v. maaiveldniveau	$\sigma_{\text{con,hell}}$	0,02	0,01
signaalmodellering	σ_{sig}	0,10	0,14
totaal*	σ_{tot}	0,11	0,15
totaal** (uitgaande van overschrijdingskans van 5%)	$1,64 \times \sigma_{\text{tot}}$	0,18	0,25

* de totale meetnauwkeurigheid wordt berekend als de wortel uit kwadratische som van deze

standaardafwijkingen: $\sigma_{\text{totaal}} = \sqrt{\sigma_{\text{imm}}^2 + \sigma_{\text{con,mv}}^2 + \sigma_{\text{con,hell}}^2 + \sigma_{\text{sig}}^2}$.

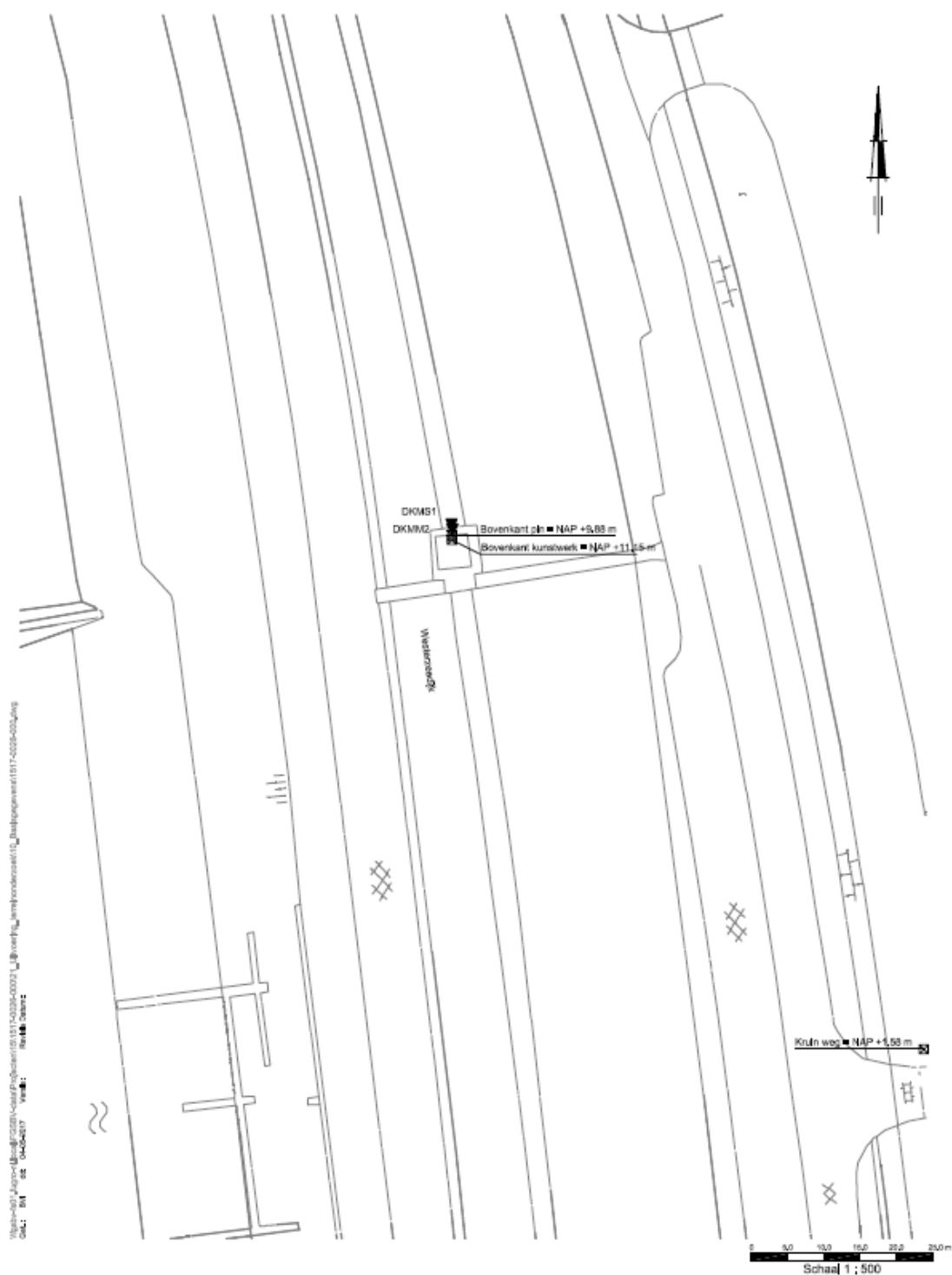
** uitgaande van een normale kansverdeling en een overschrijdingskans van 5%, dient de totale standaardafwijking met een factor 1,64 te worden vermenigvuldigd.

Uit de in de tabel gepresenteerde resultaten blijkt dat, uitgaande van een fundering diepte van ca. 2 m, in het verticaal vlak rekening dient te worden gehouden met een onnauwkeurigheid van 0.25 m t.o.v. de bepaalde diepte van de wapening in de betonnen fundering.



4. CONCLUSIE

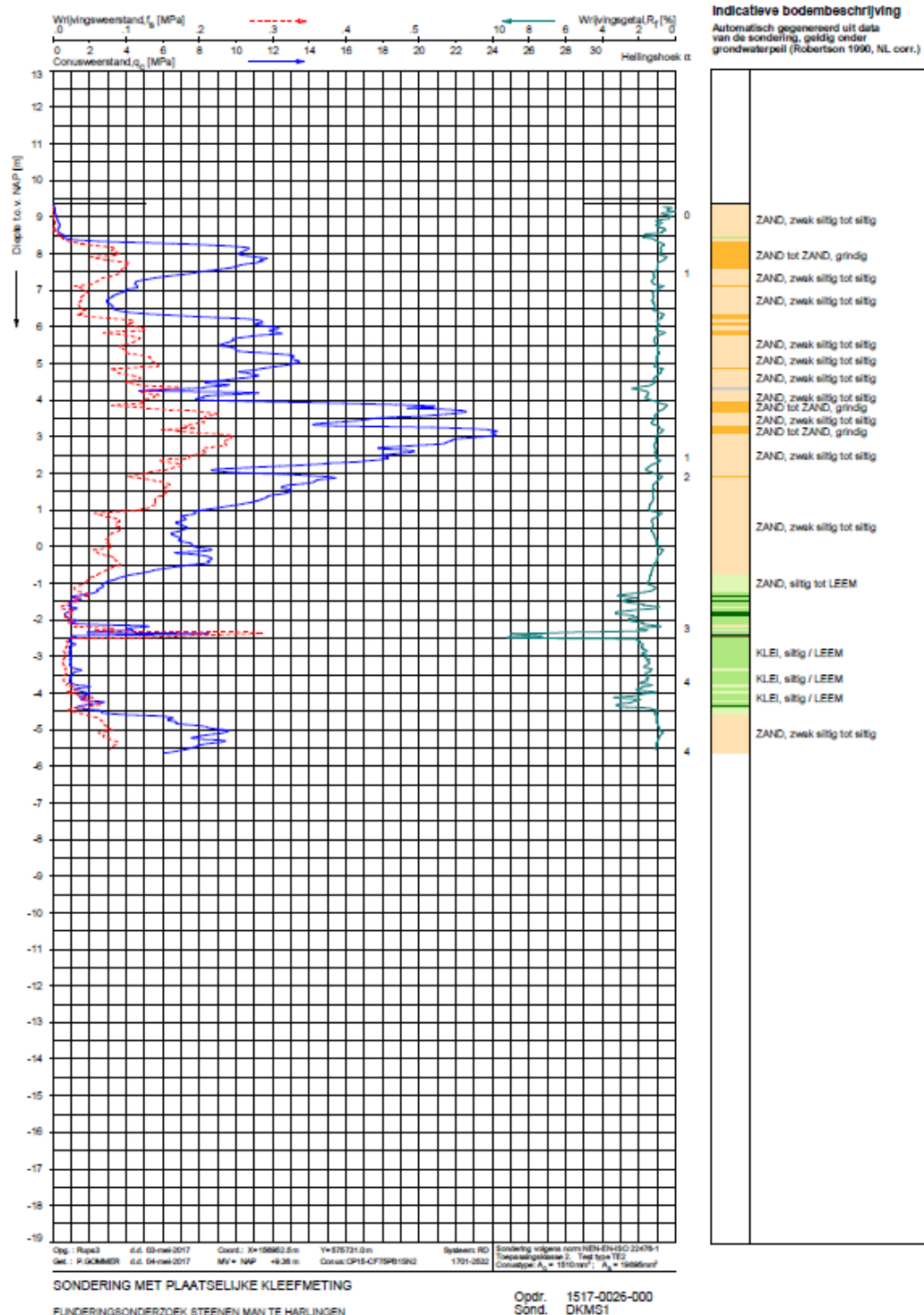
Uit de magnetometer sondering blijkt de wapening van de fundering van het kunstwerk "Stenen Man" op 1.40m –MV (8.00m NAP) te zitten met een onnauwkeurigheid van 25cm. Uit de seismische sondering blijkt het einde van de fundering van het kunstwerk op circa 1.65m –MV te zitten met een onnauwkeurigheid van 25cm.



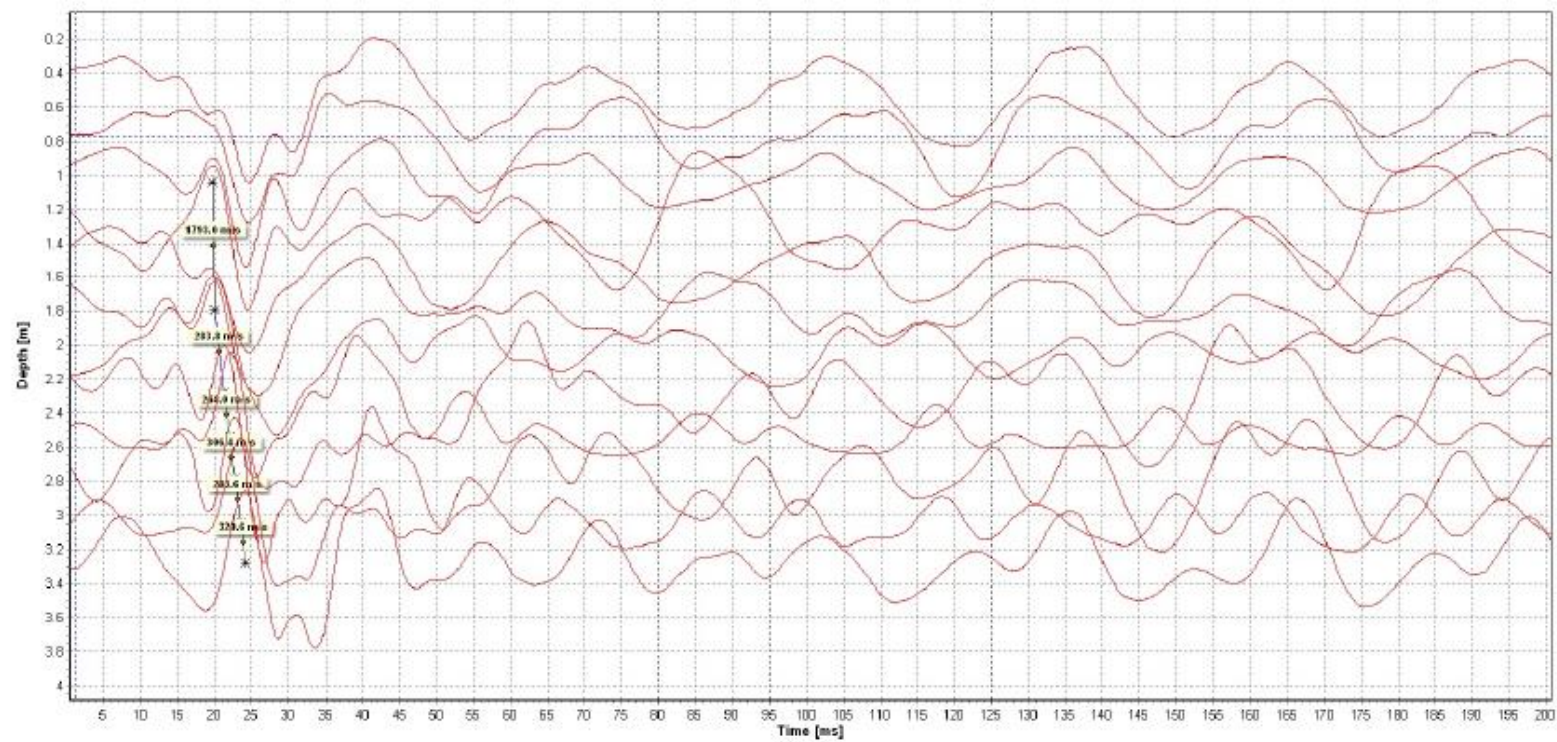
SITUATIE

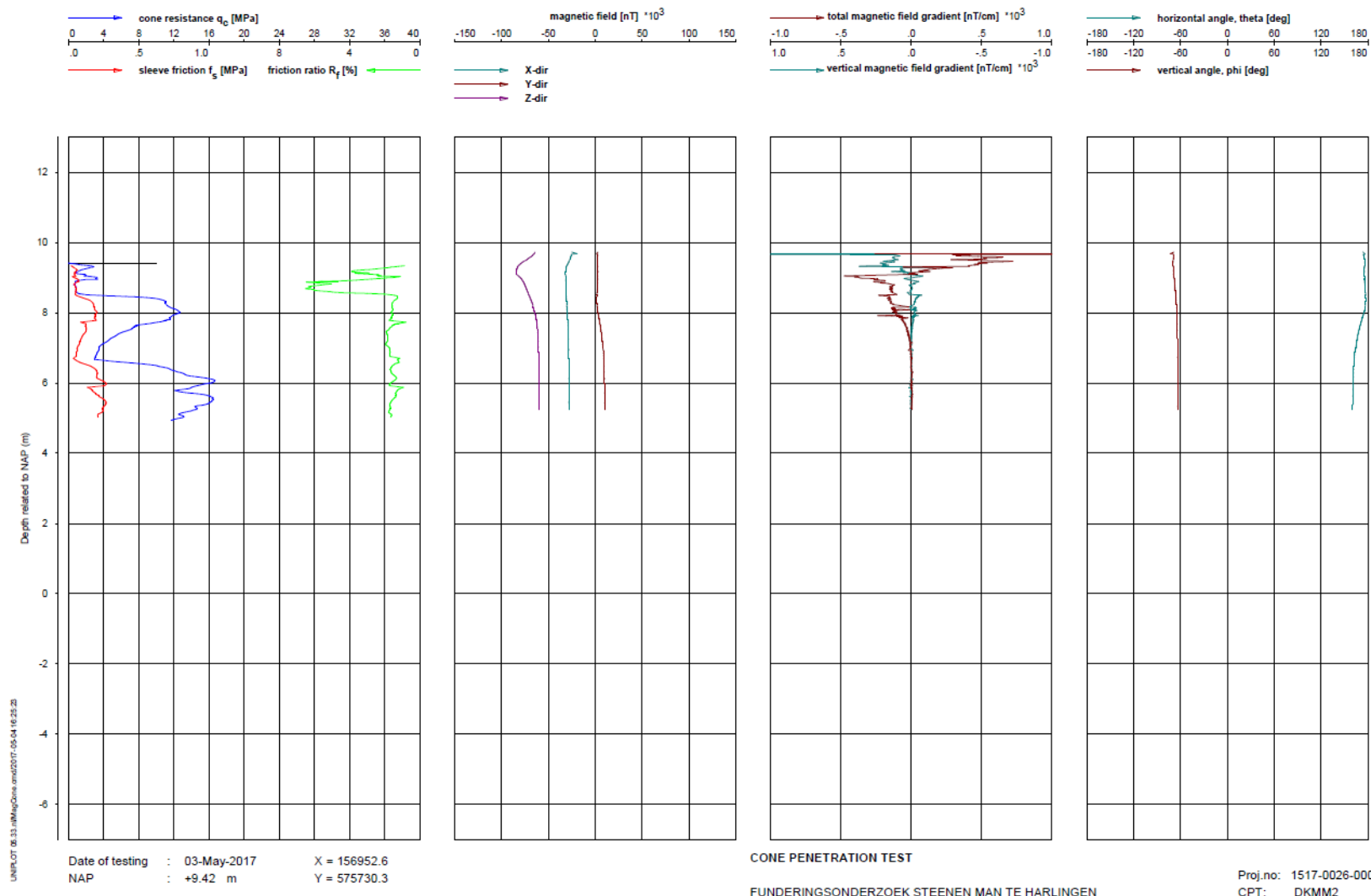
FUNDERINGSONDERZOEK STEENEN MAN TE HARLINGEN

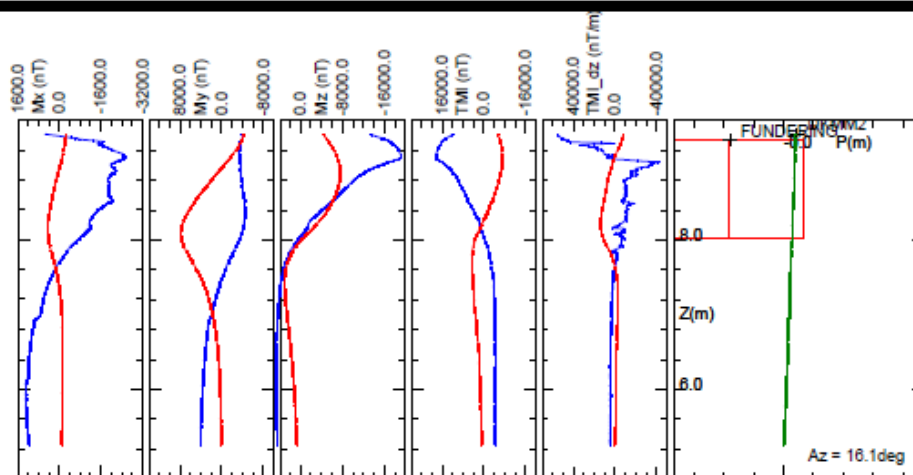
Opdr.: 1517-0025-000
Bl. : 1



AANKOMSTIJDEN DKMS1



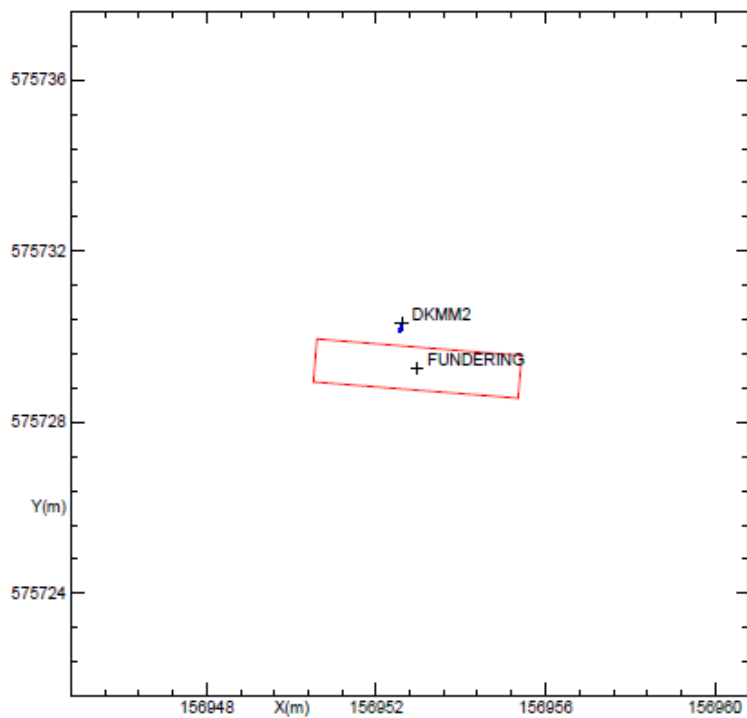




Model Summary

Potent model
 Body Type Description
 2 RectPrism FUNDERING

Fugro GeoServices B.V.		
Magnetometersondering t.b.v. het bepalen van de diepteligging van de fundering Stenen Man		
Harlingen DKMM 2		
Map Reference:		
Author:SNE	Original scale: 1:78	Report No.:1517-0026-000
Drawn by:SNE	Date: 23 May 2017	Plan No.:1517-0026-000-4



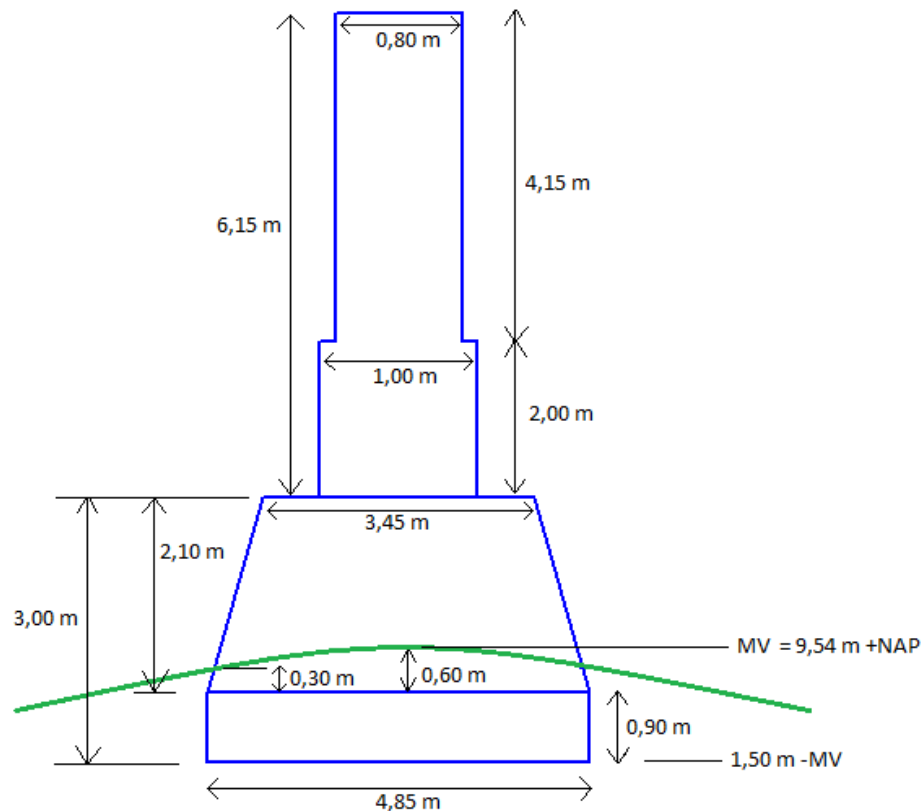
Model Summary

Potent model
 Body Type Description
 2 RectPrism FUNDERING

Fugro GeoServices B.V.		
Magnetometersondering t.b.v. het bepalen van de diepteligging van de fundering Stenen Man		
Harlingen DKMM 2		
Map Reference:		
Author:SNE	Original scale: 1:137	Report No.:1517-0026-000
Drawn by:SNE	Date: 23 May 2017	Plan No.:1517-0026-000-4

Bijlage D – Invloed Stienne Man op stabiliteit primaire kering

Voor het bepalen van de uniforme belasting over de breedte van de fundering, worden de afmetingen uit de schematisering van het NWO gebruikt om het gewicht van het NWO te bepalen (zie Figuur D-1). Deze schematisering is afgeleid uit het archiefonderzoek en het grondonderzoek. In geval van onzekerheid in waarden zijn conservatieve waarden gebruikt. Het beeld is symmetrisch geschematiseerd.



Figuur D-1 Schematisering Stiennen Man

De hoogte van het beeld is vastgesteld op 6,15 m. De breedte rondom van het bovenste deel is 0,80 m. De breedte rondom van het onderste deel is 1,00 m. Hieruit volgt een volume van 4,66 m³. De breedte van iedere zijde aan de bovenkant van de sokkel is 3,45 m. Aan de onderkant is dit 4,85 m. De gemiddelde breedte is daarom 4,15 m. De hoogte van de sokkel is 2,10 m. Dit leidt tot een volume van 36,17 m³. De funderingsplaat heeft aan iedere zijde een breedte van 4,85 m en heeft een hoogte van 0,90 m. Hieruit volgt een volume van 21,17 m³.

Er wordt aangenomen dat het standbeeld deels uit beton en deels uit zandsteen bestaat. De sokkel bestaat uit beton en is opgevuld met zand. Er worden conservatieve waarden gebruikt voor het aandeel van beton. Verder wordt aangenomen dat de funderingsplaat van beton is.

Vervolgens is het soortelijk gewicht per materiaal bepaald:

- $\gamma_{\text{Beton}} = 2400 \text{ kg/m}^3$ (EK Bouwadvies, 2016)
- $\gamma_{\text{Zandsteen}} = 2100 \text{ kg/m}^3$ (MAYKO, 2013)
- $\gamma_{\text{Zand}} = 1800 \text{ kg/m}^3$ (GWWmaterialen.nl, 2016)

De volgende stap is het berekenen van het totale gewicht van het NWO (zie Tabel D-1).

Tabel D-1 Berekening totale gewicht Stiennen Man

	Materialen	Soortelijk gewicht [kg/m ³]	Aandeel [-]	Volume [m ³]	Totaal gewicht [kg]
Beeld	Beton	2400	0,33	4,66	10252
	Zandsteen	2100	0,67		
Sokkel	Beton	2400	0,17	36,17	68795
	Zand	1800	0,83		
Funderingsplaat	Beton	2400	1,00	21,17	50808
				Som gewicht [kg]	129855

Het totale gewicht is vastgesteld op 129855 kg. Dit is gelijk aan 1273,88 kN. De oppervlakte waar het eigen gewicht op belast, is gelijk aan:

$$A = 4,85 \cdot 4,85 = 23,52 \text{ m}^2$$

In D-Geostability kunnen uniforme belastingen worden ingevoerd in [kN/m²]. De belasting in [kN/m²] wordt als volgt bepaald:

$$q = \frac{G}{A} = \frac{1273,88}{23,52} = 54,2 \text{ kN/m}^2$$

De belasting loopt van coördinaat $x_1 = -0,725$ m tot coördinaat $x_2 = 4,125$ m. Er wordt uitgegaan van een distributiehoek van 18°. Dit is gelijk aan de helling van de zijdes van de sokkel. De belasting is permanent.

Bepaling windbelasting

Zoals eerder aangegeven, wordt een moment opgewekt door de windbelasting. Dit moment wordt in de schematisering meegenomen door een puntlast op een afstand van het draaipunt te plaatsen. In het geval van binnenwaartse macrostabiliteit wordt uitgegaan van een windbelasting vanaf de buitenzijde van de Westerzeedijk.

De windbelasting wordt bepaald conform Eurocode 1: NEN-EN 1991-1-4 (VKG, 2017). De Stiennen Man bevindt zich in windgebied II, aan de kust. De hoogte van het object boven het maaiveld dient te worden gebruikt voor het bepalen van de windbelasting. Omdat de Stiennen Man zich op de primaire kering bevindt, wordt het maaiveld gelijkgesteld aan de hoogte van het voorland (1,61 m +NAP). Hieruit volgt een windbelasting van $p = 1,40 \text{ kN/m}^2$.

Eerst dient de karakteristieke windbelasting voor de locatie van de Stiennen Man te worden bepaald. Een deel van de sokkel bevindt zich in de grond. Het standbeeld in combinatie met de sokkel heeft een hoogte van 7,95 m boven de kruin van de dijk. Het middelpunt van de combinatie van het standbeeld en de sokkel bevindt zich op 13,52 m +NAP. Dit is gelijk aan 11,91 m boven het voorland. Uit NEN-EN 1991-1-4 volgt een karakteristieke windbelasting van $p = 1,40 \text{ kN/m}^2$.

De oppervlakte van het beeld en de sokkel wordt vervolgens berekend. De oppervlakte (O_b) van het beeld is gelijk aan: $O_b = b \cdot h = 4,12 \cdot 0,80 + 2,00 \cdot 1,00 = 5,30 \text{ m}^2$. Hierin worden de breedte (b) en hoogte (h) van het beeld gebruikt. De oppervlakte van de voorzijde van de sokkel (O_s) is gelijk aan: $O_s = 0,5 \cdot (b_b + b_o) \cdot h = 0,5 \cdot (3,45 + 4,85) \cdot 1,80 = 7,47 \text{ m}^2$. Hierin is b_b de breedte van de bovenzijde van de sokkel en is b_o de breedte van de onderkant van de sokkel. Dit geeft een totale oppervlakte (O): $O = O_b + O_s = 12,9 \text{ m}^2$.

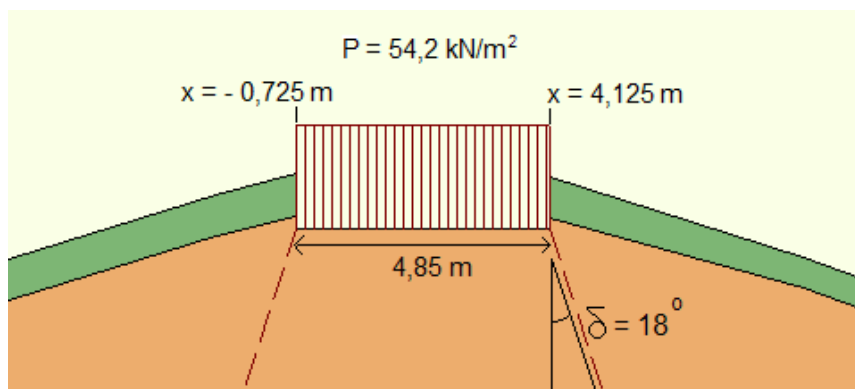
De totale windbelasting (W) is als volgt: $W = p \cdot O = 1,40 \cdot 12,9 = 18,1$ kN. Hierin is p de karakteristieke windbelasting. O is het totale frontale oppervlak van de Stienen Man. Deze waarde wordt verhoogd met een veiligheidsfactor: $\gamma_s = 1,3$ (VKG, 2017). Dit geeft: $W = 18,1 \cdot 1,3 = 23,5$ kN.

Deze windbelasting wekt een moment op. Het draaipunt bevindt zich aan de onderkant van de fundering. De draaiarm (r) heeft daarom een grootte van 5,46 m. Het moment (M) dat hierdoor wordt opgewekt door de windbelasting bedraagt: $M = W \cdot r = 23,50 \cdot 5,46 = 128,3$ kNm. Dit moment wordt herleid tot een puntlast ter grootte van 128,3 kN met een arm van $r = 1,0$ m. Dit is representatief voor het moment dat door de windbelasting wordt gecreëerd. De puntlast in [kN] moet nog worden omgezet naar [kN/m'], zodat de belasting per strekkende meter wordt genomen. Daarom wordt de puntlast gedeeld door de breedte van de onderzijde van de fundering. Hieruit volgt de puntbelasting per strekkende meter (F_W): $F_W = 128,3/4,5 = 28,5$ kN/m'.

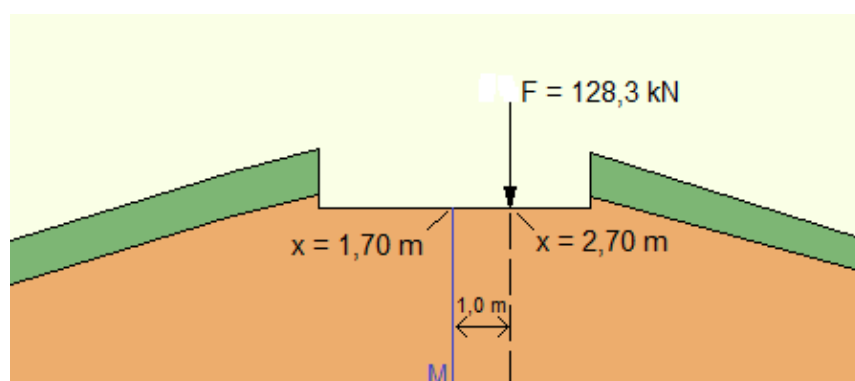
Overige uitgangspunten

In de berekening voor binnenwaartse macrostabiliteit wordt de puntlast aan de binnenzijde van de kruin geplaatst. In de berekening voor buitenwaartse macrostabiliteit wordt de puntlast aan de buitenzijde van de kruin geplaatst. De verkeersbelasting wordt niet meegenomen; hierbij is het uitgangspunt dat er geen verkeer op de plek van het NWO zal zijn. Deze toepassing bleek het meest gevoelig voor de puntlast.

De belasting ten gevolge van het eigen gewicht en de windbelasting is geschematiseerd zoals in Figuur D-2 en Figuur D-3.



Figuur D-2 Karakteristieke waarden uniforme belasting



Figuur D-3 Karakteristieke waarden windbelasting (STBI)

Bijlage E – Toetsing in D-Geostability

Bijlage E1 – Schematisering primaire kering

De schematisering van de primaire kering ter hoogte van de Stiennen Man in D-Geostability bestaat uit drie stappen. Eerst wordt de uitwendige geometrie van de primaire kering in beeld gebracht. Aan de hand van de globale Stochastische Ondergrondschematisatie (SOS) worden verschillende scenario's van diepere grondlagen opgesteld. Vervolgens worden gegevens uit tekeningen, sonderingen en boringen gebruikt om de verschillende grondlagen in het dijklichaam te schematiseren. Verder wordt bestudeerd of deze informatie bepaalde SOS-scenario's uitsluit of ondersteunt.

Uitwendige geometrie

In deze toets is de geometrie gebaseerd op het dwarsprofiel gemeten ter hoogte van de Stiennen Man op de Westerzeedijk. Dit is dwarsprofiel W1-00.001. Bij de binnentoe van de dijk is een greppel aanwezig. Vanwege de beperkte diepte en breedte wordt deze greppel niet gekarakteriseerd als sloot. Het voorland is geschematiseerd tot 85 m vanaf de buitentoe van de primaire kering.

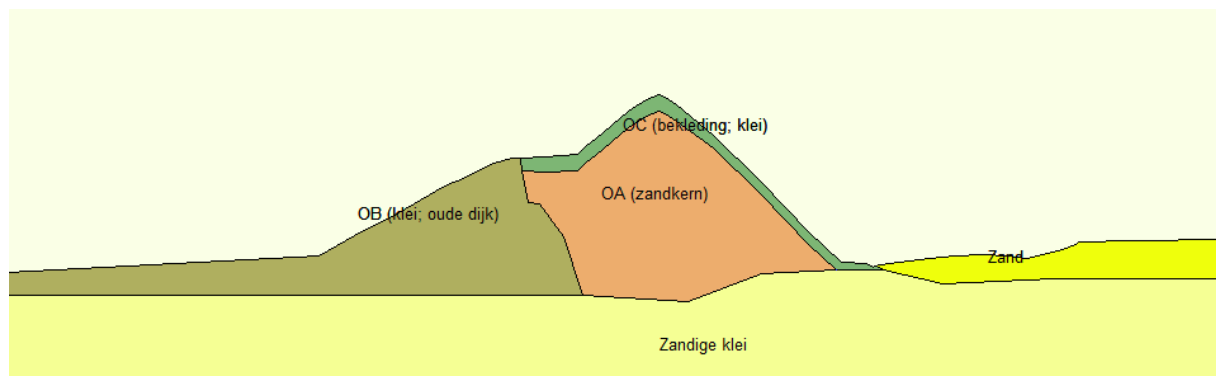
Grondopbouw in het dijklichaam

De grondopbouw is bepaald aan de hand van resultaten van grondonderzoek en bestekstekeningen. Er is een oude dijk van klei aanwezig. De kern bestaat uit zand. Voor de schematisatie van de bekleding (klei) op het buitentalud en op de kruin is uitgegaan van een dikte van 0,80 m. Voor de bekleding (klei) op het binnentalud is uitgegaan van een dikte van 0,60 m. Dit vakt af tot 0,50 m ter hoogte van de greppel binnenwaarts.

Bodemopbouw achterland

Uit de beschikbare boringen blijkt dat in het achterland van de kering een toplaag van 0,5 tot 2,0 m dikte aanwezig is. Deze toplaag is geschematiseerd als zandlaag.

Zie Figuur E-1 voor de schematisering van de doorsnede van de primaire kering.



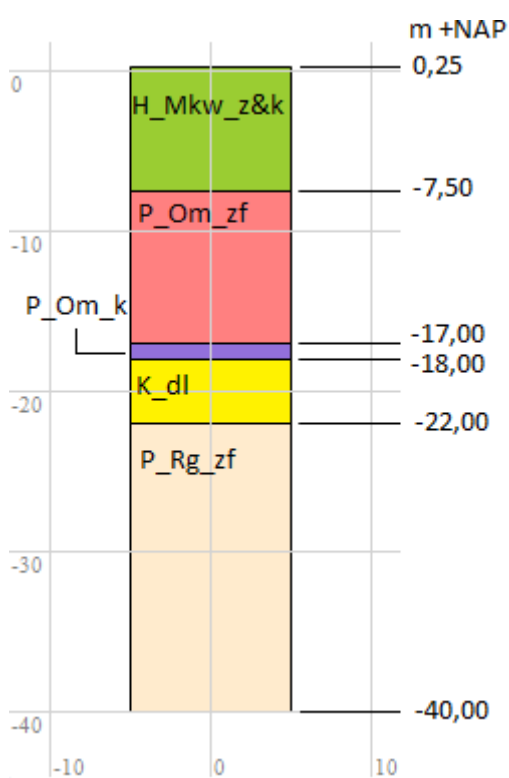
Figuur E-1 Schematisering van doorsnede van de primaire kering op de locatie van de Stiennen Man

Stochastische Ondergrondschematisatie

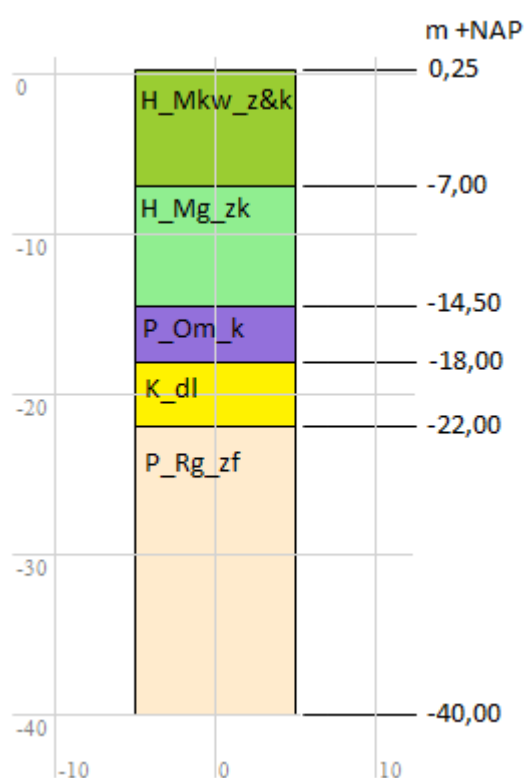
Aan de hand van de globale Stochastische Ondergrondschematisatie (SOS) wordt de onzekerheid van de opbouw van de ondergrond meegenomen in de stabiliteitsanalyse. Voor het relevante segment zijn vier ondergrondscenario's beschikbaar. Deze zijn uit D-Soilmodel verkregen. De kans van aantreffen van een scenario is hierbij gegeven. Omdat de beschikbare sondering geen scenario's uitsluit, worden alle vier scenario's meegenomen in verdere berekeningen. De vier scenario's worden weergegeven in Figuur E-2 t/m Figuur E-5. In Tabel E-1 wordt de betekenis van de afkorting per grondsoort gegeven.

Tabel E-1 Betekenis afkorting grondsoorten

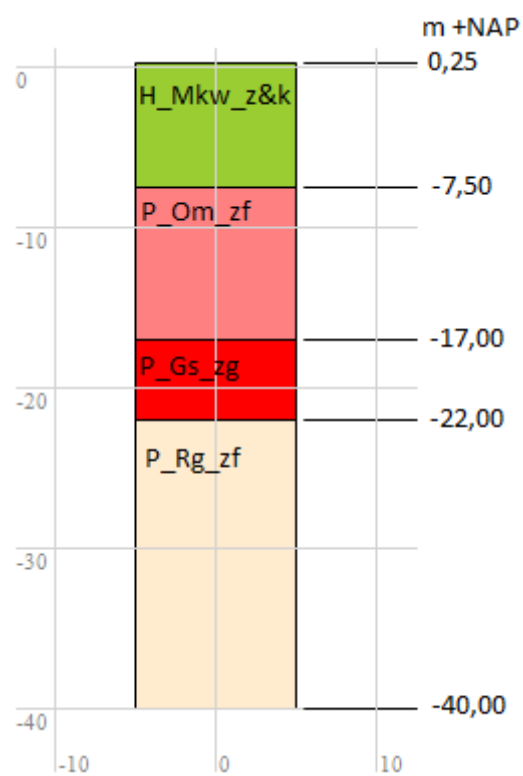
Afkorting	Betekenis
H_Mkw_z&k	Holoceen; Marien; Kwelder; Afwisseling zand/klei lagen
H_Mg_zk	Holoceen; Marien; Geul; Kleiig zand
P_Om_zf	Pleistoceen en ouder; Overig; Meer; Uiterst fijn tot matig fijn zand
P_Om_k	Pleistoceen en ouder; Overig; Meer; Klei
P_Rg_zf	Pleistoceen; Rivier; Geul; Uiterst fijn tot matig fijn zand
P_Gs_zg	Pleistoceen; Glaciaal; Smeltwaterafzetting; Zeer en uiterst grof zand
K_dl	Klei; dijklichaam



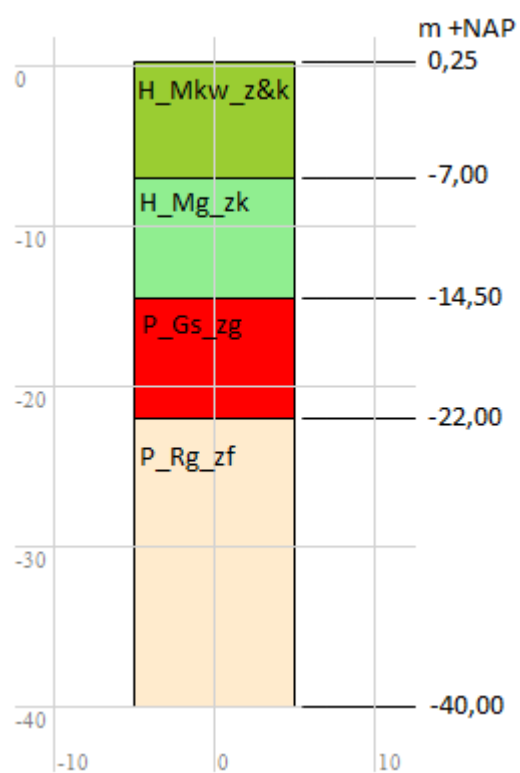
Figuur E-2 SOS-scenario 1



Figuur E-3 SOS-scenario 2



Figuur E-4 SOS-scenario 3



Figuur E-5 SOS-scenario 4

Bijlage E2 – Schematisering maatgevende waterspanningen

Wanneer D-Geostability wordt gebruikt om glijvlakanalyses uit te voeren, moeten de hydraulische belastingen door de gebruiker handmatig worden ingevoerd. Zowel voor het toetsen op binnenwaartse macrostabiliteit als voor het toetsen op buitenwaartse macrostabiliteit worden maatgevende situaties opgesteld met betrekking tot de waterstand en verloop van de waterspanningen. De situaties zijn gebaseerd op TR Waterspanningen bij Dijken (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 2004).

Maatgevende situaties

Voor binnen- en buitenwaartse macrostabiliteit worden maatgevende situaties voor de waterspanningen opgesteld. Voor de stabiliteit van het buitentalud is een ongunstige combinatie van hoge grondwaterstand in de dijk na een snelle daling van de buitenwaterstand of de situatie bij extreme neerslag bijvoorbeeld bepalend. Neerslag kan bijvoorbeeld een opbolling van het freatisch vlak in het dijklichaam veroorzaken. De scenario's worden weergegeven in Tabel E-2 (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 2004).

Tabel E-2 Maatgevende situaties waterspanningen

Faalmechanisme	Nr.	Situatie	Waterspanningen in
1. Binnenwaartse macrostabiliteit	1.1.	Maatgevend hoogwater	Dijklichaam en deklaag
	1.2.	Gemiddeld hoogwater + extreme neerslag	Watervoerend pakket, dijklichaam en deklaag
2. Buitenwaartse macrostabiliteit	2.1.	Val van Maatgevend hoogwater naar Gemiddeld hoogwater	Dijklichaam
	2.2.	Val van Gemiddeld hoogwater naar Laag laag water	Dijklichaam
	2.3.	Gemiddeld laag water + extreme neerslag	Dijklichaam

Per maatgevende situatie wordt de ligging van het freatisch vlak, de stijghoogte van de watervoerende zandlaag en het verloop van de stijghoogte van het samendrukbare lagenpakket geschematiseerd. In de schematisering worden de uitgangspunten voor een zanddijk op een samendrukbare ondergrond gevolgd. In het vervolg van deze paragraaf worden voor iedere maatgevende situatie de uitgangspunten voor de schematisering van de waterspanningen beschreven.

Er wordt uitgegaan van de volgende karakteristieke waterstanden (zie Tabel E-3):

Tabel E-3 Karakteristieke waterstanden

Afkorting	Beschrijving	Waarde [m +NAP]
MHW	Maatgevend hoogwater	4,95
GHW	Gemiddeld hoogwater	0,95
GLW	Gemiddeld laag water	-0,99
LLW	Laag laag water	-2,20
PP	Polderpeil	-0,52

Situatie 1.1. Maatgevend hoogwater + neerslag

Freatisch vlak

Het freatisch vlak wordt vastgesteld met behulp van onderstaande figuur. Het freatisch vlak verloopt vanaf het buitentalud (punt C1) lineair tot een hoogte van $\frac{1}{2}h$ in de oude dijk (punt C2). Vervolgens verloopt het freatisch vlak lineair tot een hoogte van $\frac{1}{4}h$ nabij de binnenteen. Dit is g

Stijghoogte watervoerende zandlaag

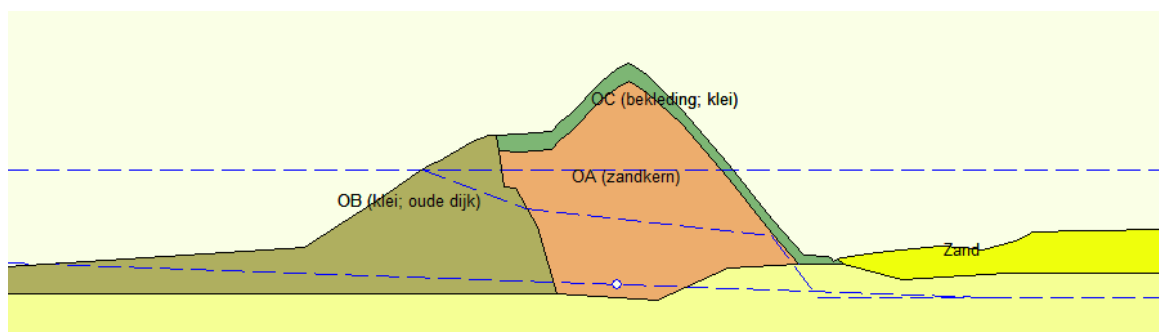
Bij het schematiseren van de watervoerende zandlaag wordt aangenomen dat de stijghoogte constant is over de breedte van de dijk. De stijghoogte is vastgesteld op 4,95 m +NAP. Dit is gelijk aan het maatgevend hoogwater. Aangezien er geen stijghoogtemetingen beschikbaar zijn, is dit de veiligste schematiseringsmethode.

Vanwege de indringing in de onderste laag van het samendrukbare pakket, zal de waterspanning in het onderste deel van het samendrukbare pakket toenemen. In de schematisering wordt dit meegenomen door stijghoogte van de watervoerende zandlaag toe te kennen aan de onderste meter van het samendrukbare pakket. In de berekening is het samendrukbare pakket daarom opgesplitst in twee lagen.

Stijghoogte samendrukbare pakket

De piëzometrische lijn met betrekking tot het samendrukbare pakket wordt geschematiseerd als een lineaire lijn tussen (1) het raakpunt tussen de buitenwaterstand bij GHW en het buitentalud en (2) het polderpeil onder de binnenteen. Deze stijghoogte wordt toegekend aan bovenste laag van het samendrukbaar pakket.

De schematisering van de piëzometrische lijnen wordt weergegeven in Figuur E-6.



Figuur E-6 Schematisering piëzometrische lijnen bij MHW

Situatie 1.2. Gemiddeld hoogwater + extreme neerslag

Freatisch vlak

In situaties waarbij de invloed van extreme neerslag moet worden meegenomen, wordt het freatisch vlak verhoogd met 0,8 m, conform het TR Waterspanningen bij Dijken. Het initieel freatisch vlak bij GHW is geschematiseerd als een lineair verlopend tussen het raakpunt op het voorland en het polderpeil onder de binnenteen. Ten gevolge van de extreme neerslag is deze lijn verhoogd met 0,8 m in het dijklichaam.

Stijghoogte watervoerende zandlaag

De stijghoogte wordt wederom als constant beschouwd. Ditmaal is de stijghoogte gelijkgesteld aan GHW.

Stijghoogte samendrukbare pakket

Het freatisch vlak is gebaseerd op een waterstand bij GHW. Om deze reden wordt de stijghoogte van het samendrukbaar pakket gelijkgesteld aan de freatische lijn.

Situatie 2.1. Val van MHW naar GHW

Freatisch vlak

Vanwege de snelle val van MHW naar GHW wordt aangenomen dat de freatische lijn op hetzelfde niveau is als bij MHW, dus wordt uitgegaan van de freatische lijn in scenario 1.1. Doordat de waterstand naar GHW is verlaagd, wordt de freatische lijn bij MHW aangepast. De lijn loopt vanaf GHW in het dijklichaam omhoog naar de het niveau van de freatische lijn bij MHW. Vervolgens daalt deze lijn geleidelijk naar het polderpeil.

Stijghoogte watervoerende zandlaag

De stijghoogte wordt wederom als constant beschouwd. Ditmaal is de stijghoogte gelijkgesteld aan GHW.

Stijghoogte samendrukbare pakket

Deze stijghoogte is, net als in scenario 1.1., geschematiseerd als lineair verlopend tussen het raakpunt van de waterstand bij GHW op het voorland (buitenwaarts) tot aan het polderpeil (binnenwaarts). Deze stijghoogte wordt toegekend aan het bovenste deel van het samendrukbare pakket.

Situatie 2.2. Val van GHW naar LLW

Freatisch vlak

Vanwege de snelle val van GHW naar LLW wordt aangenomen dat de freatische lijn op hetzelfde niveau is als bij GHW. Deze lijn is gelijk aan het freatisch vlak in scenario 1.2., in de situatie zonder extreme neerslag. Deze schematisering is aan de veilige kant. Binnenwaarts sluit de freatische lijn aan op het polderpeil.

Stijghoogte watervoerende zandlaag

De stijghoogte wordt wederom als constant beschouwd. Ditmaal is de stijghoogte gelijkgesteld aan LLW.

Stijghoogte samendrukbare pakket

De stijghoogte van het samendrukbare pakket wordt gelijkgesteld aan de piëzometrische lijn van het freatisch vlak.

Situatie 2.3. Gemiddeld laag water + extreme neerslag

Freatisch vlak

Het freatisch vlak is hier aan de veilige kant geschematiseerd door het freatisch vlak op te laten bollen in het dijklichaam en af te laten lopen richting het polderpeil. Vervolgens is het freatisch vlak verhoogd met 0,80 m in het dijklichaam om het effect van extreme neerslag te schematiseren.

Stijghoogte watervoerende zandlaag

De stijghoogte wordt wederom als constant beschouwd. Ditmaal is de stijghoogte gelijkgesteld aan GLW.

Stijghoogte samendrukbare pakket

De stijghoogte van het samendrukbare pakket wordt gelijkgesteld aan de piëzometrische lijn van het freatisch vlak.

Bijlage E3 - Eigenschappen grondsoorten

Aan de verschillende grondsoorten zijn rekenwaarden toegekend. Welke parameters worden toegekend aan een grondsoort hangt ervan af of de laag gedraineerd of ongedraineerd is.

Er wordt vanuit gegaan dat de kleilagen ongedraineerd zijn. In de berekening worden de volgende eigenschappen aan de ongedraineerde grondsoorten toegekend:

- Normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio S [-]
- Pre-overburden pressure POP [kN/m^2]
- Verzadigd volumiek gewicht γ_{sat} [kN/m^3]
- Onverzadigd volumiek gewicht γ_{unsat} [kN/m^3]

Verder wordt ervan uit gegaan dat de zandlagen gedraineerd zijn. Bovendien wordt ervan uit gegaan dat de bekleding van de kering (boven het freatisch vlak) gedraineerd is. In de berekening worden de volgende eigenschappen aan de gedraineerde grondsoorten toegekend:

- Cohesie c' [kN/m^2]
- Hoek van inwendige wrijving ϕ' [$^\circ$]
- Verzadigd volumiek gewicht γ_{sat} [kN/m^3]
- Onverzadigd volumiek gewicht γ_{unsat} [kN/m^3]

De rekenwaarden worden per grondsoort weergegeven in Tabel E-4 t/m Tabel E-6. De waarden voor verzadigd en onverzadigd volumiek gewicht, cohesie en hoek van inwendige wrijving volgen uit Tabel 1 van NEN 6740. Waarden voor het normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio en POP zijn afgeleid uit de Schematiseringshandleiding Macrostabieliteit (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016).

Gedraineerd:

Tabel E-4 Parameterwaarden gedraineerde grondsoorten

Parameter	Karakteristieke waarde	Materiaalfactor (-)	Rekenwaarde
OA (zandkern)			
γ_{sat} (kN/m ³)	20,00	1,00	20,00
γ_{dry} (kN/m ³)	18,00	1,00	18,00
c' (kN/m ²)	0,00	N.v.t.	0,00
ϕ' (°)	32,50	1,20	27,96
22 (Zand; plaatselijk humeus)			
γ_{sat} (kN/m ³)	19,00	1,00	19,00
γ_{dry} (kN/m ³)	17,00	1,00	17,00
c' (kN/m ²)	0,00	N.v.t.	0,00
ϕ' (°)	30,00	1,20	25,69
Zand			
γ_{sat} (kN/m ³)	20,00	1,00	20,00
γ_{dry} (kN/m ³)	18,00	1,00	18,00
c' (kN/m ²)	0,00	N.v.t.	0,00
ϕ' (°)	32,50	1,20	27,96
H_Mg_zk - Holocene; Marien; Geul; Kleiig zand			
γ_{sat} (kN/m ³)	20,00	1,00	20,00
γ_{dry} (kN/m ³)	18,00	1,00	18,00
c' (kN/m ²)	0,00	N.v.t.	0,00
ϕ' (°)	27,00	1,20	23,01
P_Om_zf - Pleistoceen en ouder; Overig; Meer; Uiterst fijn tot matig fijn zand			
γ_{sat} (kN/m ³)	19,00	1,00	19,00
γ_{dry} (kN/m ³)	17,00	1,00	17,00
c' (kN/m ²)	0,00	N.v.t.	0,00
ϕ' (°)	30,00	1,20	25,69
P_Rg_zf - Pleistoceen; Rivier; Geul; Uiterst fijn tot matig fijn zand			
γ_{sat} (kN/m ³)	19,00	1,00	19,00
γ_{dry} (kN/m ³)	17,00	1,00	17,00
c' (kN/m ²)	0,00	N.v.t.	0,00
ϕ' (°)	30,00	1,20	25,69
P_Gs_zg - Pleistoceen; Glaciaal; Smeltwaterafzetting; Zeer en uiterst grof zand			
γ_{sat} (kN/m ³)	20,00	1,00	20,00
γ_{dry} (kN/m ³)	18,00	1,00	18,00
c' (kN/m ²)	0,00	N.v.t.	0,00
ϕ' (°)	30,00	1,20	25,69

Tabel E-5 Parameterwaarden bekleding

Parameter	Karakteristieke waarde	Materiaalfactor (-)	Rekenwaarde
OC (Bekleding, zandige klei)			
γ_{sat} (kN/m ³)	18,00	1,00	18,00
γ_{dry} (kN/m ³)	18,00	1,00	18,00
c' (kN/m ²)	10,00	1,25	8,00
ϕ' (°)	22,50	1,20	19,04

Ongedraineerd:

Tabel E-6 Parameterwaarden ongedraineerde grondsoorten

Parameter	Karakteristieke waarde	Materiaalfactor (-)	Rekenwaarde
OB (Oude dijk, hoofdzakelijk klei)			
γ_{sat} (kN/m ³)	16,00	1,00	16,00
γ_{dry} (kN/m ³)	16,00	1,00	16,00
Ratio Cu/Pc	0,36	1,07	0,34
POP	30,00	1,10	27,27
z1 (Klei; siltig en zandig)			
γ_{sat}	18,00	1,00	18,00
γ_{dry}	18,00	1,00	18,00
Ratio Cu/Pc	0,36	1,08	0,33
POP	22,00	1,10	20,00
H_Mkw_z&k - Holocene; Marien; Kwelder; Zandige klei			
γ_{sat}	18,00	1,00	18,00
γ_{dry}	18,00	1,00	18,00
Ratio Cu/Pc	0,36	1,08	0,33
POP	27,00	1,10	24,55
P_Om_k - Pleistoceen en ouder; Overig; Meer; Klei			
γ_{sat}	16,00	1,00	16,00
γ_{dry}	16,00	1,00	16,00
Ratio Cu/Pc	0,25	1,08	0,23
POP	22,00	1,10	20,00
K_dl - Klei; dijklichaam			
γ_{sat}	16,00	1,00	16,00
γ_{dry}	16,00	1,00	16,00
Ratio Cu/Pc	0,25	1,08	0,23
POP	22,00	1,10	20,00

Bijlage E4 – Belastingen

De belastingen op waterkeringen zijn van permanente of veranderlijke aard. Permanente belastingen is het eigen gewicht van het dijklichaam. De permanente belastingen worden meegenomen in de beoordeling door het toekennen van het volumiek gewicht per grondsoort. Effecten van bodemdaling worden buiten beschouwing gelaten.

Veranderlijke belastingen zijn hydraulische belastingen, het polderpeil, de verkeersbelasting en overige belastingen. De hydraulische belastingen bestaan uit de waterstand bij de norm, gemiddelde en lage waterstanden, waterstandsverloop en golf-gerelateerde belastingen. De verschillende kritieke waterstanden zijn eerder genoemd in de scenario's voor waterspanningen. Invloed door het waterstandsverloop wordt buiten beschouwing gelaten. Het waterstandsverloop wordt buiten beschouwing gelaten. Invloed van golven wordt ook buiten beschouwing gelaten, omdat dit alleen invloed op macrostabiliteit binnenwaarts kan hebben bij golfoverslag. Die situatie is zeer onrealistisch, omdat de kering ruim 4 meter hoger dan de normwaterstand is. Het polderpeil wordt meegenomen in de schematisering van de waterspanningen.

Verkeersbelasting wordt in ieder scenario meegenomen door een uniforme belasting op de kruin te schematiseren. Windbelasting wordt alleen meegenomen in de scenario's waarin het standbeeld wordt meegenomen.

Bijlage E5 – Toelichting rekenmodel D-Geostability

In deze paragraaf worden de uitgangspunten met betrekking tot het rekenmodel (D-Geostability) toegelicht. Voor de berekening worden de modules *Standard Module*, *Uplift Module* en *Reliability Analyses Module* gebruikt.

Project Menu

In het submenu *Model* wordt gekozen voor model *Uplift Van*. In dit model wordt aangenomen dat het glijvlak bestaat uit een horizontaal deel dat begrensd wordt door twee cirkelvormige delen. Door de lage schuifweerstand tussen zwakke lagen op een zandige ondergrond kan afschuiving optreden. In het rekenmodel wordt uitgegaan van een evenwichtstoestand van verticale krachten en momenten.

Soil Menu

In het submenu *Materials* worden de verschillende grondsoorten gedefinieerd. Het verzadigd en onverzadigd volumiek gewicht wordt toegekend aan iedere grondsoort. Voor gedraineerde grondsoorten wordt voor *Shear Strength Model C phi* gekozen. Voor ongedraineerde grondsoorten wordt voor *Shear Strength Model Cu Calculated* gekozen. Vervolgens worden de gedefinieerde parameterwaarden per grondsoort ingevoerd.

Geometry Menu

Aan de hand van de submenu's in het *Geometry Menu* wordt de dwarsdoorsnede van de primaire kering voor de verschillende scenario's geschematiseerd. Dit wordt gedaan zoals eerder beschreven in Bijlage E1.

Definitions Menu

In het submenu *Slip Plane* worden twee roosters (*grids*) gedefinieerd. Verder wordt een horizontale raaklijn gedefinieerd. Op een iteratieve wijze wordt voor iedere combinatie van punten uit de roosters en een horizontale raaklijn een veiligheidsfactor berekend. Aan de hand van een algoritme worden de punten in de roosters verplaatst om de minimale *Safety Factor* te benaderen.

In het submenu *Reference Level for Ratio Cu/Pc* wordt gekozen voor *OC (bekleding; klei)*. Dit menu dient als referentie van het oppervlakte niveau voor het rekenen met ongedraineerde grondeigenschappen.

Water Menu

In het submenu *Unit Weight of Water* wordt waarde $9,81 \text{ kN/m}^3$ ingevoerd. In het submenu *External Water Levels* wordt *Use water data* uitgezet. In submenu *Degree of Consolidation* wordt voor iedere grondlaag een percentage van 100% aangehouden.

Loads Menu

In het submenu *Uniform Loads* wordt de verkeersbelasting gedefinieerd. Zo worden onder andere de grootte van de belasting en de locatie van de belasting vastgesteld. De grootte van de verkeersbelasting volgt uit de schematiseringshandleiding. De parameterwaarden zijn weergegeven in Figuur E-7.

	Degree of consolidation [%]
10	100
9	0
8	100
7	0
6	0
5	0
4	100
3	100
2	100

Figuur E-7 Instellingen verkeersbelasting

Bijlage F – Resultaten eenvoudige toets

Bijlage F1 - Eenvoudige toets macrostabiliteit binnenwaarts (STBI)

Stap E.1: Waterkering is dijk of dam

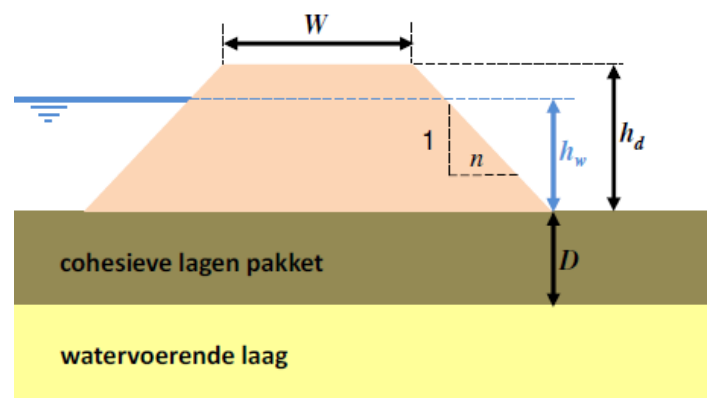
De waterkering is een dijk. De toets dient te worden vervolgd met Stap E.2.

Stap E.2: Constructieve elementen zijn aanwezig in het grondlichaam

Er is geen constructief element aanwezig in het grondlichaam. Het NWO de Stiennen Man wordt in dit stadium niet beschouwd als constructief element. De toets dient te worden vervolgd met Stap E.3.

Stap E.3: De waterkering voldoet aan de eenvoudige toets op basis van algemene kenmerken

In deze stap wordt nagegaan of op basis van het profiel van de kering kan worden gesteld of voldoende restprofiel overblijft na het optreden van een afschuiving. De belangrijke geometrische parameters voor de eenvoudige toets worden weergegeven in Figuur F-1.



Figuur F-1 Overzicht geometrische kenmerken dijk

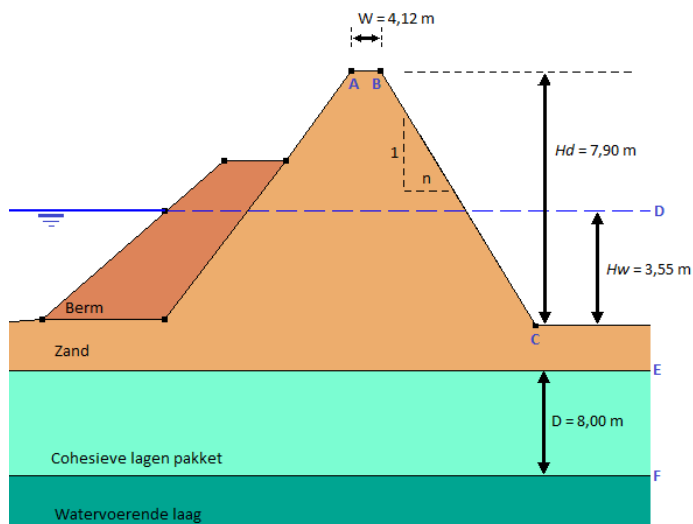
Hierbij geldt:

W	Kruinbreedte [m]; range van 3 tot 30 m.
n	Cotangens van de helling van het binnentalud; n in de range van 1 tot 6.
h_d	Dijkhoogte boven maaiveld binnendijks [m].
D	Dikte cohesieve lagen pakket [m].
h_w	Hoogte buitenwaterstand bij de norm boven het maaiveld binnendijks [m].

Er gelden twee voorwaarden:

- De kruinbreedte en de helling van het binnentalud vallen binnen de bij deze parameters aangegeven ranges
- De waterhoogte die de dijk keert is kleiner of gelijk aan $2/3$ van de hoogte van het dijklichaam ($h_w \leq 2/3 h_d$)

Er is geen berm aanwezig langs de binnenteenlijn. Verder is er geen sloot aanwezig nabij de binnenteen. De dijk wordt beschouwd als een zanddijk met een kleiafdekking. De dijk wordt daarom beoordeeld als zanddijk (zie de schematisering in Figuur F-2). De karakteristieke coördinaten in de schematisering worden in Tabel F-1 weergegeven.



Tabel F-1 Karakteristieke coördinaten

Punt	X (m)	Y (m +NAP)
A	0,00	9,30
B	4,12	9,30
C	26,06	1,40
D	N.v.t.	4,95
E	N.v.t.	0,50
F	N.v.t.	-7,50

Figuur F-2 Schematisering primaire kering STBI

Cotangens n wordt op onderstaande manier berekend:

$$\tan(\alpha) = \frac{\text{Overstaande}}{\text{Aanliggende}} = \frac{9,30 - 1,40}{26,06 - 4,12} = \frac{7,90}{21,94} = 0,360$$

$$n = \cot(\alpha) = \frac{1}{\tan(\alpha)} = \frac{21,94}{7,90} = 2,78$$

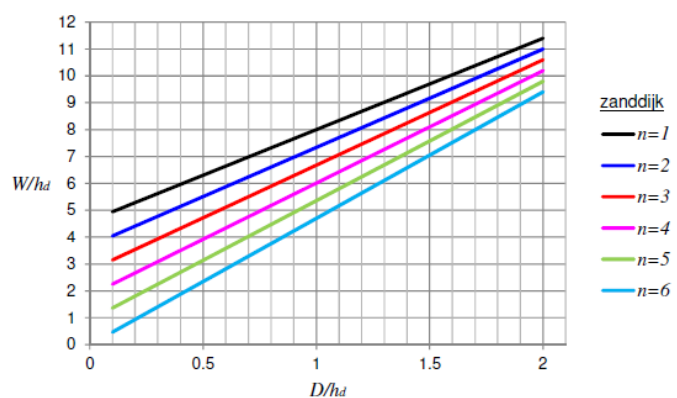
De parameterwaarden worden weergegeven in Tabel F-2. Tabel F-3 geeft de resultaten uit de standaard berekening weer. De ligging van het punt met coördinaten D/h_d en W/h_d wordt vergeleken met het contourplot in Figuur F-3.

Tabel F-2 Parameterwaarden STBI

Parameter	Waarde
W	4,12 [m]
n	2,78 [-]
h_d	7,90 [m]
D	8,00 [m]
h_w	3,55 [m]

Tabel F-3 Resultaat STBI

Component	Resultaat
Voorwaarde a	Voldoet
Voorwaarde b	Voldoet
D/h_d	1,01 [-]
W/h_d	0,52 [-]



Figuur F-3 Contourplot met veilige afmetingen zanddijk

De ligging van het punt met x-coördinaat D/h_d en y-coördinaat W/h_d wordt vergeleken met de rode lijn. Hieruit blijkt dat het punt ruim onder de lijn ligt. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de primaire kering geen dusdanig veilige afmetingen heeft. Daarom moet de toetsing wordt vervolgd met een gedetailleerde toets per vak.

Bijlage F2 - Eenvoudige toets macrostabiliteit buitenwaarts (STBU)

Stap E.1: Waterkering is dijk of dam

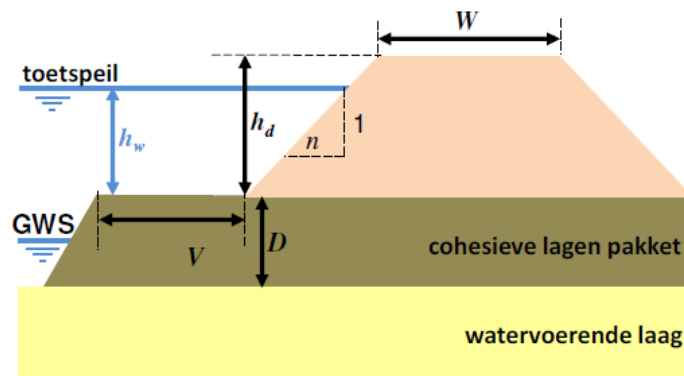
De waterkering is een dijk. De toets dient te worden vervolgd met Stap E.2.

Stap E.2: Constructieve elementen zijn aanwezig in het grondlichaam

Er is geen constructief element aanwezig in het grondlichaam. De toets dient te worden vervolgd met Stap E.3.

Stap E.3: De waterkering voldoet aan de eenvoudige toets op basis van algemene kenmerken

In deze stap wordt nagegaan of op basis van het profiel van de kering kan worden gesteld of voldoende restprofiel overblijft na het optreden van een afschuiving. De belangrijke geometrische parameters voor de eenvoudige toets worden weergegeven in Figuur F-4.



Figuur F-4 Overzicht geometrische kenmerken dijk

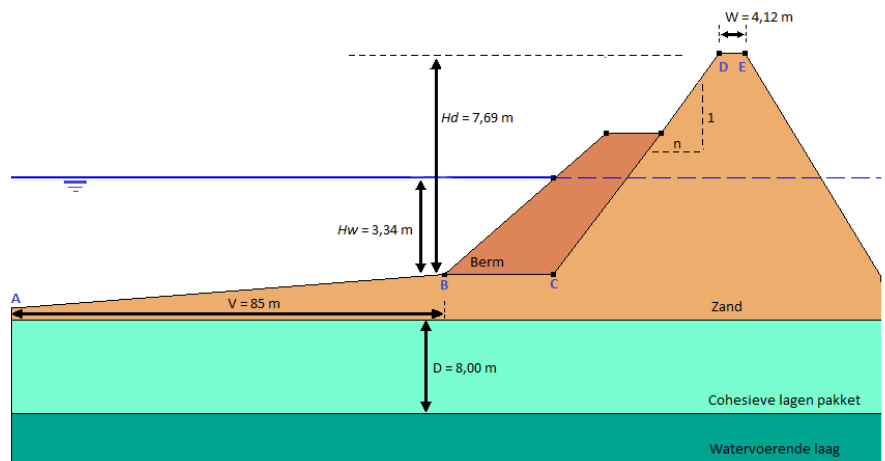
Hierbij geldt:

W	Kruinbreedte [m]; range van 3 tot 30 m.
V	Breedte voorland [m].
n	Cotangens van de helling van het buitentalud; n in de range van 1 tot 6.
h_d	Dijkhoogte boven maaiveld buitendijks [m].
D	Dikte cohesieve lagen pakket [m].
h_w	Hoogte buitenwaterstand bij de norm boven het maaiveld buitendijks [m].

Er gelden drie voorwaarden:

- De kruinbreedte en de helling van het buitentalud vallen binnen de bij deze parameters aangegeven ranges
- De waterhoogte die de dijk keert is kleiner of gelijk aan $2/3$ van de hoogte van het dijklichaam ($h_w \leq 2/3 h_d$)
- De breedte van het voorland is minimaal 2 keer de hoogte van de waterkering ($V \geq 2 h_d$)

Er is een berm aanwezig langs de binnenteenlijn. In het dwarsprofiel wordt de berm achterwege gelaten. Verder is er geen sloot aanwezig nabij de buitenteen. De dijk wordt beschouwd als een zanddijk met een kleiafdekking. De dijk wordt daarom beoordeeld als zanddijk (zie de schematisering in Figuur F-5).



Figuur F-5 Schematisering primaire kering STBU

De karakteristieke coördinaten worden weergegeven in Tabel F-4.

Tabel F-4 Karakteristieke coördinaten

Punt	X (m)	Y (m +NAP)
A	-128,45	0,41
B	-43,45	1,61
C	-26,16	1,61
D	0,00	9,30
E	4,12	9,30
F	N.v.t.	4,95
G	N.v.t.	0,50
H	N.v.t.	-7,50

Cotangens n wordt op onderstaande wijze berekend:

$$\tan(\alpha) = \frac{\text{Overstaande}}{\text{Aanliggende}} = \frac{9,30 - 1,61}{26,16 - 0,00} = \frac{7,69}{26,16} = 0,294$$

$$n = \cot(\alpha) = \frac{1}{\tan(\alpha)} = \frac{26,16}{7,69} = 3,40$$

De parameterwaarden worden weergegeven in Tabel F-5.

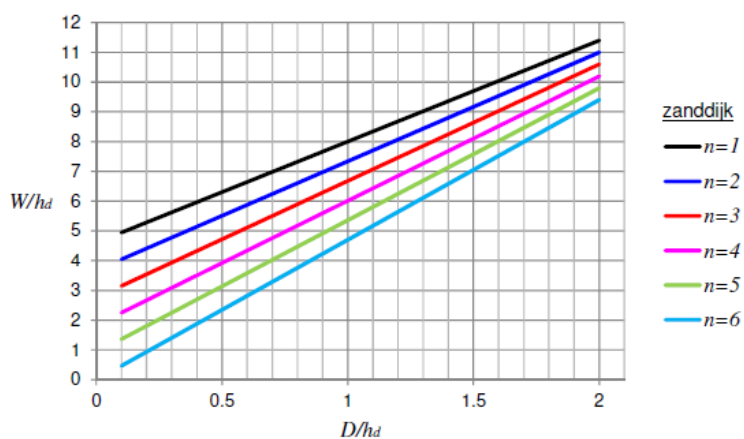
Tabel F-5 Parameterwaarden STBU

Parameter	Waarde
W	4,12 [m]
n	3,40 [-]
h _d	7,69 [m]
D	8,00 [m]
h _w	3,34 [m]
V	85,00 [m]

De resultaten voor de eenvoudige toets STBU worden weergegeven in Tabel F-6. De ligging van het punt met coördinaten D/h_d en W/h_d wordt vergeleken met het contourplot in Figuur F-6.

Tabel F-6 Resultaten eenvoudige toets STBU

Component	Resultaat
Voorwaarde a	Voldoet
Voorwaarde b	Voldoet
Voorwaarde c	Voldoet
D/h_d	1,04 [-]
W/h_d	0,54 [-]



Figuur F-6 Contourplot met veilige afmetingen zanddijk

De ligging van het punt met x-coördinaat D/h_d en y-coördinaat W/h_d wordt vergeleken met de rode lijn. Dit is aan de veilige kant. Hieruit blijkt dat het punt ruim onder de lijn ligt. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de primaire kering geen dusdanig veilige afmetingen heeft. Daarom moet de toetsing wordt vervolgd met een gedetailleerde toets per vak.

Bijlage F3 - Eenvoudige toets NWO's

Stap E.1: Waterkering voldoet zonder NWO:

De beoordeling op NWO's is alleen relevant als de specifieke waterkering zonder NWO's voldoet aan de eisen van de relevante toetssporen. Indien blijkt dat de waterkering niet voldoet in de situatie zonder NWO, dan hoeft er niet op NWO's te worden getoetst. In dit onderzoek wordt de eenvoudige toetsing echter ook uitgevoerd in het geval dat de primaire kering niet voldoet in de situatie zonder NWO, omdat het onderzoek juist bedoeld is om het verschil in veiligheid in situatie met en situatie zonder NWO in kaart te brengen. De beoordeling van het NWO kan vervolgens worden meegenomen in de versterkingsopgave.

Stap E.2: Eenvoudige toets op basis van algemene kenmerken:

Deze stap wordt doorlopen voor NWO soort *Bebouwing* (NWObe), omdat de Stienningen Man redelijk overeenkomt met de soort *Bebouwing*, terwijl dat voor *Begroeiing* en *Kabels en leidingen* niet het geval is.

Stap E.2.1: Controle ligging verstoringsprofiel binnen invloedszone waterkering:

Het verstoringsprofiel van de bebouwing bevindt zich in de primaire kering. Omdat dit profiel zich in de kering zelf bevindt, spreekt het voor zich dat het verstoringsprofiel zich in de invloedszone bevindt. De eenvoudige toets wordt daarom gevolgd met stap E.2.2.

Stap E.2.2: Compenserende voorziening aanwezig:

Er is geen compenserende voorziening aanwezig. De beoordeling gaat verder met stap E.2.4.

Stap E.2.4: Controle schadelijkheids- en optredingscriterium:

Stap E.2.4.1: Controle doorsnijding beoordelingsprofiel door verstoringsprofiel:

Het beoordelingsprofiel wordt doorsneden door het verstoringsprofiel. De beoordeling wordt vervolgd met Stap E.2.4.2.

Stap E.2.4.2: Controle op bebouwingsoppervlak:

Indien de bebouwingsoppervlakte kleiner dan of gelijk aan 15 m² is, is de bijdrage van het toetsspoor NWObe aan de overstromingskans van de waterkering verwaarloosbaar. Deze voorwaarde geldt echter alleen voor objecten zoals schuurtjes, omdat wordt aangenomen dat bebouwing met een kleine oppervlakte schuurtjes zijn, die niet diep gefundeerd zijn.

Stap E.2.4.3: Controle op bebouwing buiten de 4-H-zone:

De bebouwing ligt binnen de zone.

Stap E.2.4.4: Opbarstveiligheid $\geq 1,2$:

Dit criterium heeft geen betrekking op faalmechanisme macrostabiliteit, maar op piping (STPH). De beoordeling zal dus worden voortgezet met een gedetailleerde toets per vak voor binnen- en buitenwaartse macrostabiliteit.

Bijlage G – Resultaten gedetailleerde toets

Bijlage G1 – Assemblagetool

Voor binnenwaartse macrostabiliteit geeft de assemblagetool een toetsoordeel per toets per vak. Dit wordt gedaan door de totale faalkans te vergelijken met de faalkanseis per vak. De faalkanseis wordt afgeleid van onder andere de lengte van het traject en de norm van het traject. In Tabel G-1 staan de trajectgegevens. In Tabel G-2 staan de toetsspoorgegevens voor binnenwaartse macrostabiliteit.

Tabel G-1 Trajectgegevens

Trajectgegevens		
Dijktraject	6-3	[-]
Signaleringswaarde	3,33E-04	[1/jaar]
Ondergrens	1,00E-04	[1/jaar]
Lengte	41630	[m]

Tabel G-2 Toetsspoorgegevens STBI

Toetsspoorgegevens		
Toetsspoor	STBI	Macrostabiliteit binnenwaarts
Toetsspoorgroep	2	Semi-probabilistische toetssporen met afgeleide faalkans
Faalkansruimtefactor (ω)	0,04	[-]
Signaleringswaarde	1,33E-05	[1/jaar]
Ondergrens	4,00 E-05	[1/jaar]
N_{dsn} (lengte effectfactor)	28,5	[-]
a_l	0,033	[-]
b_l	50	[-]

De faalkanseis per traject wordt herleid tot faalkanseis per vak door middel van de lengte-effectfactor, de faalkansruimtefactor en de lengte van het traject. De berekende faalkans per vak wordt vergeleken met de signaleringswaarde en de ondergrenswaarde. De categorisering van het toetsoordeel wordt weergegeven in Tabel G-4. In Tabel G-3 zijn de onder- en bovengrenzen voor de categorisering per vak toegepast.

Tabel G-3 Indeling categorieën veiligheidsbeoordeling

Categorie	Ondergrens	Bovengrens
I _v	0	1,56E-08
II _v	1,56E-08	4,67E-07
III _v	4,67E-07	1,40E-06
IV _v	1,40E-06	1,00E-03
V _v	1,00E-03	3,00E-02
VI _v	3,00E-02	1

Tabel G-4 Categorisering toetsoordeel per vak (Deltares, 2016)

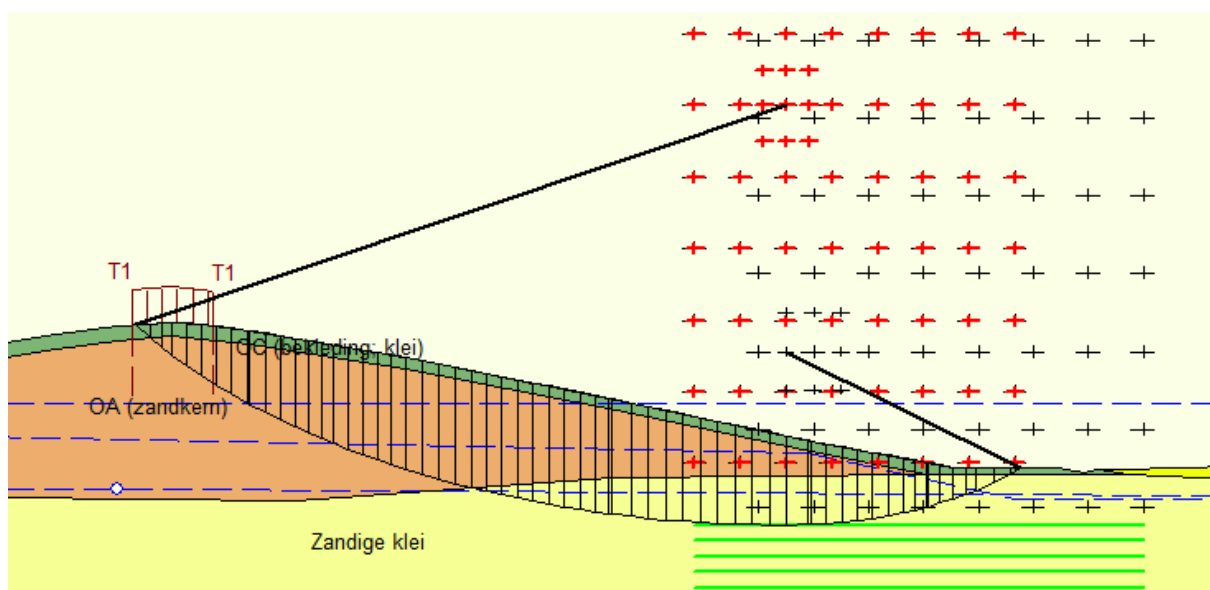
Cat.	Aanduiding categorie toetsoordeel per vak per toetsspoor	Begrenzing categorie
		$P_{f,dsn}$ Faalkans per vak (doorsnede of kunstwerk) [1/jaar]. $P_{eis,sig}$ Signaleringswaarde van het dijktraject [1/jaar]. $P_{eis,ond}$ Ondergrens van het dijktraject [1/jaar]. $P_{eis,sig,dsn}$ Faalkanseis per doorsnede of kunstwerk [1/ jaar]
I _v	voldoet ruim aan de signaleringswaarde	$P_{f,dsn} < \frac{1}{30} P_{eis,sig,dsn}$
II _v	voldoet aan de signaleringswaarde	$\frac{1}{30} P_{eis,sig,dsn} < P_{f,dsn} < P_{eis,sig,dsn}$
III _v	voldoet aan de ondergrens en mogelijk aan de signaleringswaarde	$P_{eis,sig,dsn} < P_{f,dsn} < P_{eis,ond,dsn}$
IV _v	voldoet mogelijk aan de ondergrens en/of aan de signaleringswaarde	$P_{eis,ond,dsn} < P_{f,dsn} < P_{eis,ond}$
V _v	voldoet niet aan de ondergrens	$P_{eis,ond} < P_{f,dsn} < 30P_{eis,ond}$
VI _v	voldoet ruim niet aan de ondergrens	$P_{f,dsn} > 30P_{eis,ond}$
VII _v	nog geen oordeel	

Faalmechanisme buitenwaartse macrostabiliteit valt in de assemblagetool onder toetsspoorgroep Groep 5 – Indirecte toetssporen. Voor deze toetssporen geldt geen faalkanseis per doorsnede of kunstwerk (Deltares, 2016). De indirecte toetssporen worden daarom niet meegenomen in de assemblage. Wel wordt gerapporteerd of deze toetssporen voldoen aan de gedetailleerde toets.

Bijlage G2 – Kritisch glijvlak per scenario

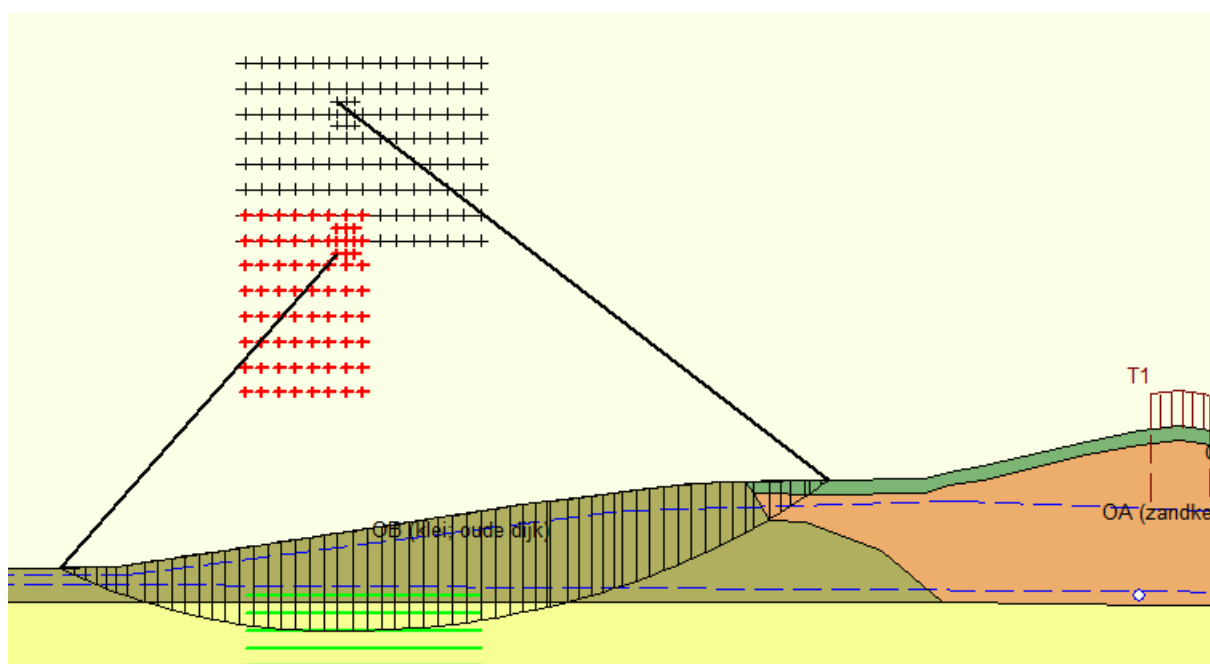
Om inzicht te geven in de mogelijke afschuiving van een deel van de primaire kering wordt voor iedere maatgevende situatie het kritische glijvlak weergegeven (zie Figuur G-1 t/m Figuur G-4).

1.1. Binnenwaartse macrostabiliteit – zonder Stiennen Man



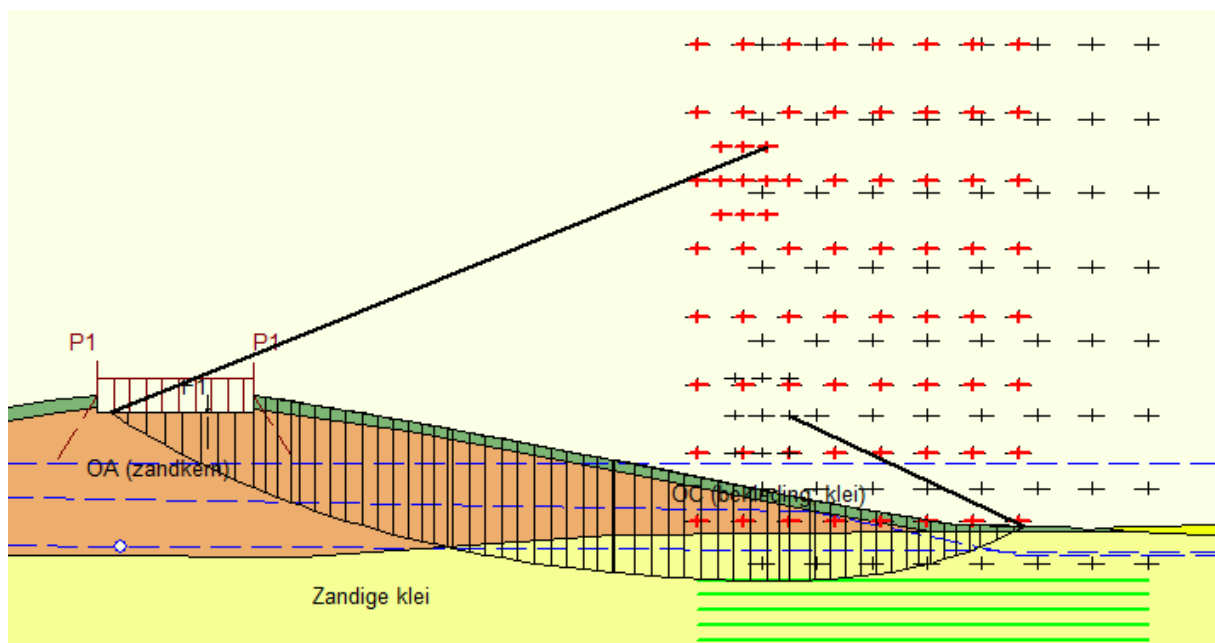
Figuur G-1 Kritisch glijvlak bij Binnenwaartse macrostabiliteit – zonder Stiennen Man

1.2. Buitenwaartse macrostabiliteit – zonder Stiennen Man



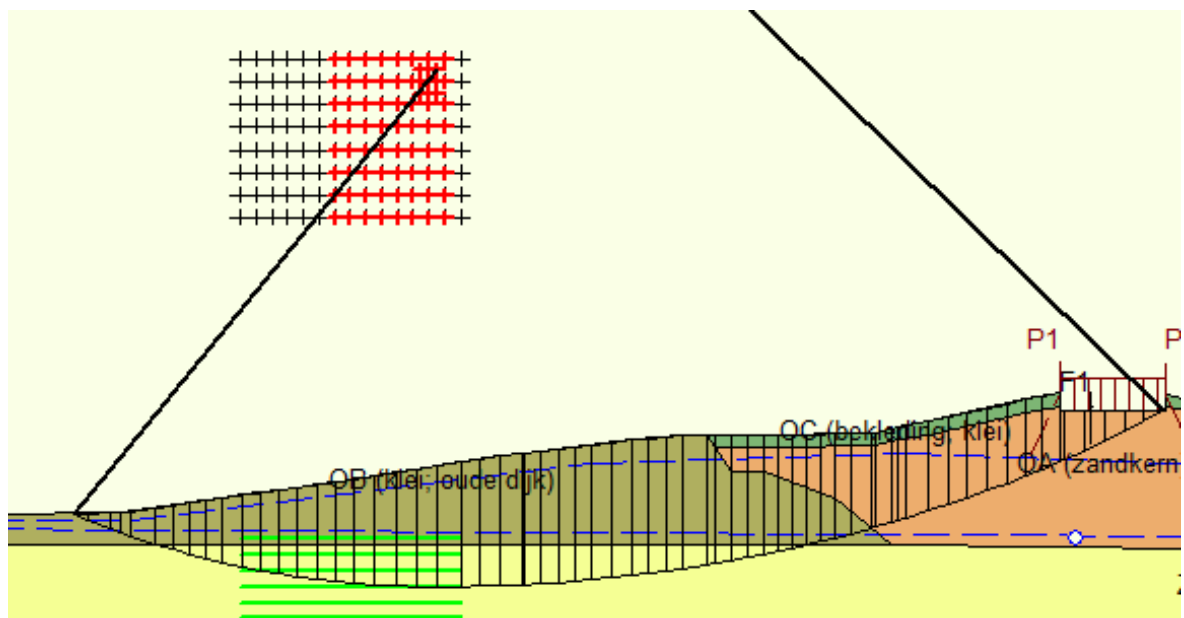
Figuur G-2 Kritisch glijvlak bij Buitenwaartse macrostabiliteit – zonder Stiennen Man

1.3. Binnenwaartse macrostabiliteit – met Stienennen Man



Figuur G-3 Kritisch glijvlak bij Binnenwaartse macrostabiliteit – met Stienennen Man

1.4. Buitenwaartse macrostabiliteit – met Stienennen Man



Figuur G-4 Kritisch glijvlak bij Buitenwaartse macrostabiliteit – met Stienennen Man