

Macrostabieliteit en het WBI2017

Stappenplan voor de beoordeling van de macrostabieliteit binnenwaarts met het wettelijk beoordelingsinstrumentarium 2017.



Afstudeerscriptie
Civiele techniek
Yvonne de Man
Studentnummer: 512783
31-08-2017

Docentbegeleiders: Dhr. E. Rob
Dhr. C. Van der Giessen
Bedrijfsbegeleider: Dhr. K.J. van der Made

Kernwoorden:

- WBI 2017
- Stappenplan
- Macrostabieliteit binnenwaarts

Samenvatting

Eén keer in de 12 jaar moet de veiligheid van de primaire waterkeringen beoordeeld worden door de beheerders van de waterkeringen. De wijze van beoordelen en de wettelijk vastgelegde normen voor de beoordeling van de primaire waterkeringen staan beschreven in de Waterwet. Per 1 januari 2017 is een nieuwe versie van de Waterwet in werking getreden. Voor de manier van beoordelen is met deze nieuwe Waterwet overgestapt van het wettelijk toets instrumentarium 2011 (WTI2011) op het wettelijk beoordelingsinstrumentarium 2017, het WBI2017.

In de nieuwe Waterwet zijn grote veranderingen doorgevoerd. Meest belangrijk is dat voor de normering van de dijken is overgestapt van een overschrijdingskans van de waterstand naar een overstromingskans van het achterliggend gebied. Gebieden waar een overstroming een groot maatschappelijk en economisch effect heeft zullen extra beschermd moeten worden. Daarnaast is de manier waarop de beoordeling van faalmechanismen moet worden uitgevoerd gewijzigd. Eén van deze faalmechanismen is de macro-instabiliteit binnenwaarts.

Voor het faalmechanisme macro-instabiliteit is, in het WBI2017, een nieuw materiaalmodel geïntroduceerd. Hierdoor zal het grondmechanisch veld- en laboratoriumonderzoek op een andere manier moet worden uitgevoerd en zullen andere schuifsterkteparameters uit dit onderzoek worden afgeleid. Tevens is in het WBI2017 het probabilistisch rekenen geïntroduceerd. Probabilistisch rekenen houdt in dat in de berekening rekening wordt gehouden met risico's en onzekerheden

De beschikbare informatie voortvloeiend uit deze wetswijziging en de daaruit volgende beschrijvingen van de uitvoering van de beoordeling zijn verspreid over meerdere bronnen. In deze scriptie wordt beoogd de beoordeling op macrostabiliteit binnenwaarts met het WBI2017 overzichtelijk te maken door de informatie uit de beschikbare bronnen te integreren tot één document. De doelstelling daarbij is: *“Het inzichtelijk krijgen van de te nemen stappen, van uitgangspunten tot het toetsoordeel, voor het toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts (STBI) in het WBI2017. Daarbij wordt niet alleen beschreven welke stappen genomen moeten worden, maar ook hoe de stappen genomen worden en welke informatie nodig is voor het uitvoeren van de stappen. Hierin worden de daarbij behorende eisen, geotechnische gegevens, onderzoeken en berekeningen opgenomen.”*

Het resultaat van dit onderzoek is een stappenplan met bijbehorend stappenschema. De benodigde, aanvullende informatie voor uitvoering van de beoordeling volgens het stappenplan staan beschreven in de bijlagen. Hierin worden onder andere de geotechnische schematisatie en de ondergrondschematisatie toegelicht. Daarnaast wordt in het stappenplan en in de bijlagen verwezen naar de gebruikte bronnen, zodat eventueel meer gedetailleerde informatie geraadpleegd kan worden.

Inhoud

1. Inleiding	6
1.1 Aanleiding	6
1.2 Belangrijkste wijzigingen	6
1.3 Macro-instabiliteit binnenwaarts	6
1.4 Doel van deze studie	7
1.5 Projectgrenzen	8
1.6 Onderzoeksmethode	9
1.7 Leeswijzer	10
2. Stappenplan	11
Stap 1 Vakindeling	12
1.1 Verzamelen gegevens	12
1.2 Opstellen vakindeling	13
Stap 2 Eenvoudige toets macrostabiliteit binnenwaarts	15
2.1 Is de waterkering een dijk of dam?	16
2.2 Zijn constructieve elementen aanwezig in de waterkering?	16
2.3 Voldoet de waterkering aan de algemene kenmerken?	16
Stap 3 Gedetailleerde toets macrostabiliteit per vak	19
3.1 Voldoet het vak aan de toepassingsvoorwaarde voor de sterkte?	21
3.2 Voldoen de belasting en sterkte van het vak aan de eisen?	21
Stap 4 Gedetailleerde toets macrostabiliteit per traject	40
4.1 Voldoen de belasting en sterkte van het traject aan de eisen?	40
Stap 5 Toets op maat	46
3. Stappenschema	48
4. Relevantie	50
5. Discussie	51
6. Conclusie	52
Figurenlijst	53
Lijst met afkortingen	56
Begrippenlijst	58
Bronnenlijst	67
Bijlage 1: Gebruikte documenten	
Bijlage 2: Stappen en toetsen in de beoordeling voor STBI	
Bijlage 3: Geotechnische schematisatie	
Bijlage 4: Stochastische Ondergrond Schematisatie	

Bijlage 5 WTI-SOS eenheden

Lijst met afkortingen

Begrippenlijst

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

Eén keer in de 12 jaar moet de veiligheid van de primaire waterkeringen beoordeeld worden door de beheerders van de waterkeringen. Een primaire waterkering is een dijk die bescherming biedt tegen het water uit de zee, de grote rivieren en de grote meren. De veiligheid van een waterkering wordt beoordeeld aan de hand van een wettelijk vastgelegde norm. Wanneer na een beoordeling van een waterkering blijkt dat deze niet voldoet aan de norm, dan zal de waterkering verbeterd moeten worden.

In de Waterwet staat beschreven hoe bepaald moet worden of een waterkering aan de wettelijke veiligheidsnorm voldoet. De manier van beoordelen was tot 1 januari 2017 vastgelegd in het Wettelijk toets instrumentarium 2011, WTI2011. In dit toets instrumentarium staat in het voorschrift toetsen op veiligheid (VTV2006) beschreven hoe de toetsing uitgevoerd moet worden en welke (reken)regels gebruikt moeten worden bij de toetsing.

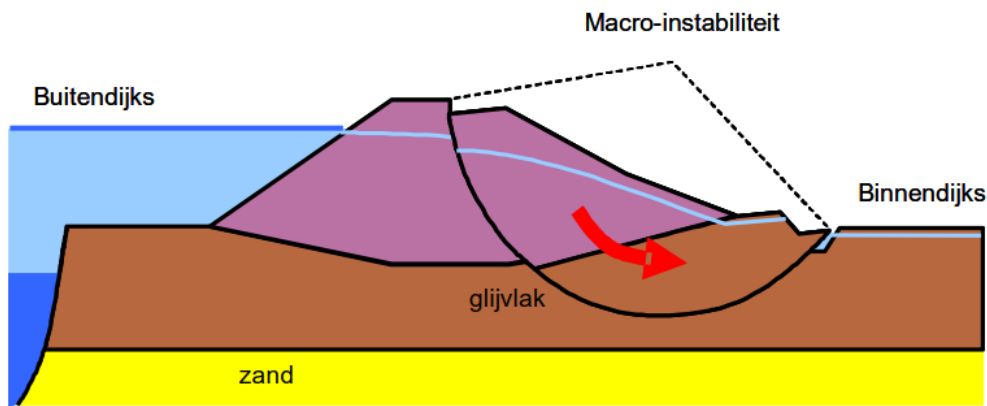
De Waterwet wordt regelmatig herzien en aangepast. Per 1 januari 2017 is een nieuwe versie van de Waterwet in werking getreden. Voor de manier van beoordelen is met deze nieuwe Waterwet overgestapt van het wettelijk toets instrumentarium 2011 (WTI2011) op het wettelijk beoordelingsinstrumentarium 2017, het WBI2017. In de nieuwe Waterwet en dit nieuwe beoordelingsinstrumentarium zijn grote veranderingen doorgevoerd.

1.2 Belangrijkste wijzigingen

Voor de normering van de dijken is overgestapt van een overschrijdingskans van de waterstand naar een overstromingskans van het achterliggende land. In de oude norm werd alleen rekening gehouden met de kans op overschrijden (overschrijdingskans) van een vastgelegde waterstand. In de nieuwe norm wordt rekening gehouden met de kans op een overstroming en welke gevolgen de overstroming heeft op het land achter de dijk. Gebieden waar een overstroming een groot maatschappelijk effect heeft worden extra beschermd. Hier worden hogere eisen gesteld ten aanzien van de overstromingskans. Daarnaast is de manier waarop de beoordeling van faalmechanismen uitgevoerd moet worden gewijzigd. Eén van deze faalmechanismen is macro-instabiliteit binnenwaarts.

1.3 Macro-instabiliteit binnenwaarts

Bij het faalmechanisme macro-instabiliteit binnenwaarts schuift een deel van de dijk aan de landzijde af, zoals in Figuur 1.1 te zien is. Dit kan ontstaan door een hoge waterstand tegen de dijk waardoor een hoge waterdruk aanwezig is in of onder de dijk. Deze waterdruk kan op een bepaalde plek hoger zijn dan de schuifweerstand van de grond, waardoor onder het gewicht van de grond van een deel van de dijk afschuiving plaats kan vinden.



Figuur 1.1. Macro-instabiliteit binnenwaarts (Rijkswaterstaat, 2016, p. 95).

Voor het faalmechanisme macro-instabiliteit is in het WBI2017 overgestapt van het Mohr-Coulomb model op een ander materiaalmodel, het Critical State Soil Mechanics model (CSSM). Dit model biedt de mogelijkheid om met de ongedraineerde schuifsterkte te rekenen in de beoordeling van klei- en veendijken. Daarvoor moet rekening gehouden worden met cohesieve lagen in en onder de waterkeringen. Voor deze lagen moeten, voor het bepalen van de ongedraineerde schuifsterkte, andere parameters in de glijvlakanalyse gebruikt worden dan voor zandlagen.

Daarnaast is de schematisatie van de ondergrond sterk gewijzigd door in de schematisatie rekening te houden met variatie in de ondergrond. Deze variatie is in scenario's opgenomen in een voor het WBI2017 nieuw ontwikkeld programma voor de schematisatie van de ondergrond, de Stochastische Ondergrond Schematisatie (WTI-SOS). Door deze ondergrondscenario's is probabilistisch rekenen mogelijk, wat ook nieuw geïntroduceerd is in het WBI2017. Probabilistisch rekenen houdt in dat in de berekening rekening wordt gehouden met risico's en onzekerheden. De macrostabiliteit binnenwaarts van de waterkering kan getoetst worden met behulp van een probabilistische toets. De faalkans van de waterkering wordt daarmee probabilistisch bepaald.

Het bepalen van de parameters voor de ongedraineerde schuifsterkte, het gebruiken van het nieuwe glijvalkmodel, de nieuwe manier van schematiseren van de ondergrond en het uitvoeren van probabilistische toetsen zijn nieuw voor de geotechnische praktijk in Nederland. Om deze redenen is door Wiertsema & Partners gevraagd een stappenplan/stappenschema op te stellen voor het uitvoeren van de beoordeling van de macrostabiliteit met het WBI2017.

1.4 Doel van deze studie

Door het introduceren van een nieuw materiaalmodel, zal het grondmechanisch veld- en laboratoriumonderzoek op een andere manier moet worden uitgevoerd en zullen andere schuifsterkteparameters uit dit onderzoek worden afgeleid. Deze hiervoor genoemde veranderingen, de onbekendheid met het rekenen met de ongedraineerde schuifsterkte in de beoordeling van dijken in Nederland en het nieuwe glijvlakmodel maken deze toets tot een complex vraagstuk. Daarnaast is sprake van gefragmenteerde informatie doordat de benodigde informatie voor de beoordelingsmethode over verscheidene bronnen verdeeld is. Dit maakt het inzichtelijk krijgen van de uitvoering van de beoordeling tijdrovend. Hieruit is het idee ontstaan voor uitvoering van een bronnenonderzoek / literatuuronderzoek om deze bronnen te bundelen tot één overzichtelijk document. Dit document beoogt daarmee de beoordeling op macrostabiliteit met het WBI2017 overzichtelijk te maken.

Het onderzoeksdoel dat is opgesteld voor dit onderzoek luidt als volgt:

“Het inzichtelijk krijgen van de te nemen stappen, van uitgangspunten tot het toetsoordeel, voor het toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts (STBI) in het WBI2017. Daarbij wordt niet alleen beschreven welke stappen genomen moeten worden, maar ook hoe de stappen genomen worden en welke informatie nodig is voor het uitvoeren van de stappen. Hierin worden de daarbij behorende eisen, geotechnische gegevens, onderzoeken en berekeningen opgenomen.”

1.5 Projectgrenzen

Om dit onderzoek af te bakenen zijn projectgrenzen opgesteld. Voor het opstellen van deze projectgrenzen wordt rekening gehouden met de omvang van het WBI2017 voor macrostabiliteit en de gereserveerde tijd, van 4 maanden. In deze studie zal alleen het toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts (STBI) uitgewerkt worden. De andere faalmechanismen vallen buiten deze studie.

Aan de hand van bovenstaande tijdsspanne en de geschatte omvang van het onderwerp worden de onderstaande projectgrenzen opgesteld.

Binnen dit onderzoek vallen de volgende zaken:

- Beschrijven van de stappen met daaraan gekoppelde documenten voor het toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts.
- Beschrijven van de testen en onderzoeken met daaraan gekoppelde documenten voor het toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts.
- Beschrijven van de uitgangspunten en eisen voor de nieuwe toets op macrostabiliteit binnenwaarts.
- Beschrijven van de geotechnische schematisatie voor de nieuwe toets op macrostabiliteit binnenwaarts.
- Beschrijven van de benodigde geotechnische onderzoeken en berekeningen voor de nieuwe toets op macrostabiliteit binnenwaarts.
- Stappenplan toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts
- Stappenschema toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts.
- Bronnen- en documentenlijst.

Buiten dit onderzoek vallen de volgende zaken:

- Beschrijven van de procedure voor beoordeling van de veiligheid van de primaire keringen.
- Beschrijven van de oude manier van toetsen en het oude toets spoor voor macrostabiliteit.
- Beschrijven van het nieuwe toetsspoor macrostabiliteit buitenwaarts.
- Beschrijven van het opstellen van het beheerdersoordeel voor een getoetste kering.
- Praktijkonderzoek van een dijktraject aan de hand van het stappenplan.

Dit document wordt geschreven voor geotechnisch adviseurs met ervaring in het beoordelen van de stabiliteit van waterkeringen.

1.6 Onderzoeksmethode

In deze paragraaf wordt kort beschreven hoe het onderzoek wordt uitgevoerd.

Uit een eerste analyse, van de gevonden informatie op het internet, blijkt bijna alle relevante informatie op de “helpdesk water” (Rijksoverheid, z.d.-a) van Rijkswaterstaat te staan. In de documenten op deze website wordt voor informatie over de manier van beoordelen voor het WBI2017 doorverwezen naar de “Waterwet” en de “Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017”. Op de website “Wettenoverheid.nl” van de overheid staat de Waterwet. De versie ingaande op 1 januari 2017 wordt gebruikt voor dit onderzoek. In de Waterwet zijn voor het WBI2017 bijlagen opgenomen. In deze bijlagen staan in bijlage 1 kaarten met de dijktrajecten in Nederland met bijbehorende trajectnummers en coördinaten en in bijlage 2 en 3 de nieuwe normen voor de dijktrajecten.

Ook de “Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017” (Overheid.nl, 2016) staat op de website “Wettenoverheid.nl” van de overheid. De “Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017” (Overheid.nl, 2016) bevat drie bijlagen. In deze bijlagen staat de informatie benodigd voor het beoordelen volgens het WBI2017.

Hier gaat het om de drie onderstaande bijlagen:

- Bijlage I: Procedure beoordeling veiligheid primaire waterkeringen (Rijkswaterstaat, z.d.-a).
- Bijlage II: Voorschriften bepaling hydraulische belasting primaire waterkeringen (Rijkswaterstaat, z.d.-c).
- Bijlage III: Voorschriften bepaling sterkte en veiligheid primaire waterkeringen (Rijkswaterstaat, z.d.-c).

In dit onderzoek zullen deze bijlagen als leidraad gebruikt worden. In deze bijlagen wordt doorverwezen naar de benodigde documenten op de “Helpdesk Water” (Rijksoverheid, z.d.-a) bij het onderwerp “Beoordelen (WBI)”. Op deze site staat ook een link naar “Producten WBI”. Daar zijn alle documenten voor het WBI te vinden. De belangrijkste documenten voor dit onderzoek worden in bijlage 1 benoemd en kort samengevat.

Voor het realiseren van het onderzoeksdoel wordt een stappenschema voor de toets op macrostabiliteit binnenwaarts in het WBI2017 opgesteld. Hiervoor wordt eerst een stappenplan opgesteld waarin per stap de eisen, benodigde onderzoeken worden beschreven en waarin wordt verwezen naar de benodigde protocollen en documenten. Het stappenplan wordt uiteindelijk gebruikt om het stappenschema op te stellen.

1.7 Leeswijzer

Dit onderzoek bestaat uit een literatuurstudie waaruit het stappenplan voor de macrostabiliteit binnenwaarts en het bijbehorende stappenschema worden opgesteld. In hoofdstuk 2 is het stappenplan opgenomen, waarna in hoofdstuk 3 het stappenschema is weergegeven. De relevantie van dit onderzoek voor Wiertsema & Partners wordt in hoofdstuk 4 beschreven, waarna in hoofdstuk 5 de discussie en in hoofdstuk 6 de conclusie zijn opgenomen.

In totaal zijn 5 bijlagen opgenomen. In bijlage 1 wordt een beschrijving gegeven van de belangrijkste gebruikte documenten voor dit onderzoek. Bijlage 2 bevat de globale beschrijving van de stappen voor de toets op de macrostabiliteit binnenwaarts. Vervolgens worden in bijlage 3 toelichtingen en beschrijvingen van de geotechnische onderzoeken, proeven en berekeningen voor het uitvoeren van de toets op macrostabiliteit binnenwaarts beschreven. In bijlage 4 wordt de Stochastische Ondergrond Schematisatie beschreven en worden de stappen voor de Stochastische Ondergrond Schematisatie voor de macrostabiliteit binnenwaarts toegelicht waarna tenslotte in bijlage 5 de tabellen met WTI-SOS eenheden te vinden zijn.

2. Stappenplan

Voor de beoordeling op macrostabiliteit binnenwaarts zijn vier toetsen beschikbaar. Het gaat hier om de eenvoudige toets, de gedetailleerde toets per vak, de gedetailleerde toets per traject en de toets op maat. Deze toetsen verschillen in verfijning. Als eerste moet de eenvoudige toets uitgevoerd worden. Blijkt uit deze toets dat de kering niet voldoet, dan moet overgegaan worden op een van de andere toetsen. De toets op maat is het meest verfijnd. Iedere toets bestaat uit een aantal te verrichten activiteiten/stappen. Hieronder is het stappenplan weergegeven.

Stap 1 Vakindeling

Voor aanvang van de toets moet het te beoordelen dijktraject opgedeeld worden in dijkvakken. Hiervoor moeten eerst gegevens van de dijk verzameld worden.

Voor analyse van de macrostabiliteit zijn de volgende gegevens noodzakelijk (Rijkswaterstaat, 2016, p. 31):

- “Geometrie, dat wil zeggen het ingemeten dwarsprofiel van de waterkering en aanliggend maaiveld.
- Laagopbouw van de ondergrond en het dijklichaam.
- Volumieke gewichten van de grondlagen.
- Sterkte-eigenschappen voor elke laag.
- Ligging van de freatische lijn.
- Waterspanningsverloop in de ondergrond”.

1.1 Verzamelen gegevens

In hoofdstuk 5 (p. 29 e.v.) van *Bijlage II Voorschriften bepaling hydraulische belasting primaire waterkeringen* (Rijkswaterstaat, z.d.-c) staan de belastingmodellen en watersystemen beschreven. In dit hoofdstuk moet opgezocht worden tot welk watersysteem de waterkering behoort om de belastingmodellen te kunnen bepalen. Voor ieder watersysteem is een belastingmodel opgesteld. In dit belastingmodel staat de statistiek van de bedreigingen beschreven en wordt beschreven op welke manier waarop deze statistiek vertaald moet worden naar de lokale belastingen.

Relevante informatie verzamelen over de waterkering, relevant voor het toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts. In de Schematiseringshandleiding macrostabiliteit staan de onderstaande gegevens genoemd (Rijkswaterstaat, 2016, p. 31):

- “Gegevens uit de vorige beoordeling(en).
- Historische vakindeling.
- VNK2 resultaten.
- Informatie uit recente dijkverbeteringen.
- De globale stochastische ondergrondschematisatie (WTI-SOS).
- Beschikbaar veld- en laboratoriumonderzoek.
- Leggerinformatie.
- Ervaringen van de beheerder (veldwaarnemingen)”.

Voor de vakindeling moeten de volgende gegevens over een dijktraject verzameld worden:

- De opbouw van de waterkering.
- De geometrie van de waterkering, het voorland en het achterland.
- De opbouw van de grond.
- De eigenschappen van de grond.

Benodigde bronnen:

As-built tekeningen, boringen, sonderingen, Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN), FLI-MAP, WTI-SOS, DINO-Loket, geologische kaarten, laboratoriumproeven (Rijksoverheid, z.d.).

De peildatum voor de beoordeling is 31 december 2022 (Rijkswaterstaat, z.d.-a). De beoordeling van de kering moet gebaseerd zijn op de verwachte toestand van de kering en het watersysteem op de peildatum.

In *Bijlage I Procedure* (Rijkswaterstaat, z.d.-a, p. 14) staat beschreven wat bedoeld wordt met de verwachte toestand:

“1: Het verwachte profiel van de waterkering op de peildatum.

Dit is meestal de actuele kruinhoogte en profiel gecorrigeerd voor de zetting en klink en/of de ontwikkeling van voorland of duin die wordt verwacht tot peildatum.

2: De verwachte toestand van onderdelen van de waterkering op de peildatum.

De verwachte toestand van een waterkering of onderdelen daarvan op peildatum kan bepaald worden op basis van de resultaten van (visuele) inspectie of monitoring en/of op basis van de programmering van de benodigde (onderhouds)maatregelen. Daarbij geldt het volgende:

- (Onderhouds)maatregelen die zijn opgenomen in de programmering en naar verwachting voor peildatum zijn gerealiseerd, worden als uitgevoerd beschouwd. De betreffende onderdelen van de waterkering worden geschematiseerd in de al verbeterde toestand.
- Onderhoudsmaatregelen die niet zijn opgenomen in de programmering of niet voor de peildatum zijn gerealiseerd, worden buiten beschouwing gelaten. In de schematisering van de waterkering wordt rekening gehouden met de mogelijk verminderde sterkte van de betreffende onderdelen door schade of degradatie. In dergelijke gevallen is het vaak niet mogelijk om op basis van een generieke toets tot een oordeel te komen, maar is een toets op maat nodig.

Als rekening wordt gehouden met een verminderde sterkte of onderhoudsaspecten van de kering, geeft de beheerder dit aan in de motivering behorende bij de schematisering en in de rapportage”.

1.2 Opstellen vakindeling

Aan de hand van de informatie uit de verzamelde gegevens moeten de dijktrajecten in verschillende vakken worden opgesplitst. In het toetsproces wordt van grof naar fijn gewerkt. Voor de eenvoudige toets wordt het traject eerst ‘grof’ in vakken ingedeeld. Indien nodig kan tijdens het schematiseren of het beoordelen besloten worden de dijkvakken op te knippen.

Op basis van de geometrie en de ondergrond worden door de beheerder de dijktrajecten in dijkvakken opgedeeld. In de *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit* (Rijkswaterstaat, 2016, p. 44) worden de volgende overwegingen voor het leggen van vakgrenzen genoemd:

- “Waar de waterkering van type verandert; types waterkering zijn dijk, dam, duin, kunstwerk of aansluiting tussen twee types waterkering; ook de overgang naar hoge gronden is logischerwijze een vakgrens.
- Bij een overgang van een norm naar een andere norm.
- Bij duidelijke verschillen in hydraulische belasting. Dit kan het geval zijn bij een rivier met een sterk verhang zoals op de Maas in Limburg of de bovenloop van de IJssel.
- Bij duidelijke veranderingen in geometrie.
- Bij duidelijke veranderingen in ondergrond (SOS segment) en/of sterkte-eigenschappen”.

Eén situatie moet kenmerkend zijn voor de strekking van het dijkvak. De macrostabiliteit wordt voor deze kenmerkende situatie geanalyseerd. Over de gehele strekking moet het dijkvak “homogeen” zijn; de belasting, de geometrie, de grondopbouw et cetera zijn ongeveer gelijk. Per faalmechanisme kunnen hierdoor verschillende dijkvakindelingen gemaakt worden.

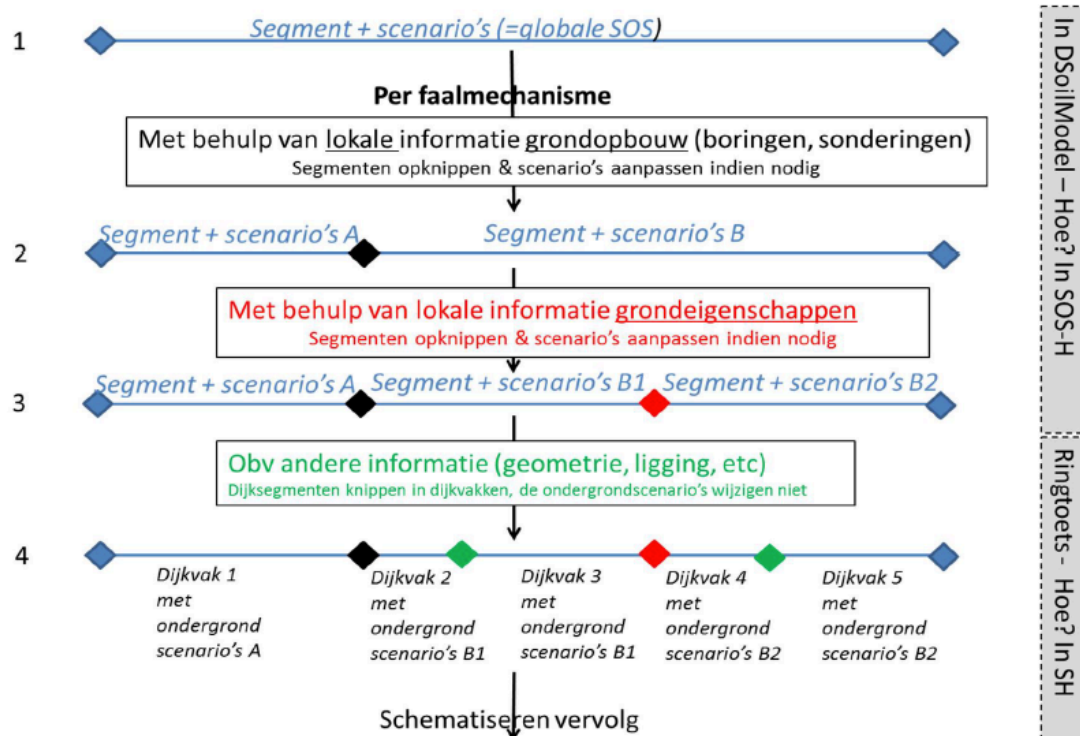
In de *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit* (Rijkswaterstaat, 2016, p. 44) staan de volgende factoren vermeld die een rol kunnen spelen bij de vakindeling:

- “Geometrie, met duidelijke wijzigingen in:
 - Dijkhoogte.
 - Dijkbreedte.
 - Afmetingen berm.
 - Steilheid taluds.
 - Maaiveldhoogte.
 - Aanwezigheid sloten/watergangen.
- Grondopbouw, bijvoorbeeld bij:

Een segmentgrens in de globale stochastische ondergrondschematisatie (SOS) en bij beschikbaar lokaal grondonderzoek:

- (Grote) veranderingen in dikte aanwezige klei- en veenlagen.
 - Aanwezigheid van geulen of tussenzandlagen.
- Aanwezigheid voorland (in verband met ontwikkeling van de stijghoogte in het dijklichaam bij hoog buitenwater).
- Opbouw van het dijklichaam, met onderscheid tussen oude en recentere delen van het dijklichaam of onderscheid tussen kleidijk en aanvulling in zand.
- Aanwezigheid van bijzondere constructies (drainage, damwanden, diepwanden et cetera).
- De grensspanning kan ook gebruikt worden om dijkvakgrenzen te kiezen en de maatgevende dwarsprofielen te bepalen”.

Omdat relatief kleine verschillen in de waterstand bij de norm en/of in de geometrie van de dijk tot relevante verschillen in de stabiliteitsfactor of faalkans kan leiden, kunnen in RisKeer meerder dwarsprofielen per vak doorgerekend worden. Het maatgevende dwarsprofiel wordt dan representatief voor het dijkvak (Rijkswaterstaat, 2016).



Figuur 2.1. Werkschema voor schematiseren van de ondergrond (Rijkswaterstaat, 2016, p. 45)

De indeling / onderverdeling van een dijkvak is een iteratief proces. In Figuur 2.1 (Rijkswaterstaat, 2016, p. 45) is het werkschema voor het schematiseren en indelen van de ondergrond en de dijkvakken weergegeven. Naar aanleiding van de uitkomst van de toets kan de indeling aangepast worden. Hierdoor kan het maatgevende dwarsprofiel gunstiger uitvallen, waardoor dat deel van het dijkvak goedgekeurd kan worden (Rijkswaterstaat, 2016).

Stap 2 Eenvoudige toets macrostabiliteit binnenwaarts

Voor de eenvoudige toets moeten de volgende gegevens over ieder te beoordelen dijkvak verzameld worden (Rijksoverheid, z.d.):

- Type waterkering.
- Eventuele aanwezigheid van constructieve elementen.
- De geometrie van de waterkering.
- De opbouw van de grond.
- De waterstand bij de norm.

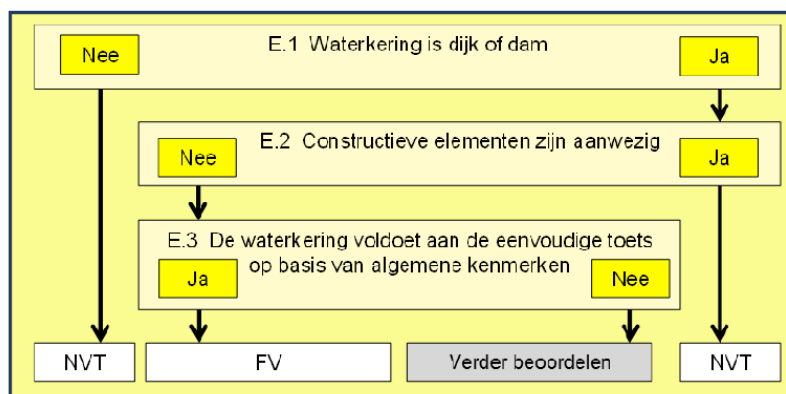
Benodigde bronnen:

As-built tekeningen, boringen, sonderingen, Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN), FLI-MAP, WTI-SOS, DINO-Loket, RisKeer (Rijksoverheid, z.d.).

De eenvoudige toets bestaat uit drie stappen (Rijkswaterstaat, z.d.-b):

- Stap 1: Is de waterkering een dijk of dam?
- Stap 2: Zijn constructieve elementen aanwezig in de waterkering?
- Stap 3: Voldoet de waterkering aan de algemene kenmerken?

Deze bovenstaande stappen zijn weergegeven in Figuur 2.2 (Rijkswaterstaat, 2016).



Figuur 2.2. Schema eenvoudige toets macrostabiliteit binnenwaarts (Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 27).

2.1 Is de waterkering een dijk of dam?

Als het grondlichaam een duin is, dan wordt de toets op macrostabiliteit uit het WBI2017 niet uitgevoerd, maar wordt het grondlichaam beoordeeld als duinwaterkering (Rijkswaterstaat, 2016).

2.2 Zijn constructieve elementen aanwezig in de waterkering?

Wanneer zich constructieve elementen of kunstmatig versterkte grondkolommen of lagen in de waterkering bevinden is de toets op macrostabiliteit niet van toepassing. Afhankelijk van het type object zal de macrostabiliteit binnenwaarts (STBI) worden beoordeeld via een van de volgende drie toetssporen uit het WBI2017: sterkte en stabiliteit puntconstructie, sterkte en stabiliteit langsconstructie of technische innovatie (Rijkswaterstaat, 2016).

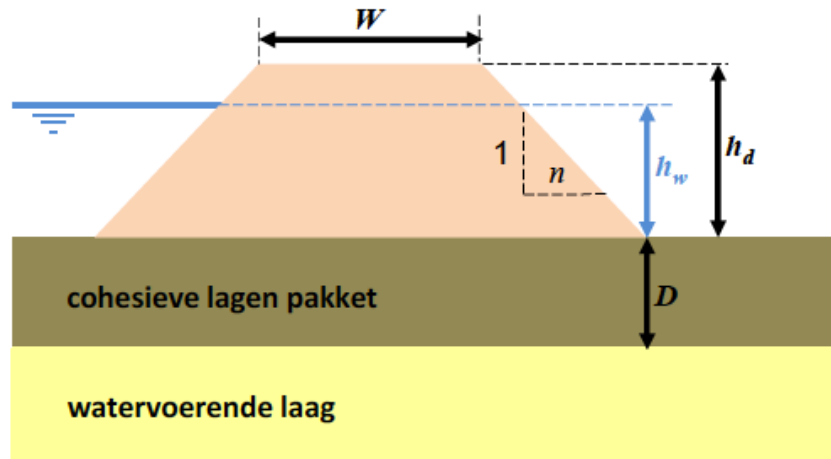
2.3 Voldoet de waterkering aan de algemene kenmerken?

In de eenvoudige toets wordt per vak gecontroleerd of de waterkering voldoet aan de algemene kenmerken, zodat gesteld kan worden dat voldoende restprofiel overblijft na het optreden van een afschuiving (Rijkswaterstaat, z.d.-b). De geometrie van de waterkering en de opbouw van de ondergrond worden hier vastgesteld. Dit kan een sterk vereenvoudigde geometrie van het grondlichaam zijn. In Figuur 2.3 (Rijkswaterstaat, 2016) zijn de benodigde gegevens weergegeven. Deze eenvoudige toets is bedoeld voor dijken met flauwe taluds en /of brede kruinen. Een eventuele aanwezige stabiliteitsberm wordt genegeerd; de beoordeling vindt plaats met weglating van de stabiliteitsberm (Rijkswaterstaat, 2016). Wanneer de waterkering voldoet aan de algemene kenmerken dan is het toetsoordeel voor deze waterkering ‘voldoende’, anders verder naar stap 2.

Bijlage III Sterkte en veiligheid (Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 14) beschrijft de volgende algemene uitgangspunten voor de eenvoudige toets:

- “Voor de eenvoudige toets wordt een dijktraject voor elk toetsspoor opgedeeld in vakken. Per toetsspoor wordt de wijze van oordelen beschreven in de schematiseringshandleidingen.
- Resultaat van een beslisregel is de conclusie dat wel of niet aan de voorwaarde van voldoende kleine kans op falen wordt voldaan.
- Eenvoudige beslisregels zijn gebaseerd op eenvoudig in te winnen gegevens. De beslisregels zijn gebaseerd op historische analyses, (gebieds)eigenschappen met betrekking tot de waterkering en eenvoudige relaties”.

Deze toets is uitvoerbaar voor een kleidijk en voor een zanddijk met eventueel een kleiafdekking. Via deze toets kan geen oordeel geveld worden over een dijk waarin, hoger dan het binnendijkse maaiveldniveau, veenlagen voorkomen. Valt de geometrie, de ondergrond of de waterstand bij de norm buiten het geldigheidsgebied van de eenvoudige toets, dan moet de gedetailleerde toets uitgevoerd worden (Rijkswaterstaat, 2016).



Figuur 2.3. Parameters eenvoudige toets STBI (Rijkswaterstaat, 2016, p. 24).

Op pagina 22 van de *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit* worden de parameters uit Figuur 2.3 toegelicht (Rijkswaterstaat, 2016):

- “Kruinbreedte (W) in meters.
- Binnentaludhelling 1: n , is de gemiddelde helling van het binnentalud. Bij een gekromd talud wordt de gemiddelde helling van de bovenste helft genomen. Een eventueel aanwezige berm wordt dus niet meegerekend.
- Dijkhoogte h_d , is het hoogteverschil tussen de kruinhoogte van de dijk en het maaiveld bij de binnenteen van de dijk in meters. Bij een brede watergang binnendijks wordt de dijkhoogte gemeten vanaf de kruin tot de bodem van de watergang.
- Dikte cohesieve lagenpakket D , is de dikte van de grondlagen gemeten vanaf het maaiveld bij de binnenteen van de dijk tot de bovenkant van een watervoerende zandlaag in meters. Bij toepassing van de Stochastische Ondergrond Schematisatie wordt het ondergrondscenario met het dikste pakket cohesieve lagen gekozen. Wanneer er binnendijks een brede watergang is, wordt de dikte van de grondlagen gemeten vanaf de bodem van de watergang tot de bovenkant van de watervoerende zandlaag. Een brede watergang is een watergang met een breedte die groter is dan de hoogte van de kering (h_d).
- Buitenwaterstand bij de norm boven het maaiveld binnendijks h_w in meters. De buitenwaterstand bij de norm wordt bepaald volgens de beschrijving in Bijlage II Voorschriften bepaling hydraulische belasting primaire waterkeringen (Rijkswaterstaat, z.d.-c).
- Opbouw van de dijk: klei of zand”.

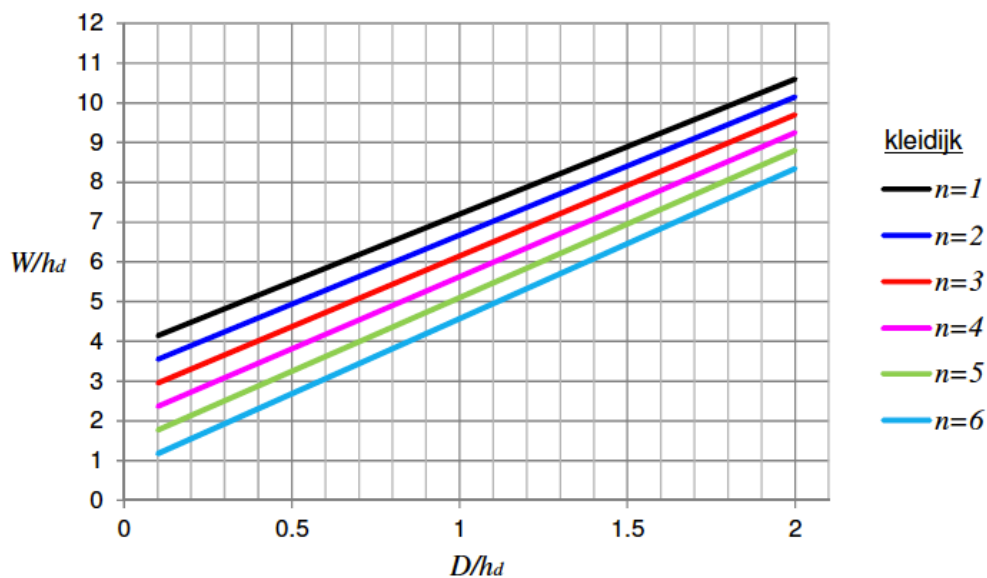
Voorwaarden voor gebruik van de eenvoudige toets is dat (Rijkswaterstaat, 2016):

- $3 \leq W \leq 30$ m
- $1 \leq n \leq 6$
- $h_w \leq \frac{2}{3} \cdot h_d$

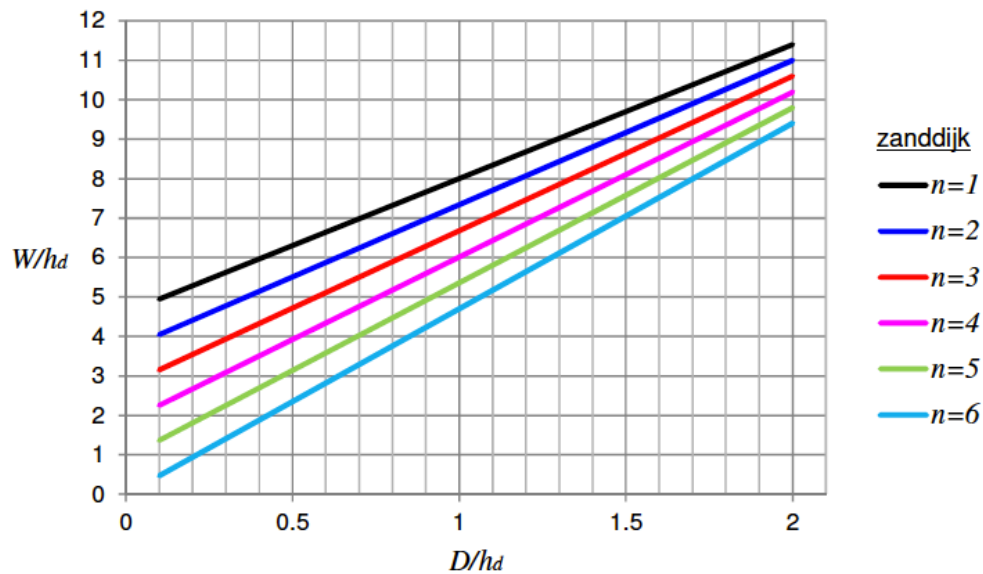
Als aan deze voorwaarden voldaan wordt, dan wordt de onderstaande toets uitgevoerd.

In *Bijlage III Sterkte en veiligheid* van het WBI2017 (Rijkswaterstaat, z.d.-b) staan op pagina 29 twee grafieken; een contourplot met veilige afmetingen voor een kleidijk (5-3) en een contourplot met veilige afmetingen voor een zanddijk (5-4). Figuur 5-4 (Rijkswaterstaat, z.d.-b) moet ook gebruikt worden voor zanddijken met een kleiafdekking en voor dijken van gemengde opbouw, waarbij veenlagen zijn uitgesloten (Rijkswaterstaat, z.d.-b). De twee figuren zijn hieronder weergegeven in respectievelijk Figuur 2.4 en 2.5 (Rijkswaterstaat, z.d.-b). Voor het aflezen van deze grafieken zijn de parameters W , n , h_d en D uit Figuur 2.3 (Rijkswaterstaat, 2016) nodig. Vermeld moet worden dat de Figuren 2.4 en 2.5 (Rijkswaterstaat, z.d.-b) gebaseerd zijn op:

- De aanname dat de stijghoogte in de watervoerende zandlaag gelijk is aan de buitenwaterstand; als de binnendijkse slecht doorlatende deklaag daardoor opgedrukt wordt, is de stijghoogte gereduceerd tot het gewicht van de deklaag (Rijkswaterstaat, 2016).
- Een conservatieve keuze voor de schuifsterkteparameters (Rijkswaterstaat, 2016).



Figuur 2.4. Contourplot met veilige afmetingen voor een kleidijk (Rijkswaterstaat, z.d.-b, p.29).



Figuur 2.5. Contourplot met veilige afmetingen voor een zanddijk (Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 29).

In beide figuren is op de verticale as het quotiënt van de kruinbreedte W en de dijkhoogte h_d weergegeven. Op de horizontale as staat het quotiënt van de dikte van het cohesieve lagen pakket D en de dijkhoogte h_d . De gekleurde lijnen zijn de lijnen voor de taludhellingen 1: n , voor $n = 1$ tot en met $n = 6$ (Rijkswaterstaat, 2016).

Voor macrostabiliteit binnenwaarts heeft de dijk veilige afmetingen als het snijpunt van de lijnen van de twee quotiënten, W/h_d en D/h_d , boven de bijbehorende lijn voor de helling van het binnentalud ligt en wanneer de te keren waterhoogte kleiner of gelijk is aan $\frac{2}{3}$ van de dijkhoogte (h_d). De faalkans is dan verwaarloosbaar (FV). Dit resultaat is een faalkans per vak. Wanneer niet aan een van deze twee eisen wordt voldaan, dan kan op basis van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld. Als dit het geval is, zal de beoordeling voortgezet moeten worden met een gedetailleerde toets per vak (Rijkswaterstaat, z.d.-b). De beheerder kan ook vooraf zelf de keuze maken om direct met de gedetailleerde toets per vak te beginnen en de eenvoudige toets over te slaan (Rijkswaterstaat, z.d.-a).

Stap 3 Gedetailleerde toets macrostabiliteit per vak

Voor de gedetailleerde toets per vak moeten de volgende gegevens over ieder te beoordelen dijkvak verzameld worden (Rijksoverheid, z.d.):

- Het dwarsprofiel van de waterkering.
- Eventuele aanwezigheid van constructieve elementen.
- De geometrie van het achterland.
- De opbouw van de waterkering.
- De opbouw van de ondergrond.
- De eigenschappen van de grond:
 - Volumiek gewicht
 - Cohesie
 - Hoek van inwendige wrijving
 - Normaal geconsolideerd ongedraineerde schuifsterkte ratio
 - Sterktetoename-exponent
- De freatische lijn en het waterspanningsverloop in de ondergrond:

- Waterspanningen watervoerende lagen
- Grondwaterstand binnendijks
- Doorlatendheid watervoerende pakket
- Hoogteniveau watervoerende pakket
- Dikte deklaag
- Doorlatendheid deklaag
- Doorlatendheid dijk kern

Benodigde bronnen:

Voor de geometrie van de waterkering:

As-built tekeningen, Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN), FLI-MAP (Rijksoverheid, z.d.).

Voor de opbouw en eigenschappen van de waterkering en ondergrond:

As-built tekeningen, boringen, sonderingen, laboratoriumonderzoek, EN 1997-1: Eurocode 7, geologische kaarten, DINO-Loket, WTI-SOS, D-Soil Model (Rijksoverheid, z.d.).

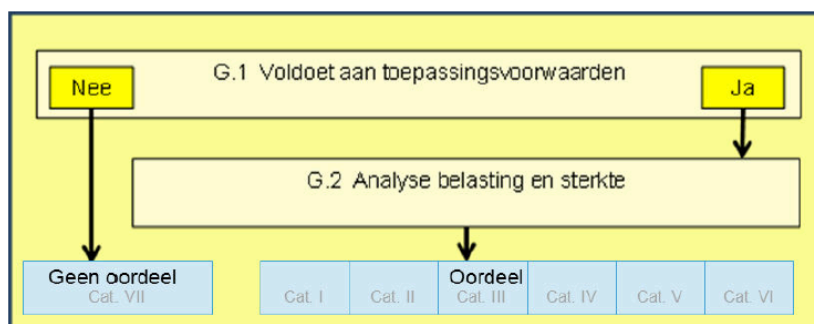
Voor de freatische lijn en het waterspanningsverloop in de ondergrond:

Peilbuismetingen, TNO-grondwaterkaart, slootpeil, polderpeil, boringen, sonderingen, laboratoriumonderzoek, pompboringen, geologische kaarten, DINO-Loket, WTI-SOS (D-Soil Model), RisKeer (Rijksoverheid, z.d.).

De gedetailleerde toets per vak bestaat uit twee stappen (Rijkswaterstaat, z.d.-b, 14):

- “Stap 1: Voldoet het vak aan de toepassingsvoorwaarde voor de sterkte?
- Stap 2: Analyse van de belasting en sterkte aan de eisen”.

In Figuur 2.6 (Rijkswaterstaat, z.d.-b) zijn deze bovenstaande stappen weergegeven (respectievelijk G.1 en G.2).



Figuur 2.6. Generiek schema gedetailleerde toets (Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 15).

3.1 Voldoet het vak aan de toepassingsvoorwaarde voor de sterkte?

De toepassingsvoorwaarde bestaat uit het bepalen of constructieve elementen aanwezig zijn in de waterkering. Wanneer zich constructieve elementen of kunstmatig versterkte grondkolommen of lagen in de waterkering bevinden is de toets op macrostabiliteit niet van toepassing. Wanneer geconcludeerd wordt dat het toetsspoor niet relevant is of dat het rekenmodel niet toepasbaar is, dan kan geen oordeel worden geveld.

Afhankelijk van het type object zal de macrostabiliteit binnenwaarts (STBI) worden beoordeeld via een van de volgende drie toetsspooren uit het WBI2017: *Sterkte en stabiliteit puntconstructie, sterkte en stabiliteit langsconstructie of technische innovatie* (Rijkswaterstaat, z.d.-b).

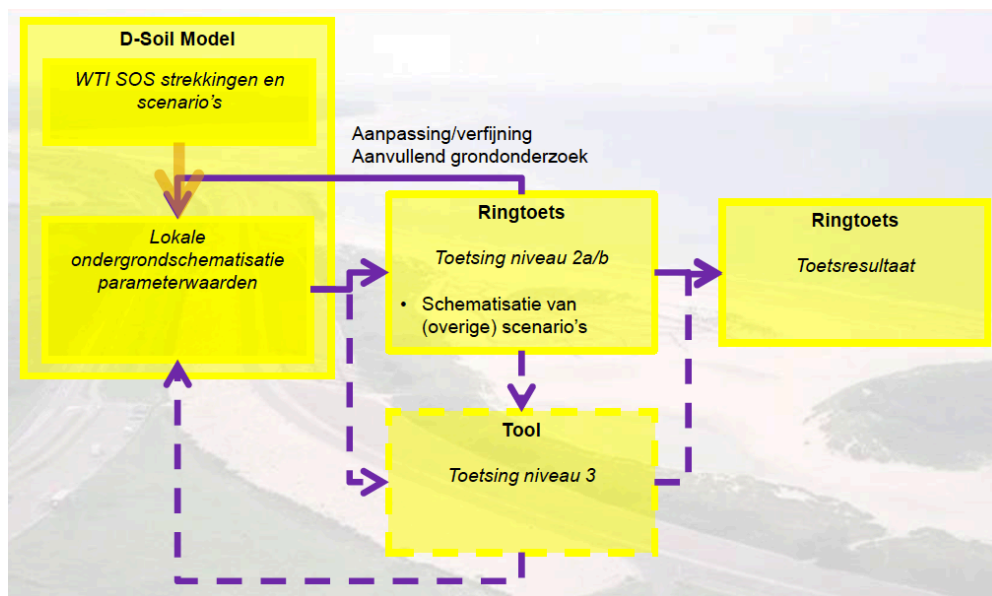
3.2 Voldoen de belasting en sterkte van het vak aan de eisen?

Voor de schematisering van de ondergrond kan D-Soil Model en WTI-SOS gebruikt worden (Rijkswaterstaat, z.d.-b). Om rekening te houden met onzekerheid over de opbouw van de ondergrond worden per doorsnede meerdere scenario's doorgerekend. In *Appendix B van Bijlage III Sterkte en veiligheid* (Rijkswaterstaat, z.d.-b) wordt dit toegelicht.

Wanneer geconcludeerd wordt dat het vak niet voldoet aan de eisen, dan kan geen oordeel worden geveld. Een van de onderstaande vier vervolgstappen kunnen dan genomen worden (Rijkswaterstaat, z.d.-a):

- Gedetailleerde toets per traject (Stap 4).
- Schematisering aanscherpen (Stap 3.2.2)
- Toets op maat (Stap 5).
- Beoordeling beëindigen.

Op pagina 16 van *Bijlage I Procedure* (Rijkswaterstaat, z.d.-a) staan de vervolgstappen toegelicht. In onderstaande Figuur 2.7 (Hijma, z.d.) zijn schematisch de stappen weergegeven voor het toetsproces.



Figuur 2.7. Toetsproces (Hijma, z.d., dia 30).

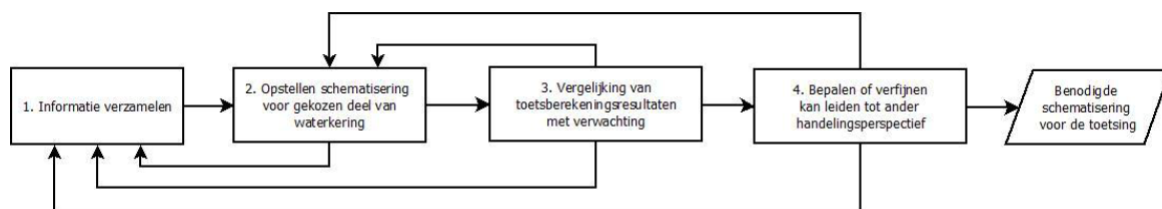
In D-Geo Stability:

3.2.1 Uitwendige geometrie

De schematisering voor een gekozen deel van een waterkering moet per toetsspoor uitgevoerd worden met behulp van de verzamelde informatie. In hoofdstuk 4 van *Bijlage III Sterkte en veiligheid* staan de onderstaande stappen beschreven voor de schematisatie (Rijkswaterstaat, 2016, p. 25 e.v.):

- “Stap 1: Verzamelen van voor het toetsspoor relevante informatie over de waterkering.
- Stap 2: Opstellen van een schematisering op basis van de verzamelde informatie over de waterkering.
- Stap 3: Vergelijken van de toetsresultaten met de verwachting.
- Stap 4: Bepalen of verfijnen van de schematisatie of de geschematiseerde eigenschappen nodig is”.

In Figuur 2.8 (Bruin, 2016) zijn de stappen voor schematisering weergegeven. In dit schema is te zien dat de schematisatie een iteratief proces is. Afhankelijk van het toetsresultaat kan besloten worden de schematisatie te verfijnen.



Figuur 2.8. Schema van schematiseringsproces (Bruin, 2016, p. 17).

Voor de controle op opdrijven moet het dwarsprofiel voldoende ver van de binnentoe van de waterkering doorlopen. Het is van belang dat gegevens die niet tot de geometrie van de waterkering behoren worden verwijderd uit het dwarsprofiel.

Op basis van bestekstekeningen, revisietekeningen, sonderingen en boringen moet de opbouw van de dijk worden geschematiseerd in D-Geo Stability.

De peildatum voor de beoordeling is 31 december 2022 (Rijkswaterstaat, z.d.-a). De beoordeling van de kering moet gebaseerd zijn op de verwachte toestand van de kering en het watersysteem op de peildatum. Een toelichting hierop staat beschreven in stap 1.1.

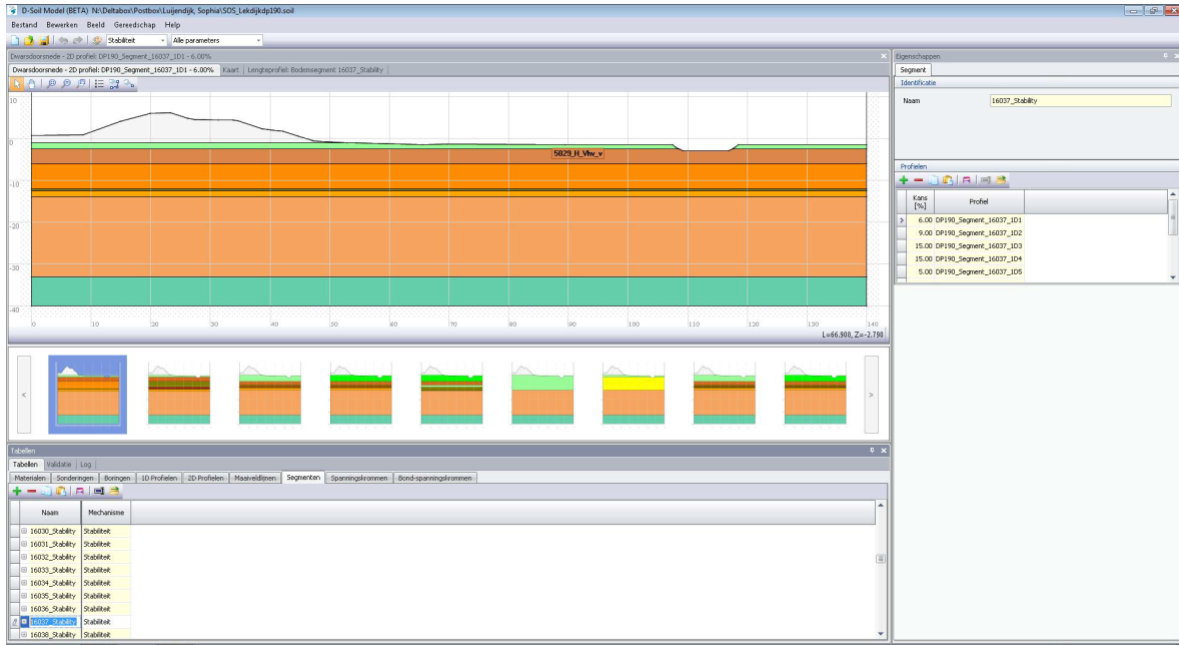
In WTI-SOS in D-Soil Model:

3.2.2 Opbouw van de ondergrond volgens WTI-SOS

De opbouw van de ondergrond wordt geschematiseerd in een Stochastische Ondergrond Schematisatie (WTI-SOS). WTI-SOS is een onderdeel van het programma D-Soil Model.

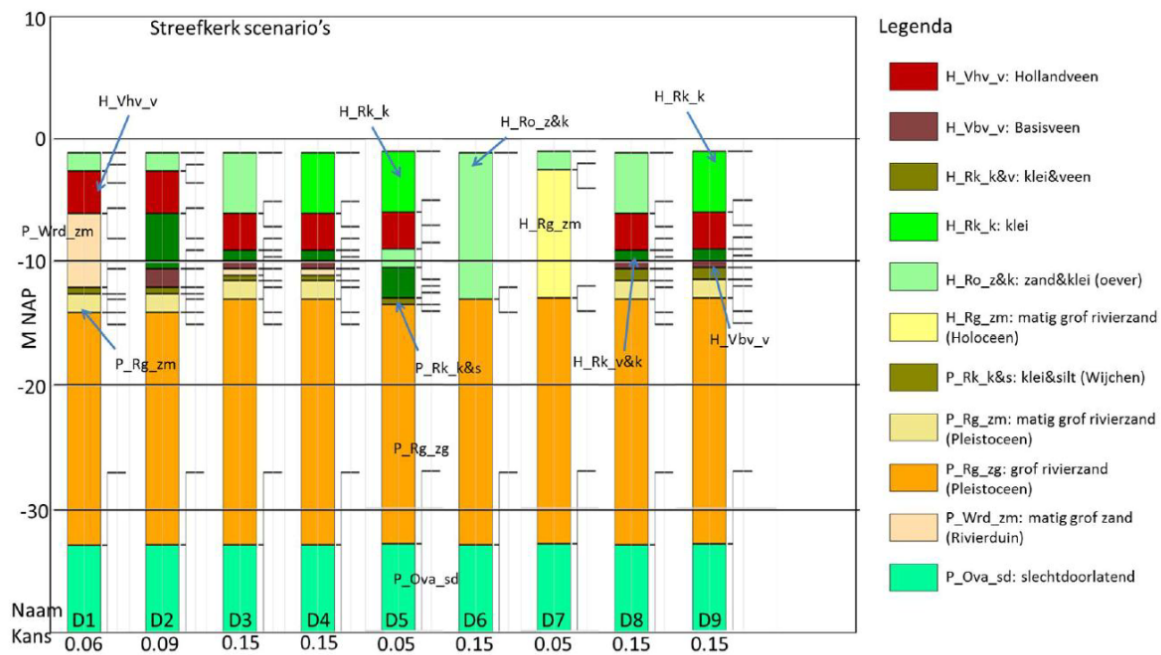
In WTI-SOS wordt variatie in de ondergrond meegenomen in scenario's met kans op voorkomen per scenario. Deze kans kan soms op basis van onderzoek bepaald worden, maar meestal is dit gebaseerd op een inschatting. WTI-SOS is toepassingsonafhankelijk, maar kan na lokale specificatie gebruikt worden voor het toetsen (Hijma, 2015) van de verschillende faalmechanismen.

De ondergrondscenario's worden in D-Soil Model weergegeven. In Figuur 2.9 (Rijkswaterstaat, 2016) is een weergave van ondergrondscenario's in D-Soil Model weergegeven. Om lokale schematisaties te genereren kunnen de segmenten in D-Soil Model worden bewerkt; segmenten kunnen worden opgeknipt, scenario's kunnen worden verwijderd of aangepast en scenariokansen kunnen worden aangepast (Drost, 2016).



Figuur 2.9. Weergave van D-Soil Model met ondergrondscenario's (Rijkswaterstaat, 2016, p. 72).

Na inventarisatie van de al beschikbare informatie moet een grondonderzoeksplan opgesteld worden en worden uitgevoerd. De laaieigenschappen van de verschillende lagen moeten worden vastgesteld. Het opzetten van grondonderzoek en schematiseren is een iteratief proces; de conclusie om nader grondonderzoek uit te voeren volgt uit onderkende onzekerheden over de ondergrondopbouw of waterspanningen tijdens het schematiseren (Rijkswaterstaat, 2016). Daarnaast hangt de beslissing tot extra grondonderzoek ook af van het effect van de onzekerheden in de analyse van de macrostabiliteit. Op basis van het grondonderzoek kunnen eventueel scenario's worden uitgesloten of worden verfijnd met sub-scenario's (Rijkswaterstaat, 2016). Daarnaast kan de kans op voorkomen van een scenario worden aangepast wanneer blijkt dat deze afwijkt van de waarde die het WTI-SOS aangeeft (Rijkswaterstaat, 2016). In Figuur 2.10 (Rijkswaterstaat, 2016) zijn gespecificeerde ondergrondscenario's met bijbehorende kans van voorkomen weergegeven.



Figuur 2.10. WTI-SOS ondergrondscenario's met bijbehorende kans van voorkomen (Rijkswaterstaat, 2016, p. 71).

Volgens de *Handleiding lokaal schematiseren met WTI-SOS* (Kruse, 2015) is de lengte van een afschuivend deel van de waterkering bij macro-instabiliteit tussen de 50 en 100 meter. In bijlage 3 *Geotechnische schematisatie* van dit document staat beschreven wat de eisen zijn voor de boringen en sonderingen. Voor meer informatie over de Stochastische Ondergrond Schematisatie kunnen de volgende documenten geraadpleegd worden:

- Globale Stochastische Ondergrond Schematisatie (WTI-SOS) voor de primaire waterkeringen (Hijma, 2015).
- WTI2017: Handleiding lokaal schematiseren met WTI-SOS (Kruse, 2015).
- Schematiseringshandleiding macrostabiliteit, WBI2017 (Rijkswaterstaat, 2016).

In D-Soil Model:

3.2.3 Schuifsterkte parameters

Voor het bepalen van de schuifsterkte parameters kan van grof naar fijn gewerkt worden. Het gaat hier om de volgende parameters:

- Ongedraineerde schuifsterkte ratio S
- Sterktetoename-exponent m
- Grensspanning σ'_{vy}

In paragraaf 4.4 en hoofdstuk 7 van de *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit* (Rijkswaterstaat, 2016) en in bijlage 3 *Geotechnische schematisatie* van dit document worden de onderstaande verfijningsstappen toegelicht.

Grondsoort	WTI-SOS eenheid	Typische waarden van $S [-]$ ¹⁾	Verwachtings-waarde $S [-]$	Standaard-afwijking $S [-]$ ²⁾	Variatie-coëfficiënt $S [-]$ ²⁾
Veen mineraalarm	H_Vhv_v	0,28 – 0,54	0,42	0,04	0,09
Verslagen veen / detritus	H_Vhv_v, H_Ml_ko	0,29 – 0,43	0,38	0,03	0,10
Veen kleiig	H_Rk_vk	0,24 – 0,38	0,29	0,03	0,12
Veen compact	H_Vbv_v	0,30 – 0,33	0,31	0,03	0,09
Gyttja	Diversen ⁶⁾	0,27 – 0,34	0,30	0,03	0,10
Klei venig / klei organisch	H_Mp_ko, H_Ml_ko H_Rr_o&z, H_Rk_k&v	0,16 – 0,38 ³⁾	0,29	0,06	0,20
Klei	H_Rk_ko H_Mp_k, H_Rk_k P_Mp_k, P_Om_k P_Ova_sd	0,22 – 0,28	0,25	0,03	0,10
Klei zandig en siltig ⁷⁾	H_Mr_kz, H_Mkw_z&k H_Ro_z&k, P_Rk_k&s P_Rbk_z&s	0,22 – 0,50	0,30	0,03	0,10
Löss ⁵⁾ ⁷⁾	P_Wls_s	0,30 – 0,50	0,35	0,04	0,10
Keileem ⁵⁾ ⁷⁾	P_Gkl_kz	0,30 – 0,50	0,40	0,06	0,15
Dijksmateriaal ⁴⁾ ⁷⁾	H_Aa_ht	0,23 – 0,50	0,31	0,06	0,20

¹⁾ De lage waarde kan als karakteristieke ondergrenswaarde worden toegepast.

²⁾ In de standaardafwijking en variatiecoëfficiënt is rekening gehouden met uitmiddeling van onzekerheid langs het schuifvlak, zodat deze waarden zonder verdere bewerking kunnen worden toegepast in D-Soil Model en Ringtoets.

³⁾ $S = 0,20$ mag als karakteristieke ondergrens worden toegepast, hoewel incidenteel lagere waarden kunnen worden aangetroffen.

⁴⁾ Voor dijksmateriaal boven het freatisch vlak wordt de hoek van inwendige wrijving toegepast.

⁵⁾ De waarden voor keileem en löss zijn indicatieve waarden op basis van literatuur.

⁶⁾ In bijlage C wordt toegelicht in welke SOS eenheden gyttja kan voorkomen.

⁷⁾ Kan sterk dilatant gedrag vertonen. Bij uitwerken van laboratoriumproeven schuifsterkte niet hoger nemen dan schuifsterkte op basis van de hoek van inwendige wrijving. Zie ook paragraaf 7.5.

Figuur 2.11. Normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkteratio S (waarden behorende bij ultimate state) met bijbehorende WTI-SOS eenheden (Rijkswaterstaat, 2016, p. 55).

Stap 1: Om 'grof' te beginnen kunnen eerst beschikbare standaardwaarden voor S en m gebruikt worden voor de stabiliteitsberekening met daarbij een standaardwaarde van de pre-overburden pressure POP . Voor standaardwaarden voor S zie Figuur 2.11 en voor bepalen van m paragraaf 7.7 in de *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit* (Rijkswaterstaat, 2016, p. 55, 56). Voor de standaardwaarden voor de POP zie tabel 7.3 van de *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit* (Rijkswaterstaat, 2016, p. 58). In Figuur 2.12 (Rijkswaterstaat, 2016) zijn de rekenwaarden van schuifsterkte parameters, gekoppeld aan WTI-SOS eenheden, weergegeven.

Met de POP wordt de grensspanning σ'_{vy} bepaald volgens de vergelijking:

$$\sigma'_{vy} = \sigma'_{vi} + POP$$

Hierin is σ'_{vi} de verticale effectieve terreinspanning onder normale gemiddelde omstandigheden.

SOS eenheid	Omschrijving	Volume-gewicht γ (kN/m ³)	Ongedraai- neerde schuif-sterkte ratio $S_d [-]$	Sterkte toename exponent m_d [-]	Pre overburden pressure POP_d [kPa]	Hoek van inwendige wrijving $\phi_d' [^\circ]$
H_vhv_v	Hollandveen	10,1	0,30	0,90	1	
H_vbv_v	Basisveen	11,0	0,27	0,90	15	
H_Rk_k	Klei ondiep	14,8	0,23	0,90	15	
H_Rk_k	Klei diep	15,6	0,23	0,90	8	
H_Rk_ko	Organische klei	13,9	0,24	0,85	8	
H_Ro_z&k	Zand en klei (oever)	18,0	0,22	0,90	15/8	
P_Rk_k&s	Klei en silt (Wijchen)	18,0	0,22	0,90	10	
Diversen	Zand	20,0				30
H_Aa_ht	Dijksmateriaal oud ⁽¹⁾	18,0	0,26	0,90	7	30
H_Aa_ht	Dijksmateriaal nieuw ⁽¹⁾	19,3	0,26	0,90	7	30
1	Bij dijksmateriaal is boven het freatisch vlak de hoek van inwendige wrijving toegepast.					

Figuur 2.12. Rekenwaarden van aan WTI-SOS eenheden gekoppelde schuifsterkte parameters (Rijkswaterstaat, 2016, p. 73).

Stap 2: Nadat blijkt dat deze standaardwaarden niet tot een bevredigend resultaat van de stabiliteitsberekening leidt, kan een verfijning worden uitgevoerd. Dit kan door de grensspanning uit beschikbare sonderingen, met conservatieve correlaties, te bepalen (Rijkswaterstaat, 2016). De grensspanning kan dan berekend worden uit meten van de schuifsterkte. Met de sondeerweerstand kan de ongedraineerde schuifsterkte s_u berekend worden volgens de vergelijking (Rijkswaterstaat, 2016):

$$s_u = q_{net} / N_{kt}$$

Hierin is:

- N_{kt} : de empirisch bepaalde conusfactor [-].
- q_{net} : de voor waterspanningseffecten en totaalspanning gecorrigeerde sondeerweerstand van de piëzoconus [kN/m^2].

De grensspanning kan vervolgens berekend worden volgens de vergelijking:

$$\sigma'_{vy} = \sigma'_{vi} \cdot \text{OCR}$$

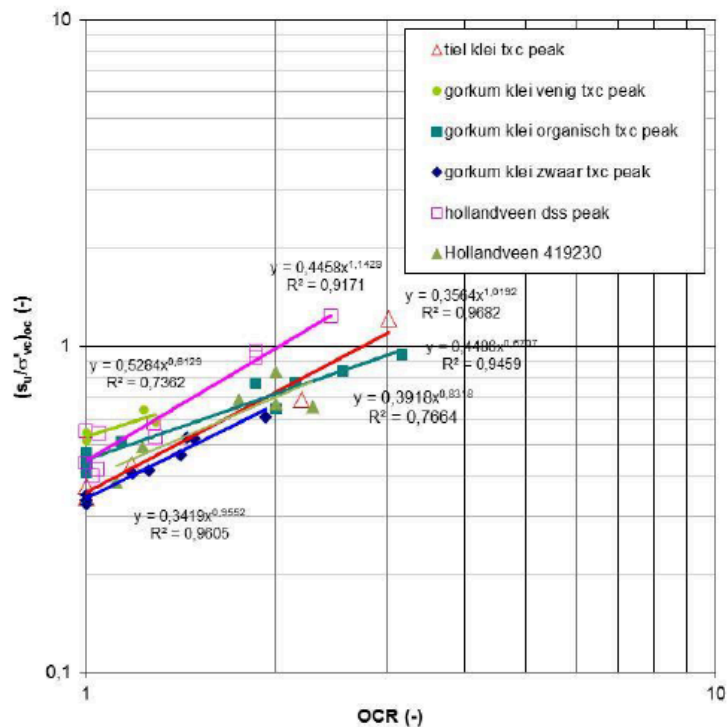
Waarbij:

$$\text{OCR} = (s_u / (\sigma'_{vi} \cdot S))^{1/M}$$

Hierin is:

- OCR: de overconsolidatieratio [-].
- s_u : de ongedraineerde schuifsterkte afgeleid uit de sondeerweerstand [kN/m^2].
- σ'_{vi} : de in situ effectieve verticale spanning [kN/m^2].
- S: de normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio [-].
- M: de sterkte toename exponent [-].
- σ'_{vy} : de grensspanning [kN/m^2].

In Figuur 2.13 (Rijkswaterstaat, 2016) is de relatie tussen de ongedraineerde schuifsterkteratio en de OCR weergegeven.



Figuur 2.13. Relatie tussen de ongedraineerde schuifsterkteratio en de overconsolidatieratio (Rijkswaterstaat, 2016, p. 56).

De standaardafwijking van de grensspanning is (Rijkswaterstaat, 2016):

$$0,21 \cdot \sigma'_{vy, \text{gem}}$$

Hierin is:

$\sigma'_{vy, \text{gem}}$: de verwachtingswaarde van de grensspanning”.

Hiervoor moeten twee raaien van sonderingen gemaakt worden, waarvan één raai binnendijs ligt en de andere raai in de kruin van de waterkering (Rijkswaterstaat, 2016). Een andere, minder efficiënte, aanpak is de grensspanning uit samendrukkingsproeven te bepalen. Hiervoor zijn ongeroerde monsters nodig (Rijkswaterstaat, 2016). De stabiliteitsberekening wordt dan herhaald met de in deze stap bepaalde nieuwe waarde van de grensspanning.

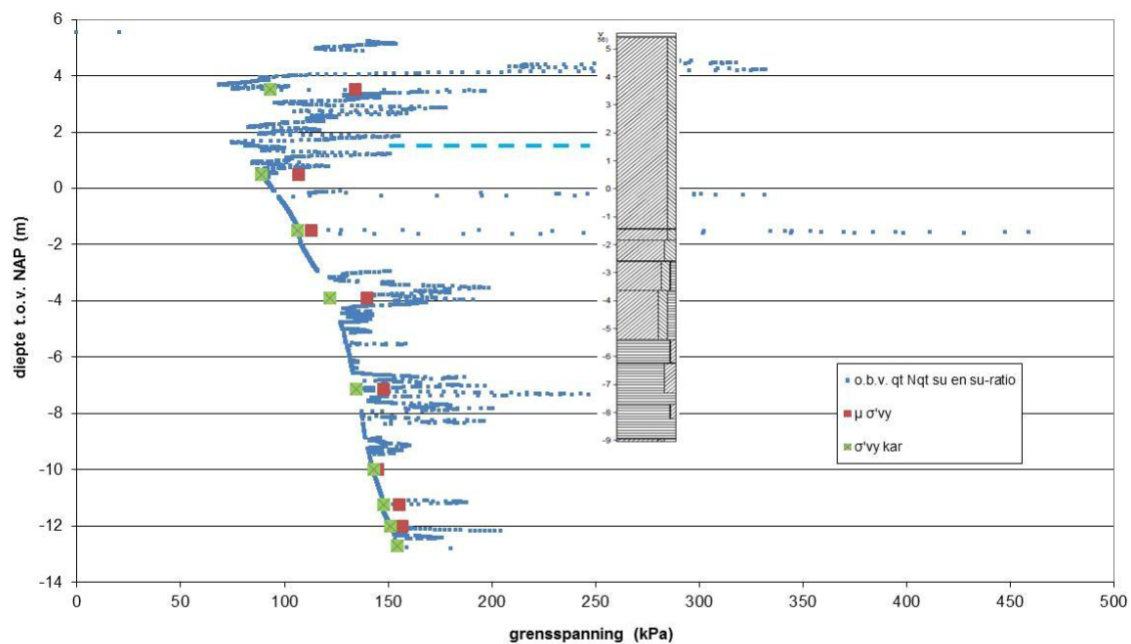
In de *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit* (Rijkswaterstaat, 2016, p. 59) staat de volgende toelichting op deze stap:

“Het is van belang de op deze wijze bepaalde waarde van de grensspanning op enkele locaties te verifiëren met direct bepaalde waarden van de grensspanning uit samendrukkingsproeven of constant rate of strain proeven. Door deze controle ontstaat een samenhangende consistente set van parameterwaarden voor de grensspanning σ'_{vy} , ongedraineerde schuifsterkte s_u , normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio S , sterkte toename exponent m en conusfactor N_{kt} ”.

Stap 3: Indien dit nog niet voldoende blijkt, kunnen de waarden van de parameters verfijnd worden door veld- en laboratoriumonderzoek en specifieke correlaties. Dit kan bestaan uit (Rijkswaterstaat, 2016):

- Boringen.
- Sonderingen met meting van de waterspanning.
- Triaxiaalproeven op klei.
- Direct simple shear proeven op veen.
- Samendrukkingsproeven.

Uit deze onderzoeken worden de schuifsterkteratio en sterketoeename-exponent bepaald. Verder worden op de onderzoekslocaties correlaties opgesteld tussen de laboratoriumresultaten en de sondeerweerstand (Rijkswaterstaat, 2016). Waar dezelfde geologische eenheden voorkomen als in de laboratoriumresultaten kan met een sondering de lokale ongedraineerde schuifsterkte bepaald worden (Rijkswaterstaat, 2016). Uit deze gegevens wordt de lokale waarde van de grensspanning bepaald. In Figuur 2.14 (Rijkswaterstaat, 2016) is te zien hoe waarden voor de grensspanning bepaald zijn op basis van de sondeerweerstand. Per grondlaag zijn hierin de berekende verwachtingswaarde (rode blokjes) en karakteristieke waarde (groene blokjes) voor de grensspanning weergegeven (Rijkswaterstaat, 2016). Deze lokaal bepaalde grensspanning en de generieke parameters S en m worden in de stabiliteitsberekening toegepast (Rijkswaterstaat, 2016).



Figuur 2.14. Waarden voor de grensspanning op basis van de sondeerweerstand (Rijkswaterstaat, 2016, p. 84).

In *Bijlage H* en *I* van de *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit* (Rijkswaterstaat, 2016) en bijlage 3 *Geotechnische schematisatie* van dit document worden deze veld- en laboratoriumonderzoeken beschreven.

3.2.4 Toekennen parameters per WTI-SOS eenheid

Alle eenheden van de ondergrond schematisatie moeten een waarde toegekend krijgen. Dit wordt uitgevoerd in D-Soil Model. Na uitvoeren van deze stap moet de ondergrond schematisatie ingelezen worden in RisKeer. Per grondlaag of WTI-SOS eenheid worden aan de volgende parameters een waarde toegekend:

- Volumiek gewicht γ .
- Hoek van inwendige wrijving voor de goed doorlatende lagen φ' .
- Ongedraineerde schuifsterkte ratio S .
- Sterktetoename-exponent m .
- Grensspanning σ'_{vy} .

Voor het volumiek gewicht worden bij voorkeur lokale waarden gebruikt in plaats van waarden uit regionale proefverzameling gegevens. Per parameter moet de verwachtingswaarde, de standaardafwijking, het type verdeling en het aantal metingen in D-Soil Model worden ingevoerd. In bijlage 3 *Geotechnische schematisatie* van dit document en de *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit* (Rijkswaterstaat, 2016, hfd.7) staan de parameters beschreven en toegelicht.

De parameters φ' , S en m zijn gelijk voor een heel dijktraject (Rijkswaterstaat, 2016).

Minimaal twee verticalen met waarden van de grensspanning moeten worden bepaald. Hiervan moet één in de kruin van de dijk en moet één in het achterland van de dijk bepaald worden. Indien bebouwing of een berm aanwezig is, moet ook nog een verticaal op het erf of in de berm worden bepaald. In de verticalen moet voor alle grondlagen een waarde van de grensspanning gegeven worden.

In Waternet Creator in RisKeer:

3.2.5 Hydraulische randvoorwaarden en schematisering waterspanningen

Voor macrostabiliteit binnenwaarts relevante hydraulische belastingen zijn (Rijkswaterstaat, 2016):

- Waterstand bij de norm.
- Waterstandsverlooplijnen.
- Overslagdebiet bij de norm. Max 1 l/s/m.

Het waterstandsverloop is het verloop van de buitenwaterstand in de loop van de tijd. Zie voor bepalen van de waterstandsverlooplijn paragraaf 7.15 van de *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit* (Rijkswaterstaat, 2016)

Verschillende scenario's leiden tot een verschillende schematisering van de waterspanning in de ondergrond. Ook voor de schematisering van de waterspanning kunnen scenario's die niet in WTI-SOS staan relevant zijn (Rijkswaterstaat, 2016). In de *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit* (Rijkswaterstaat, 2016, p. 41-42) staat hierover het volgende:

- “Een scenario behelst één opbouw van de ondergrond die in het hele dwarsprofiel verondersteld wordt aanwezig te zijn. De opbouw van de ondergrond kan echter onder de dijk of buitendijks anders zijn dan binnendijks. Wanneer wordt uitgegaan van een scenario met een slecht doorlatende deklaag binnendijks kan het onzeker zijn of deze deklaag ook in het voorland aanwezig is. Dit heeft betekenis voor de lek lengte in het voorland en daarmee voor het niveau van de stijghoogte in de watervoerende zandlaag binnendijks. Dit leidt tot

twee subscenario's met en zonder deklaag in het voorland waarbij de Waternet Creator voor beide gevallen de stijghoogte berekent.

- Ook de onzekerheid over de opbouw van het dijklichaam kan consequenties hebben voor de schematisering van de waterspanningen. Uit de legger, het beheerregister of een bestek van een dijkversterking kan blijken dat er een drainage in de binnenteen van de waterkering aanwezig is. Dit heeft consequenties voor de hoogte van het freatisch vlak. Als er twijfel is over de werking van de drainage, kunnen twee subscenario's worden gedefinieerd: 'drainage werkt' en 'drainage werkt niet'.
- Er kan onzekerheid zijn over de aanwezigheid van een oude kleidijk binnen een later aangelegde zanddijk. Deze onzekerheid heeft invloed op de keuzes bij de schematisering van het freatisch vlak. Ook hiervoor kunnen subscenario's worden gedefinieerd.
- Er kan onzekerheid zijn over de diepte van een cunet onder een dijk en of er contact is tussen het cunet en een watervoerende zandlaag. Dit heeft ook consequenties voor de schematisering van de waterspanningen.
- Het is ook denkbaar dat tijdens hoog buitenwater met veel kwel een polderpeil niet kan worden gehandhaafd. Dit leidt tot een hoger freatisch vlak binnendijs. Ook hiervoor kan een subscenario met een kans van voorkomen worden opgesteld".

De waterspanningen worden geschematiseerd in de Waternet Creator in RisKeer. Dit staat beschreven in de *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit* (Rijkswaterstaat, 2016, paragraaf 5.6). In de Waternet Creator worden voor de ondergrond vier typen onderscheiden. Dit zijn een zanddijk op een cohesieve ondergrond, een zanddijk op een zandondergrond, een kleidijk op een cohesieve ondergrond en een kleidijk op een zandondergrond (Rijkswaterstaat, 2016). Het type dijk moet aangegeven worden in RisKeer.

3.2.6 Invoeren parameters in Waternet Creator

De Waternet Creator is een onderdeel van RisKeer. De volgende gegevens moeten ingevoerd worden in de Waternet Creator (Rijkswaterstaat, 2016):

- Dijktype: zanddijk op cohesieve ondergrond, zanddijk op zandondergrond, kleidijk op cohesieve ondergrond of kleidijk op zandondergrond.
- Waterstand bij de norm (NAP). Wordt bepaald met RisKeer.
- Gemiddelde waterstand (NAP). Zie Bijlage II Voorschriften bepaling hydraulische belasting primaire waterkeringen (Rijkswaterstaat, z.d.-c)
- Polderpeil (NAP).
- Leklengte (m).
- Indringingslengte (m).
- Het freatisch vlak ter plaatse van de buitenkruin, de binnenkruin, de binnenteen en eventueel bij de schouder van een eventueel aanwezige berm.

De beschrijving van bovenstaande parameters staan in paragraaf 3.5 van *Bijlage II Voorschriften bepalen hydraulische belasting primaire waterkeringen* (Rijkswaterstaat, z.d.-c, p. 22 e.v.) en in hoofdstuk 7 van de *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit* (Rijkswaterstaat, 2016).

De Waternet Creator creëert de volgende gegevens voor invoer in RisKeer (Rijkswaterstaat, 2016):

- Stijghoogte watervoerende zandlagen.
- Verloop van de stijghoogte afhankelijk van de diepte.
- Ligging van het freatisch vlak.

In de *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit* (Rijkswaterstaat, 2016, p. 63) staat de volgende toelichting op de te gebruiken gegevensinvoer voor de Waternet Creator:

“Wanneer metingen of andere gegevens beschikbaar zijn op basis waarvan de stijghoogte in een watervoerende zandlaag onder normale omstandigheden kan worden bepaald, is het nog nodig om een vertaalslag (extrapolatie) te maken naar de situatie met (extreem) hoge buitenwaterstanden. Uit de metingen dienen daarvoor waarden voor de indringingslengte en de leklengte te worden afgeleid als invoer voor de Waternet Creator. Hierbij is het gebruik van een grondwaterstromingsmodel noodzakelijk.

Voor analyse van de macrostabiliteit van het binnentalud kan het tijdsafhankelijke karakter van de grondwaterstroming in rekening worden gebracht. Hierbij kan als modelinvoer gebruik worden gemaakt van het waterstandsverloop bij maatgevende belasting. Vooral langs de kust, bij meren, en in het benedenrivierengebied kan dit van grote invloed op de berekende stabiliteit zijn. Dit kan voor de stijghoogte in de watervoerende zandlaag door de waarde van de leklengte aan te passen aan de tijdsduur van het hoog water. De werkwijze hiervoor is beschreven in het Technisch Rapport Waterspanning bij dijken ([15], Bijlage 3 en 4). Voor het freatisch vlak kan het tijdsafhankelijke effect in rekening worden gebracht volgens Bijlage b1.3.3 van [15]. Bijlage b4.3 van [15] kan worden toegepast om het tijdsafhankelijke effect in rekening te brengen bij de indringingslengte”.

Voor het bepalen van de leklengte en de indringingslengte is een grondwaterstromingsmodel nodig (Rijkswaterstaat, 2016). Voor het in rekening brengen van het tijdsafhankelijke karakter van de grondwaterstroming bij maatgevende belasting moet het *Technisch rapport waterspanningen* geraadpleegd worden (Barends, 2004). Hierin moet voor aanpassing van de leklengte Bijlage 3 en 4, voor aanpassing van het freatische vlak *Bijlage b1.3.3* en voor aanpassing van de indringingslengte *Bijlage b4.3* geraadpleegd worden (Barends, 2004).

Voor het toetsen van de macrostabiliteit binnenwaarts is de belastingduur af te leiden uit de waterstandsverlopen. Deze waterstandsverlopen zijn van invloed op de ontwikkeling van de waterspanningen in de watervoerende lagen onder en achter de dijk (Rijkswaterstaat, 2016). De waterstandsverlopen kunnen worden afgelezen uit de software ‘Waterstandsverloop’ versie 2.0 (Rijkswaterstaat, z.d.-c). Hiermee kunnen eenvoudige waterstandsverlopen voor een bepaalde locatie opgevraagd en geëxporteerd worden. Deze geeft voor de locatie de tijdsafhankelijke waterstand weer tijdens een hoogwatergolf met de waterstand volgens de norm (Rijkswaterstaat, 2016). De waterstandsverlooptlijnen worden gebruikt voor het bepalen van het freatisch vlak, de leklengte en de indringingslengte (Rijkswaterstaat, 2016). De handleiding voor deze software is de *Fenomenologische beschrijving faalmechanismen WBI* (Rijkswaterstaat, 9-2016).

Freatisch vlak

Waternet Creator berekent het freatisch vlak, extreme neerslag wordt niet meegenomen. Wanneer de dijk niet tot een van de vier standaard dijktypen behoort moet een toets op maat uitgevoerd worden. Dit geldt niet voor een dijk met een drainage constructie in de binnenteeën. Hiermee kan wel in de Waternet Creator rekening worden gehouden. Zie voor meer informatie over de freatische lijn paragraaf 7.9 van de *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit* (Rijkswaterstaat, 2016, p. 61).

In de berekening voor macrostabiliteit binnenwaarts wordt geen rekening gehouden met kortdurende wind en scheepsgolven. Bij het schematiseren van de waterspanningen moet wel rekening gehouden worden met golfoverslagdebieten, omdat deze zorgen voor een verhoging van het freatische vlak in de waterkering (Rijkswaterstaat, 2016). In deze toets wordt maximaal met een overslagdebiet van 1 l/s/m gerekend. Wanneer de overslagdebieten groter zijn dan 1 l/s/m moet de macrostabiliteit in een toets op maat worden getoetst (Rijkswaterstaat, 2016). Het overslagdebiet moet bepaald worden na de gedetailleerde toets van *Gras erosie binnentalud* (Rijkswaterstaat, 2016)

Parameters watervoerende zandlaag:

- Waterspanning
Wordt berekend in RisKeer. Zie paragraaf 7.10 van de *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit* (Rijkswaterstaat, 2016) voor een toelichting.
- Leklengte
Wordt bepaal uit stijghoogtemetingen in de watervoerende zandlaag. Zie paragraaf 7.12 van de *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit* (Rijkswaterstaat, 2016) voor een toelichting.
- Indringingslengte
De indringingslengte is in RisKeer een stochastische parameter met een verwachtingswaarde en een standaardafwijking. Zie paragraaf 7.13 van de *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit* (Rijkswaterstaat, 2016) voor een toelichting.

3.2.7 Bepalen faalkanseis per doorsnede

In RisKeer wordt de faalkanseis voor het dijkvak of dwarsprofiel bepaald (Rijkswaterstaat, 2016). Hieronder wordt beschreven hoe de faalkanseis berekend kan worden.

De faalkanseis per traject voor een toetsspoor is:

$$\omega \cdot P_{eis} \quad (\text{Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 16})$$

Hierin is P_{eis} de norm van het dijktraject (1/jaar). De faalkansruimtefactor ω voor STBI voor dijken is 0,04 en voor zandige kust (duinen) is ω voor STBI 0,0 (Rijkswaterstaat, z.d.-b, tabel 2-2, p. 16). In Figuur 2.15 (Rijkswaterstaat, z.d.-b) is tabel 2-2 met de faalkansruimtefactoren weergegeven.

Toetsspoor	Duinen	Dijken en dammen
Hoogte kunstwerk (HTKW) of ¹ Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB)	0	0,24
Piping (STPH)	0	0,24
Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI)	0	0,04
Gras Erosie Buitentalud (GEBU)	0	0,05
Overige bekledingen buitentalud	0	0,05
Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk (BSKW)	0	0,04
Piping bij kunstwerk (PKW)	0	0,02
Sterkte en stabiliteit kunstwerk (STKWp)	0	0,02
Duinafslag (DA)	0,70	0
Overige toetssporen	0,30	0,30

¹Een vak bestaat uit een kunstwerk of grasbekleding

Figuur 2.15. Faalkansruimtefactoren voor de gedetailleerde toets per vak (Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 16).

De faalkanseis per vak (doorsnede) voor een toetsspoor is:

$$P_{\text{eis:dsn}} = (\omega \cdot P_{\text{eis}}) / N_{\text{dsn}} \quad (\text{Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 16})$$

Hierin is N_{dsn} De lengte-effect factor voor een doorsnede. De manier waarop N_{dsn} wordt bepaald staat beschreven in de *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit* (Rijkswaterstaat, 2016, p. 31). Het lengte effect is afhankelijk van de variabiliteit van een dijktraject.

De formule voor de lengte-effect factor (N_{dsn}) voor macrostabiliteit binnenwaarts is:

$$N_{\text{dsn}} = 1 + ((a_1 \cdot L_{\text{traject}}) / b_1) \quad (\text{Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 31})$$

Hierin is:

- a_1 Mechanismegevoelige fractie van de trajectlengte van de dijk (-).
- L_{traject} Lengte van het dijktraject (m).
- b_1 Lengtemaat die de intensiteit van het lengte-effect weergeeft in de mechanismegevoelige lengte van het traject (m).

De lengte van het dijktraject L_{traject} is te vinden in *Bijlage II Normen voor dijktrajecten* van de *Waterwet* (Overheid.nl, 2009). De waarden van a_1 en b_1 zijn te vinden in de *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit* (Rijkswaterstaat, 2016) en de *Voorschrift Toetsen op Veiligheid, Technisch Deel* (Bruin, 2016, p. 12). In Figuur 2.16 (Rijkswaterstaat, 2017) is de tabel met waarden voor a_1 en b_1 weergegeven. Voor macrostabiliteit binnenwaarts gelden de volgende waarden voor a_1 en b_1 (Bruin, 2016):

- $a_1 = 0,033$
- $b_1 = 50 \text{ m}$

Faalmechanisme	Watersysteem	Parameter a [-] <i>fractie van de lengte gevoelig voor faalmechanisme</i>	Parameter b [m] <i>lengte van onafhankelijke, equivalente vakken</i>
Piping	Bovenrivieren	0,90	300
	Overig	0,40	300
Macrostabieliteit	Alle systemen	0,033	50

Figuur 2.16. Waarden van a en b voor het bepalen van de faalkansen voor macrostabieliteit binnenwaarts (Rijkswaterstaat, 2017, p. 13).

3.2.8 Uitvoeren glijvlakanalyses

Voor het berekenen van de binnenwaartse stabiliteit (= de sterkte) wordt voor de glijvlakanalyse de methode LiftVan gebruikt. Voor de glijvlakanalyse volgens deze methode is de stand-alone software D-Geo Stability beschikbaar. In RisKeer moet aangegeven worden in welk zoekgebied het intredepunt van een relevant schuifvlak kan liggen. RisKeer bepaalt na invoer van deze karakteristieke punten de ligging van de middelpunten en raaklijnen, waarmee de glijvlakanalyse wordt uitgevoerd (Rijkswaterstaat, 2016, p. 23).

In de semi-probabilistische analyse van de macrostabieliteit binnenwaarts worden de rekenwaarden van de schuifsterkteparameters van de grondlagen toegepast (Rijkswaterstaat, 2016). In Figuur 2.12 (Rijkswaterstaat, 2016) zijn voor bepaalde WTI-SOS eenheden de rekenwaarden voor schuifsterkteparameters weergegeven. In RisKeer wordt per scenario een stabiliteitsfactor berekend. De hiervoor benodigde materiaalfactoren zijn in RisKeer vastgelegd en de karakteristieke waarden worden in RisKeer berekend (Rijkswaterstaat, 2016). In Figuur 2.17 (Rijkswaterstaat, 2016) zijn de in waarden van de in RisKeer weergegeven materiaalfactoren weergegeven. RisKeer vertaalt de stabiliteitsfactor naar een faalkans (Rijkswaterstaat, 2016).

Parameter	Materiaalfactor (-)
Ongedraineerde schuifsterkte ratio S (-)	1,0
Sterkte toename exponent m (-)	1,0
Grensspanning σ'_{vy} (kPa)	1,0
Ongedraineerde schuifsterkte s_u (kPa)	1,0
Hoek van inwendige wrijving ϕ ($^\circ$)	1,0

Figuur 2.17. Materiaalfactoren in RisKeer (Rijkswaterstaat, 2016, p. 19).

De uitgangspunten voor de keuze tussen gebruik van de ongedraineerde of de gedraineerde schuifsterkte voor de gedetailleerde toets bij alle belastingen door hoog water zijn (Rijkswaterstaat, 2016):

Ongedraineerde schuifsterkte bij:

- Licht overgeconsolideerde klei.
- Organische klei.
- Veen ($OCR < 3$).
- Dijkmateriaal (beneden het freatisch vlak).
- Grondsoorten die hoofdzakelijk kleiig zijn (klei met zandlaagjes en zandige klei).

- Voor de sterk overgeconsolideerde grondlaag, wanneer een sterk overgeconsolideerde en een slecht doorlatende grondlaag (pleistoceen) onder licht overgeconsolideerde en slecht doorlatende grondlagen (holoceen) voorkomt.

Gedraineerde schuifsterkte bij:

- Voor grondsoorten die hoofdzakelijk zandig zijn (schoon zand en zand met dunne kleilaagjes).
- Dijksmateriaal, wanneer dit hoofdzakelijk zandig is.
- Sterk overgeconsolideerde grond ($OCR > 3$ à 4).
- Sterk dilaterende grond.

Voor een toelichting op deze keuze zie bijlage 3 *Geotechnische schematisatie* van dit document en de *Schematiseringhandleiding macrostabiliteit* (Rijkswaterstaat, 2016, p. 108).

Met een stabiliteitsanalyse volgens de semi-probabilistische werkwijze wordt in RisKeer een stabiliteitsfactor berekend. In deze semi-probabilistische stabiliteitsanalyse per dijkvak wordt een stabiliteitsfactor voor een dijkprofiel berekend op basis van rekenwaarden (karakteristieke waarden gedeeld door een materiaalfactor) van de invoerparameters.

3.2.9 Bepalen schadefactor

Voor correctie van de stabiliteitsfactor moet een schadefactor γ_n berekend worden. Met de schadefactor wordt het effect van de overstromingskansnorm en het lengte-effect in rekening gebracht (Rijkswaterstaat, 2017). Voor het CSSM materiaalmodel wordt de schadefactor met de volgende formules berekend (Rijkswaterstaat, 2017):

$$\beta_{\text{eis,dsn}} = -\Phi^{-1}(P_{\text{eis,dsn}}) \quad (\text{Rijkswaterstaat, 2017, p. 34})$$

Hierin is:

$\beta_{\text{eis,dsn}}$ Betrouwbaarheidsindex voor de doorsnede (-).

Φ Standaard (cumulatieve) normale verdeling (-)

$P_{\text{eis,dsn}}$ Faalkanseis macrostabiliteit per doorsnede (per jaar).

$$\gamma_n = 0,15 \cdot \beta_{\text{eis,dsn}} + 0,41 \quad (\text{Rijkswaterstaat, 2017, p. 34})$$

Hierin is:

γ_n Schadefactor voor macrostabiliteit (-)

In de handreiking ontwerpen met overstromingskansen zijn ook de formules voor de berekening van de schadefactor voor het Mohr-Coulomb model weergegeven (Rijkswaterstaat, 2017, p. 34). In Figuur 2.18 (Rijkswaterstaat, 2017) is een overzicht weergegeven van te raadplegen documenten over de partiële veiligheidsfactoren voor het Mohr-Coulomb en CSSM model.

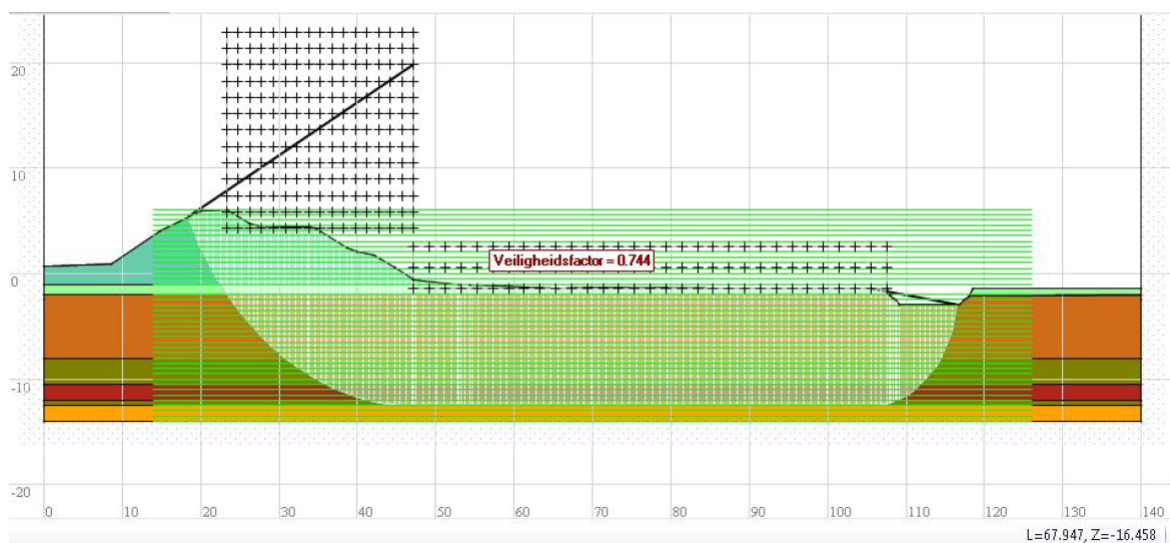
Partiële veiligheidsfactor	Mohr-Coulomb	CSSM
γ_n schadefactor	cf. Addendum TRWG [ENW, 2007] (Formule 5.3)	cf. WBI2017 (Formule 5.4)
γ_d modelfactor	cf. OI2014 versie 4 Tabel 7	cf. WBI2017 (Tabel 8)
γ_m materiaalfactor	cf. Addendum TRWG [ENW, 2007] (Bijlage C)	cf. WBI2017 (alle materiaalfactoren waarde 1,0)
γ_b schematisering-factor	cf. TRGS [ENW, 2012]	cf. WBI2017 en TRGS [ENW, 2012] met aanpassingen

Figuur 2.18. Overzicht van te raadplegen documenten voor informatie over de partiële veiligheidsfactoren voor het Mohr-Coulomb en CSSM model (Rijkswaterstaat, 2017, p. 34).

In *Bijlage A* van de *Handreiking ontwerpen met overstromingskans* (Rijkswaterstaat, 2017) staan gegevens over de dijktrajecten, waaronder de lengte van het dijktraject, de maximaal toelaatbare faalkans, de betrouwbaarheidsindex en de schadefactor.

3.2.10 Berekeningsresultaten/ analyse uitkomst glijvlakanalyse

Uit RisKeer worden voor elk scenario de maatgevende schuifvlakken en stabiliteitsfactoren berekend. Het schuifvlak met de laagst berekende stabiliteitsfactor $F_{d,i}$ is het meest kritische schuifvlak. In *Figuur 2.19* (Rijkswaterstaat, 2016) is een resultaat van een LiftVan glijvlakanalyse weergegeven met bijbehorende stabiliteitsfactor. Alle berekende stabiliteitsfactoren moeten omgerekend worden naar een faalkans per scenario volgens de onderstaande methode zoals beschreven in paragraaf 5.2 van *Bijlage III Sterkte en veiligheid* (Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 31).



Figuur 2.19. Berekend schuifvlak met bijbehorende veiligheidsfactor (= stabiliteitsfactor) (Rijkswaterstaat, 2016, p. 78).

Voor het bepalen van de faalkans van een scenario (Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 36):

$$P_{f,i} = \Phi \left(-\frac{\left(\frac{F_{d,i}}{\gamma_d} \right) - 0,41}{0,15} \right)$$

Hierin is:

- $P_{f,i}$: Faalkans van scenario i (1/jaar).
- Φ : Standaard (cumulatieve) normale verdeling (-).
- $F_{d,i}$: Berekende stabiliteitsfactor voor scenario i (-).
- γ_d : Modelfactor (-).

De faalkansen van alle scenario's moeten elk vermenigvuldigd worden met de bijbehorende kans van voorkomen van een scenario (uit WTI-SOS). Deze producten moeten bij elkaar opgeteld worden om tot een faalkans voor de doorsnede $P_{f,dsn}$ (1/jaar) te komen. In Figuur 2.20 (Rijkswaterstaat, 2016) is een tabel weergegeven met daarin de stabiliteitsfactor en de berekende faalkans per scenario en de faalkans per doorsnede.

Hieronder is in formulevorm het bepalen van de faalkans van de doorsnede weergegeven (Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 36):

$$P_{f,dsn} = \sum_{i=1}^n (P(S_i) \cdot P_{f,i})$$

Hierin is:

- $P_{f,dsn}$: Faalkans per doorsnede (1/jaar).
- $P(S_i)$: Kans van voorkomen van scenario i (-).
- $P_{f,i}$: Faalkans van scenario i (1/jaar).

Scenario	Stabiliteits-factor berekend $F_{d,i}$ [-]	Stabiliteits-factor correctie $F_{d,i}/\gamma_d$ [-]	Betrouw-baarheids-Index bij scenario β_i [-]	Faalkans bij scenario $P_{f,i}$ [1/jaar]	Kans van voorkomen scenario $P(S_i)$ [-]	Faalkans gegeven scenario $P_{f,i} S_i$ [1/jaar]
D1	0,976	0,91	3,35	$4,07 \cdot 10^{-4}$	0,06	$2,44 \cdot 10^{-5}$
D2	0,744	0,70	1,90	$2,86 \cdot 10^{-2}$	0,09	$2,57 \cdot 10^{-3}$
D3	0,854	0,80	2,59	$4,83 \cdot 10^{-3}$	0,15	$7,25 \cdot 10^{-4}$
D4	0,946	0,88	3,16	$7,87 \cdot 10^{-4}$	0,15	$1,18 \cdot 10^{-4}$
D5	0,938	0,88	3,11	$9,33 \cdot 10^{-4}$	0,05	$4,66 \cdot 10^{-5}$
D6	0,835	0,78	2,47	$6,77 \cdot 10^{-3}$	0,15	$1,02 \cdot 10^{-3}$
D7	1,168	1,09	4,54	$2,76 \cdot 10^{-6}$	0,05	$1,38 \cdot 10^{-7}$
D8	0,842	0,79	2,51	$5,99 \cdot 10^{-3}$	0,15	$8,98 \cdot 10^{-4}$
D9	0,946	0,88	3,16	$7,87 \cdot 10^{-4}$	0,15	$1,18 \cdot 10^{-4}$
Faalkans doorsnede $P_{f,dsn}$ [1/jaar]						$5,52 \cdot 10^{-3}$

γ_d is de modelfactor 1,06.

Figuur 2.20. Voorbeeld van tabel met berekende stabiliteitsfactoren en faalkansen per scenario en de faalkans per doorsnede (Rijkswaterstaat, 2016, p. 79).

3.2.11 Toetsoordeel per vak

Om deze beoordeling uit te kunnen voeren zijn de volgende waarden nodig (Rijkswaterstaat, 2016):

- De berekenende faalkans $P_{f;dsn}$.
- Faalkans eis per doorsnede uitgaande van de signaalwaarde P_{eis} .
- Faalkans eis per doorsnede uitgaande van de ondergrenswaarde (= signaalwaarde $\cdot 3$).
- De ondergrenswaarde van het dijktraject $P_{eis;ond}$ ($= 3 \cdot P_{eis;sig}$).
- 30 maal de ondergrenswaarde van het dijktraject ($30 \cdot P_{eis;ond}$).

Voor meer informatie over de ondergrenswaarde zie *Achtergronden bij de normering van de primaire waterkeringen in Nederland* (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016) en *Bijlage III* van de *Waterwet* (Overheid.nl, 2009-II).

Het toetsoordeel per vak kan worden gegeven na beoordeling met de eenvoudige toets, de gedetailleerde toets per vak en/of de toets op maat. Dit toetsoordeel per vak wordt uitgedrukt in categorieën (gerelateerd aan de afstand tot de norm). Deze categorieën zijn in Figuur 2.21 (Diermanse, 2016) weergegeven. Dezelfde tabel met toelichting is te vinden in paragraaf 2.6.1 van *Bijlage III Sterkte en veiligheid* (Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 19,21). Daarin staat ook beschreven hoe de toekenning van een categorie op basis van de faalkans plaatsvindt.

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	

Figuur 2.21. Categorieën van het toetsoordeel per vak en per toetsspoor (Diermanse, 2016, p. 11).

Voor toelichting op bovenstaande Figuur 2.23 zie bijlage 2 van dit document en/of *Bijlage III Sterkte en veiligheid* (Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 18-20).

3.2.12 Verfijnen gegevens/vervolgstappen

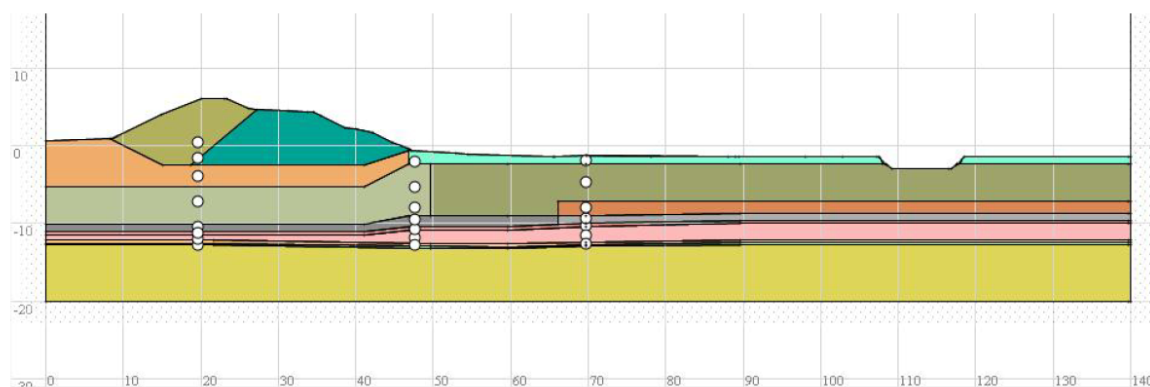
Na het toetsoordeel van elk van de vier verschillende toetsen moet besloten worden wat de vervolgstappen zijn; moet een andere toets uitgevoerd worden, moeten gegevens aangescherpt worden of kan de toetsprocedure beëindigd worden. Ook kan besloten worden de beoordeling van het traject te stoppen. Op basis van alle toetsoordelen worden de vervolgstappen beoordeeld. In paragraaf 3.2.5 van *Bijlage I* (Rijkswaterstaat, z.d.-a) zijn de vervolgstappen toegelicht. In bijlage 3 en 4 van dit rapport zijn verfijningsstappen beschreven

Op basis van gevoeligheidsanalyses kan bepaald worden in hoeverre vervolgonderzoek effect heeft op het toetsresultaat. Hiermee kan bepaald worden of vervolgonderzoek geïndiceerd is.

Mogelijke vervolgonderzoeken:

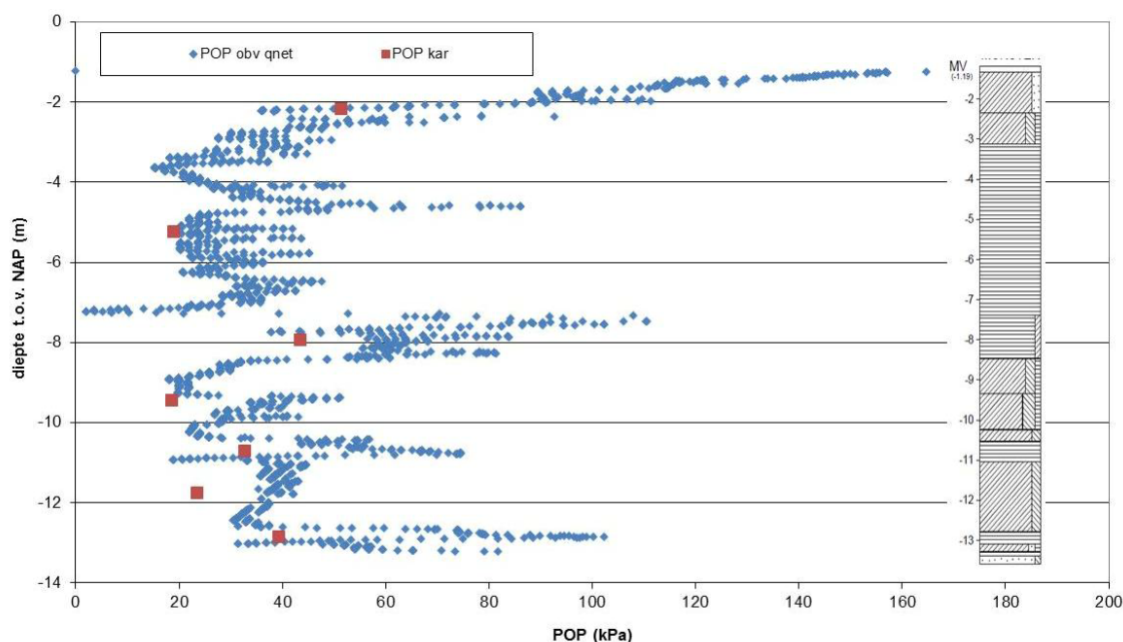
- Aanscherpen SOS met lokale informatie
- Aanscherpen POP waarden op basis van sonderingen

In Figuur 2.22 (Rijkswaterstaat, 2016) is een dwarsprofiel van een kering weergegeven met daarin een ondergrond schematisatie op basis van lokale gegevens.



Figuur 2.22: Ondergrond schematisatie aan de hand van lokale gegevens (Rijkswaterstaat, 2016, p. 83).

In Figuur 2.23 (Rijkswaterstaat, 2016) zijn uit sondeerweerstand bepaalde POP waarden weergegeven.



Figuur 2.23. POP waarden bepaald uit de sondeerweerstand. De rode vierkantjes geven de karakteristieke waarde van de POP per grondlaag weer (Rijkswaterstaat, 2016, p. 81).

Stap 4 Gedetailleerde toets macrostabiliteit per traject

In de gedetailleerde toets per traject wordt het toetsoordeel aangescherpt door een probabilistische toets uit te voeren per traject. Hierdoor wordt een oordeel geveld over het hele traject met de toetssporen die probabilistisch getoetst kunnen worden. Zie voor de toetssporen die probabilistisch getoetst kunnen worden tabel 2-1 van *Bijlage III Sterkte en veiligheid* (Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 13). In deze toets blijven de faaldefinitie en de gebruikte modellen hetzelfde, maar de faalkansbegroting tussen de toetssporen en het vaste lengte-effect kunnen worden losgelaten (Rijkswaterstaat, z.d.-a). De schematisering en invoergegevens uit de gedetailleerde toets per vak kunnen worden gebruikt. Aan de hand van deze toets per traject kan ontdekt worden welke onderdelen en eigenschappen van een kering de grootste invloed hebben op de overstromingskans (Rijkswaterstaat, z.d.-a).

4.1 Voldoen de belasting en sterkte van het traject aan de eisen?

Om tot een veiligheidsoordeel per traject te komen moeten de onderstaande stappen doorlopen worden:

- Stap 1: Combineren van vakoorden per toetsspoor tot een dijktrajectoordeel per toetsspoor (Diermanse, 2016).
- Stap 2: Combineren van de dijktrajectoordelen per toetsspoor tot een veiligheidsoordeel per traject (Diermanse, 2016).
- Stap 3: Combineren van de vakoorden van de toetssporen tot een oordeel per deelvak (Diermanse, 2016).

Wanneer geconcludeerd wordt dat het traject niet voldoet aan de eisen, dan kan geen oordeel worden geveld. Een van de onderstaande vier vervolgstappen kunnen dan genomen worden (Rijkswaterstaat, z.d.-a):

- Schematisering aanscherpen (Stap 3.2.2).
- Toets op maat (Stap 5).
- Beoordeling beëindigen.

4.1.1 Uitvoeren glijvlakanalyses

Voor het berekenen van de binnenwaartse stabiliteit wordt voor de glijvlakanalyse de methode LiftVan gebruikt. Voor de glijvlakanalyse volgens deze methode is de stand-alone software D-Geo Stability beschikbaar. In RisKeer moet aangegeven worden in welk zoekgebied het intredepunt van een relevant schuifvlak kan liggen. RisKeer bepaalt na invoer van deze karakteristieke punten de ligging van de middelpunten en raaklijnen, waarmee de glijvlakanalyse wordt uitgevoerd (Rijkswaterstaat, 2016, p. 23).

In de probabilistische toets worden de verdelingsfuncties van de schuifsterkteparameters van de grondlagen toegepast (Rijkswaterstaat, 2016).

De uitgangspunten voor de keuze tussen gebruik van de ongedraineerde of de gedraineerde schuifsterkte voor de gedetailleerde toets bij alle belastingen door hoog water zijn (Rijkswaterstaat, 2016):

Ongedraineerde schuifsterkte bij:

- Licht overgeconsolideerde klei.
- Organische klei.
- Veen ($OCR < 3$).
- Dijksmateriaal (beneden het freatisch vlak).
- Grondsoorten die hoofdzakelijk kleiig zijn (klei met zandlaagjes en zandige klei).
- Voor de sterk overgeconsolideerde grondlaag, wanneer een sterk overgeconsolideerde en een slecht doorlatende grondlaag (pleistocene) onder licht overgeconsolideerde en slecht doorlatende grondlagen (holocene) voorkomt.

Gedraineerde schuifsterkte bij:

- Voor grondsoorten die hoofdzakelijk zandig zijn (schoon zand en zand met dunne kleilaagjes).
- Dijksmateriaal, wanneer dit hoofdzakelijk zandig is.
- Sterk overgeconsolideerde grond ($OCR > 3$ à 4).
- Sterk dilaterende grond.

Voor een toelichting op deze keuze zie bijlage 3 van dit document en de *Schematiseringhandleiding macrostabiliteit* (Rijkswaterstaat, 2016, p. 108).

4.1.2 Bepalen faalkans

Met een stabiliteitsanalyse volgens de probabilistische werkwijze wordt in RisKeer een stabiliteitsfactor berekend per scenario. De berekende stabiliteitsfactoren moeten omgerekend worden tot een faalkans per scenario, rekening houdend met de kans op voorkomen van een

scenario. Deze faalkansen van alle mogelijk voorkomende scenario's moeten bij elkaar worden opgeteld om de faalkans per doorsnede te bepalen.

4.1.3 Bepalen faalkanseis per vak

Zoals beschreven in paragraaf 3.2.7. van dit document.

4.1.4 Toetsoordeel per traject

Voor het toetsoordeel per traject worden de toetsoordelen per toetsspoor en per vak gecombineerd (Diermanse, 2016).

In een probabilistische stabiliteitsanalyse berekent RisKeer de faalkans voor een dijkprofiel op basis van de verdelingsfuncties van de invoerparameters. Daarnaast wordt ook de faalkanseis op basis van de norm voor het dijktraject en de lengte van het dijktraject en de faalkansruimtefactor berekend. De berekende faalkans van de doorsnede (rekening houdend met de statistiek van de buitenwaterstanden) wordt dan vergeleken met de toelaatbare faalkans. Op basis daarvan wordt een oordeel gegeven (Rijkswaterstaat, 2016).

Het toetsoordeel per traject kan worden gegeven na beoordeling met de gedetailleerde toets per traject en/of de toets op maat. Dit toetsoordeel per traject wordt uitgedrukt in categorieën. Deze categorieën zijn in Figuur 2.24 (Diermanse, 2016) weergegeven. Dezelfde tabel met toelichting is te vinden in de paragrafen 2.6.2 en 2.6.3 van *Bijlage III Sterkte en veiligheid* (Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 20,21). Daarin staat ook beschreven hoe de toekenning van een categorie op basis van de faalkans plaatsvindt.

Stap1: Combineren van vakoordelen per toetsspoor tot een dijktrajectoordeel per toetsspoor (Diermanse, 2016).

1.1: Combineren van vakoordelen per toetsspoor tot een dijktrajectoordeel per toetsspoor

Voor toetssporen zonder probabilistische toets:

Uit de beoordelingen van alle vakken van een traject de beoordelingscategorie (Stap 3.2.11) met de laagste categorie bepalen. Wanneer dit bijvoorbeeld categorie IV_v is, dan wordt het categorie IV_t in Figuur 2.24 (Diermanse, 2016).

categorie	Aanduiding categorie toetsoordeel per traject	Begrenzing categorie
		$P_{f;traject}$ Faalkans per traject [1/jaar]. $P_{eis;sig}$ Signaleringswaarde van het dijktraject [1/jaar]. $P_{eis;ond}$ Ondergrens van het dijktraject [1/jaar]. Ω Gecombineerde faalkansruimtefactor
I _t	voldoet ruim aan de signaleringswaarde	$P_{f;traject} < \frac{1}{30} \Omega P_{eis;sig}$
II _t	Voldoet aan de signaleringswaarde	$\frac{1}{30} \Omega P_{eis;sig} < P_{f;traject} < \Omega P_{eis;sig}$
III _t	Voldoet aan de ondergrens en mogelijk aan de signaleringswaarde	$\Omega P_{eis;sig} < P_{f;traject} < \Omega P_{eis;ond}$
IV _t	voldoet mogelijk aan de ondergrens	$\Omega P_{eis;ond} < P_{f;traject} < P_{eis;ond}$
V _t	voldoet niet aan de ondergrens	$P_{eis;ond} < P_{f;traject} < 30 P_{eis;ond}$
VI _t	voldoet ruim niet aan de ondergrens	$P_{f;traject} > 30 P_{eis;ond}$

Figuur 2.24. Categorieën van het toetsoordeel per traject (Diermanse, 2016, p. 25).

Voor toetssporen met probabilistische toets (o.a. piping en macrostabiliteit):

1.2: Faalkans dijktraject schatten o.b.v. onderlinge onafhankelijkheid van de vakken.

1. Bepalen kans op falen van ieder vak.
2. 1 - kans op falen van ieder vak = kans op niet falen vak.
3. Kansen van niet-falen van alle vakken met elkaar vermenigvuldigen = kans op niet-falen traject.
4. 1 – kans op niet-falen traject = $P_{traject;tsp}$.

In formule (Diermanse, 2016, p. 24):

$$P_{traject;tsp} = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_i)$$

Hierin is:

$P_{traject;tsp}$ Faalkans traject voor een toetsspoor
N Aantal vakken
 P_i Faalkans per vak

1.3: Faalkans dijktraject schatten o.b.v. grootste faalkans en lengte-effect.

Voor toetssporen met relatief klein lengte-effect zoals het toetsspoor: *Grasbekleding erosie kruin en binnentalud*.

1. Vak met grootste faalkans bepalen.
2. Deze grootste faalkans vermenigvuldigen met geschat lengte-effect.

1.4: Minimum waarde van de faalkans bepalen uit 1.2 en 1.3 samen.

Stap2: Combineren van dijktrajectoordelen per toetsspoor tot een veiligheidsoordeel per traject (Diermanse, 2016).

2.1: Voor toetssporen zonder probabilistische toets:

Bepaal het toetsspoor met het slechts scorende dijktrajectoordeel. Deze is leidend voor de vergelijking in stap 2.3

Voor toetssporen met probabilistische toets:

2.2: Combineer alle trajectfaalkansen van de toetssporen.

1. Bepalen kans op trajectfalen per toetsspoor.
2. $1 - \text{kans op trajectfalen per toetsspoor} = \text{kans op niet-falen per toetsspoor}.$
3. Kansen van niet-falen per toetsspoor met elkaar vermenigvuldigen = kans op niet-falen traject voor probabilistische toetssporen samen.
4. $1 - \text{kans op niet-falen traject voor probabilistische toetssporen samen} = P_{\text{traject}}.$

In formule (Diermanse, 2016, p. 24):

$$P_{\text{traject}} = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_i)$$

Hierin is:

P_{traject} Faalkans traject
 N Aantal vakken
 P_i Faalkans per vak

Faalkans traject omzetten in dijktrajectcategorie volgens Figuur 2.25 (Diermanse, 2016).

Cat.	Aanduiding categorie veiligheidsoordeel	Begrenzing categorie
		P_{traject} Overstromingskans van het dijktraject [1/jaar]. $P_{\text{eis;sig}}$ Signaleringswaarde van het dijktraject [1/jaar]. $P_{\text{eis;ond}}$ Ondergrens van het dijktraject [1/jaar].
A+	Overstromingskans van het dijktraject is veel kleiner dan de signaleringswaarde. <i>Dijktraject voldoet ruim aan de signaleringswaarde</i>	$P_{\text{traject}} < 1/30 * P_{\text{eis;sig}}$
A	Overstromingskans van het dijktraject is kleiner dan de signaleringswaarde. <i>Dijktraject voldoet aan de signaleringswaarde.</i>	$1/30 P_{\text{eis;sig}} < P_{\text{traject}} < P_{\text{eis;sig}}$
B	Overstromingskans van het dijktraject is groter dan de signaleringswaarde, maar kleiner dan ondergrens. <i>Dijktraject voldoet aan de ondergrens, maar niet aan de signaleringswaarde.</i>	$P_{\text{eis;sig}} < P_{\text{traject}} < P_{\text{eis;ond}}$
C	Overstromingskans van het dijktraject is groter dan de signaleringswaarde en de ondergrens. <i>Dijktraject voldoet niet aan de signaleringswaarde en ook niet aan de ondergrens</i>	$P_{\text{eis;ond}} < P_{\text{traject}} < 30 * P_{\text{eis;ond}}$
D	Overstromingskans het dijktraject is veel groter dan de signaleringswaarde en de ondergrens. <i>Dijktraject voldoet ruim niet aan de signaleringswaarde en aan de ondergrens.</i>	$P_{\text{traject}} > 30 * P_{\text{eis;ond}}$

Figuur 2.25. Categorieën van het veiligheidsoordeel per traject (Diermanse, 2016, p. 10).

2.3: Bepaal het slechts scorende veiligheidsoordeel uit de twee bepaalde veiligheidsoordelen uit 2.1 en 2.2. Dit slechts scorende veiligheidsoordeel is het veiligheidsoordeel van de gedetailleerde toets per traject.

Stap3: Combineren van de vakoordelen van de toetssporen tot een oordeel per deelvak (Diermanse, 2016).

Om te bepalen waar de zwakste plekken in het dijktraject zitten worden de toetssporen per vak gecombineerd. Hiervoor moet een nieuwe vakindeling gemaakt worden tot de “kleinste gemene deler” van alle vakindelingen (Diermanse, 2016), omdat de vakindeling per toetsspoor kan verschillen. In het *Assemblageprotocol WBI2017* (Diermanse, 2016, p. 26) wordt hierover het volgende vermeld:

“De vakgrenzen van deze gecombineerde vak-indeling bestaat uit de combinatie van alle vakgrenzen van alle toetssporen. Voor elk dijkvak, V, uit deze gecombineerde vak- indeling geldt het volgende:

- voor elk toetsspoor is er exact één vak, W, aan te wijzen waar V binnen valt. Er is dus geen overlap met een ander vak.
- V is kleiner dan of gelijk aan W.

De beoordelingscategorie van categorie V wordt verondersteld gelijk te zijn aan de beoordelingscategorie van vak W. Deze aanname wordt voor alle toetssporen toegepast. Vervolgend worden de toetssporen gecombineerd voor vak V volgens het principe van “het toetsspoor met de slechtste score is leidend”.

Voor een rekenvoorbeeld van bovenstaande stappen zie het *Assemblageprotocol WBI2017* (Diermanse, 2016).

Stap 5 Toets op maat

Wanneer de eenvoudige toets en de gedetailleerde toetsen niet toepasbaar zijn op een specifieke locatie of deze een te conservatief beeld geven van de veiligheid kan de toets op maat uitkomst bieden. Met de toets op maat kan het toetsoordeel worden aangescherpt met locatiespecifieke gegevens of geavanceerde analyses (Rijkswaterstaat, z.d.-a). In *Bijlage I Procedure* (Rijkswaterstaat, z.d.-a, p.) staan de onderstaande nadere analyses benoemd:

- Locatie specifieke analyses die beter aansluiten bij de lokale situatie of waarnemingen van de beheerder.
- Geavanceerde analyses.
- Oordeel op basis van de kennis en ervaring van de beheerder.

Nadere analyses in de toets op maat, die beter aansluiten bij de lokale situatie of waarnemingen van de beheerder, kunnen variëren van eenvoudig tot geavanceerd en van deterministisch tot probabilistisch per vak of per traject. Een nadere analyse is ook de aanscherping van de hydraulische belasting.

Bijlage III Sterkte en veiligheid biedt geen voorschriften voor de toets op maat. Wel wordt de volgende toelichting beschreven (Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 18):

“De toets op maat maakt het mogelijk om locatie-specifieke analyses of geavanceerde analyses uit te voeren die beter aansluiten bij de lokale situatie of waarnemingen van de beheerder. Gecontroleerd kan worden of met andere rekenmodellen of het aanscherpen van de definitie van falen (die dus dichterbij daadwerkelijk falen ligt, bijvoorbeeld door het meenemen van reststerkte, of aangepaste hydraulische randvoorwaarden) een scherper beeld kan worden verkregen over in hoeverre de waterkering al dan niet voldoet aan de norm. Als het toetsoordeel niet in overeenstemming is met de kennis van de beheerder, dan kan de toets op maat bestaan uit een onderbouwd oordeel van de beheerder.

Binnen de Toets op maat is het mogelijk de generieke faalkansbegroting uit de gedetailleerde toets per vak (zie paragraaf 2.2) te optimaliseren voor de specifieke omstandigheden van het traject. Daarbij geldt dat:

- Het totaal van de faalkansruimtefactoren voor de toetssporen 100% blijft.
- De faalkansbegroting geldt voor het hele traject. Een wijziging heeft consequenties voor alle vakken van een toetsspoor waarvan de faalkansruimtefactor wijzigt.
- Een gedetailleerde toets per traject geeft een nauwkeuriger resultaat.

Aanpassen van faalkansbegroting kan zinvol zijn:

- Wanneer de faalkansruimte significant (circa 5 keer) groter wordt en
- Het vak in de gedetailleerde toets per vak net niet aan de faalkanseis per vak voldoet (toetsoordeel na gedetailleerde toets per vak is categorie IIIv)”

Verder biedt Bijlage III Sterkte en veiligheid de volgende toelichting voor nadere analyses binnen de toets op maat (Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 32):

“De mogelijkheden voor het uitvoeren van nadere analyse binnen de toets op maat macrostabiliteit binnenwaarts staan beschreven in de diverse achtergrondrapporten.

Nadere analyses betreffen onder andere:

- Bewezen sterkte onderzoeken (parameter optimalisatie op basis van waarnemingen van overleefde hoge waterstanden).
- Toepassen van Eindige Elementen Modellen (EEM).
- Toepassen tijdsafhankelijk grondwaterstromingsmodellen voor schematiseren waterspanningen.
- Het in rekening brengen van reststerkte van de waterkering.

Bij de beoordeling van de veiligheid van de in Noord-Nederland gelegen waterkeringen dient rekening gehouden te worden met de belasting door geïnduceerde aardbevingen. Uitgangspunt voor deze beoordeling is een aardbeving met een maximum magnitude van 5. Daaruit worden piekgrondversnellingen ter plaatse van de waterkering afgeleid waarmee de veiligheid wordt beoordeeld. Deze beoordeling betreft een toets op maat.”

“De toets op maat geeft een oordeel per vak, of per traject en per toetsspoor. Voor hydraulische belastingen omvat de toets op maat de mogelijkheid om door de beheerder veranderingen door te voeren in modellen of schematiseringen in golfmodellen zoals Bretschneider en SWAN. Dit kan leiden tot aangepaste waterstanden of golfbelastingen [ref 54] en [ref 7]” (Rijkswaterstaat, z.d.-c, p. 26 e.v.).

Daarnaast kan de faalkansverdeling aangepast worden met andere faalkanseisen per doorsnede tot gevolg. Dit resulteert in andere waarden voor de hydraulische belastingen (Rijkswaterstaat, 2017).

In technische achtergrondrapporten zijn handvatten opgenomen voor het uitvoeren van toetsen op maat (Rijkswaterstaat, z.d.-a). De eventueel benodigde geotechnische onderzoeken en berekeningen worden in bijlage 3 van dit verslag besproken.

De gemaakte keuzes in de toets op maat moeten worden gerapporteerd. In hoofdstuk 4 en paragraaf 5.5 van Bijlage I Procedure (Rijkswaterstaat, z.d.-a) staan de eisen voor de onderbouwing beschreven.

In het *Voorschrift toetsen op veiligheid, technisch deel WT12017* (Bruin, 2016, p. 25) staan de te nemen stappen voor het bepalen van eventuele nadere analyses:

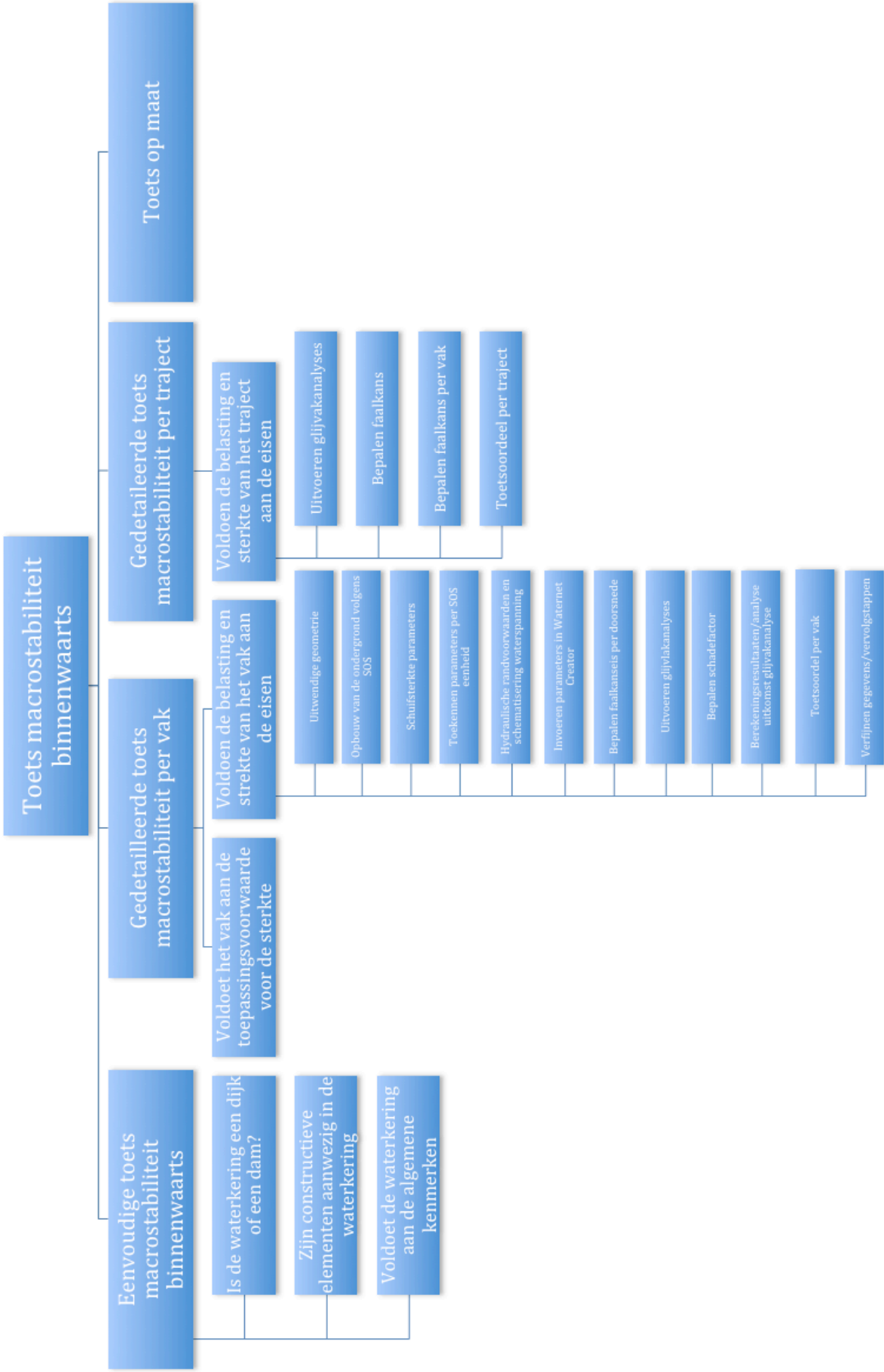
“Stap 1: Inventariseren mogelijkheden nadere analyses.

Stap 2: Beoordelen effectiviteit analyses (kosten-baten analyse).

Stap 3: Uitvoeren nadere (locatie specifieke) analyse of beoordeling beëindigen”.

3. Stappenschema

In dit hoofdstuk wordt de schematisatie van het stappenplan gepresenteerd. Hierin zijn de resultaten uit het stappenplan geïntegreerd tot een stappenschema.



4. Relevantie

Na uitvoering van dit onderzoek en het opstellen van het stappenplan voor de beoordeling van de macrostabiliteit binnenwaarts met het WBI2017 is het voor Wiertsema & Partners van belang aan te geven wat de relevantie van dit document voor het bedrijf is en welke activiteiten het bedrijf zou kunnen ondernemen om de toetsen voor de macrostabiliteit binnenwaarts volgens het WBI2017 te kunnen uitvoeren. Voor de relevante disciplines binnen Wiertsema & Partners wordt hieronder per discipline geanalyseerd in hoeverre de activiteiten al volgens het WBI2017 uitgevoerd kunnen worden en welke activiteiten ondernomen moeten worden om hiaten te kunnen aanvullen.

Uitvoeren sonderingen

Wiertsema & Partners beschikt over de benodigde equipment en ervaring om sonderingen volgens de eisen in het WBI2017 uit te kunnen voeren.

Equipment voor het uitvoeren van klasse 1+ sonderingen is aanwezig maar nog niet toegepast. Dit omdat er tot nog toe geen vraag is geweest naar deze klasse sonderingen i.v.m. de kostprijs.

Standaard wordt tijdens het sonderen gemeten met een meetinterval van 20 mm, maar de mogelijkheid is aanwezig om aan de 10 mm meetinterval-eis van het WBI2017 te voldoen.

Uitvoeren boringen

Voor het uitvoeren van boringen volgens de eisen van het WBI2017 beschikt Wiertsema & Partners over de benodigde equipment.

Laboratoriumonderzoek

Met enkele aanpassingen is het laboratorium in staat de benodigde testen en onderzoeken uit te voeren volgens het WBI2017. De bussen van de boringen worden verticaal opgeslagen. De opslagruimte zal aangepast moeten worden om de bussen horizontaal te kunnen opslaan.

Geofysisch onderzoek

Wiertsema & Partners beschikt over de equipment en ervaring om grondscans te maken met een Dualem-sensor. Met deze techniek kan inzicht verkregen worden in de samenstelling van de bodem. De Dualem-sensor zendt elektromagnetische straling uit en registreert de elektrische geleidbaarheid van de bodem. Met deze gegevens kunnen op een relatief eenvoudige en invasieve manier lengteprofielen, dwarsprofielen en 3-D profielen van de deklagen van dijken gegenereerd worden. Met deze producten kunnen bijvoorbeeld boorplannen opgesteld worden.

Geotechnisch advies

Binnen Wiertsema & Partners is weinig ervaring met het beoordelen van primaire keringen. Er is wel ervaring met de toetsing van keringen als onderdeel van een ander project, zoals bijvoorbeeld belendingen op of bij een kering. Tot nu toe werden deze toetsingen uitgevoerd volgens de Eurocode.

De toets op macrostabiliteit binnenwaarts met het WBI2017 is complex en tijdrovend. Het bedrijf mist nu de capaciteit om de beoordeling van hele dijktrajecten te kunnen uitvoeren.

Belangrijkste werkzaamheden van Wiertsema & Partners voor het WBI2017 zijn nu de boringen, sonderingen en het labonderzoek. Daarnaast worden automatiseringsslagen gemaakt met Geo-GIS en Geo-ICT om proevenverzamelingen te genereren. Vanuit deze bestaande dienstverlening is de ambitie van Wiertsema & Partners om verder te ontwikkelen ten aanzien van de beoordeling van de waterkeringen volgens het WBI2017. Door middel van actieve acquisitie bij de waterkering-beheerders kan Wiertsema & Partners zijn ambities kenbaar maken. Daarnaast kan het bedrijf servicegerichte diensten aanbieden door bijvoorbeeld correlaties te leggen tussen parameters. Dit kan door het opstellen van datasets, opstellen van boorplannen naar ontwerp en het klaarzetten van halffabricaten voor de toetsing. Met de bovenstaande onderzoeken en activiteiten kan Wiertsema & Partners verder door ontwikkelen en actief deelnemen aan de beoordeling van de primaire waterkeringen.

5. Discussie

Na het uitvoeren van de literatuurstudie en het opstellen van het stappenplan is de vraag of de doelstelling van dit onderzoek behaald is.

Tijdens de uitvoering van het onderzoek bleek het tijdsbestek voor dit onderzoek een belemmerende factor te zijn. Daarnaast had ik nog geen kennis en ervaring met het toetsen van de macrostabiliteit volgens het WTI2011. Het verdiepen in de materie heeft hierdoor veel tijd gekost. Door deze factoren mist het stappenplan een gedetailleerde beschrijving van de stappen voor het gebruik van de benodigde software. Dit heeft ook zijn effect op het stappenschema. Deze is hierdoor beperkt van omvang geworden. Dit stappenplan kan gebruikt worden om inzicht te krijgen in het toetsproces voor de macrostabiliteit binnenwaarts. De bruikbaarheid voor de uitvoering van de toets moet nog gecontroleerd worden. Hieruit zal blijken waar in het stappenplan verdere diepgang moet worden aangebracht. In de volgende paragraaf worden de belangrijkste onduidelijkheden en hiaten van het WBI2017 en dit stappenplan beschreven.

Onduidelijkheden en hiaten

In de te gebruiken programmatuur zijn veel veranderingen en nieuwigheden. Scholing en ervaring zijn nodig om goed en snel met de programma's te kunnen werken.

Een hapklaar stappenplan is moeilijk te genereren. Vele stappen zijn onderhevig aan interpretatie. Daarom zijn voor uitvoering van de toetsing geotechnisch adviseurs met ervaring nodig. Daarnaast zijn interpretaties van waterkeringbeheerders van essentieel belang om de beoordeling uit te kunnen voeren.

De schematiseringshandleiding macrostabiliteit en het protocol sonderen met S_u -bepaling conflicteren met elkaar wat betreft de te hanteren normen. Voor het uitvoeren van sonderingen zal eerst achterhaald moeten worden volgens welke normen binnen WBI2017 gewerkt moet worden.

6. Conclusie

Tot slot worden de volgende conclusies getrokken:

Het stappenplan kan gebruikt worden om inzichtelijk te krijgen welke stappen opeenvolgend uitgevoerd moeten worden. Hiermee kan snel geschakeld worden naar de juiste paragrafen in het stappenplan.

Het stappenplan is een leidraad voor het toetsen. Per toets staat beschreven wat uitgevoerd moet worden. Verder wordt in het stappenplan doorverwezen naar de benodigde literatuur.

Bijlage 3 van dit document is voor Wiertsema & Partners een leidraad voor de uitvoering van sonderingen, boringen en het uitvoeren van laboratoriumonderzoek volgens de eisen van het WBI2017.

Bijlage 4 kan gebruikt worden voor het verkrijgen van meer begrip van en kennis over de Stochastische Ondergrond Schematisatie.

Aan de doelstelling van dit onderzoek is voldaan, met kanttekening dat verdere verdieping van het stappenplan mogelijk is.

Voor sonderen en boren zijn bij Wiertsema & Partners de kwaliteiten en capaciteit aanwezig. Met enkele aanpassingen is ook het laboratorium in staat de benodigde testen en onderzoeken uit te voeren volgens het WBI2017.

Het bedrijf mist nu de capaciteit om de beoordeling van hele dijktrajecten te kunnen uitvoeren. Door het uitvoeren van servicegerichte activiteiten en acquisitie kan Wiertsema & Partners verder door ontwikkelen en actief deelnemen aan de beoordeling van de primaire waterkeringen.

In de volgende paragraaf worden nog enkele aanbevelingen gedaan.

Aanbevelingen

De schematiseringshandleiding macrostabiliteit en het protocol sonderen met Su -bepaling conflicteren met elkaar wat betreft de te hanteren normen. Voor het uitvoeren van sonderingen zal eerst achterhaald moeten worden volgens welke normen binnen WBI2017 gewerkt moet worden.

Voor het uitvoeren van een specifiek onderdeel van de toets op macrostabiliteit kan een student aangesteld worden om bijvoorbeeld de te volgen stappen in WTI-SOS, RisKeer, D-Soil Model of D-Geo Stability verder uit te werken.

Door een klein praktijk onderzoek kan het stappenplan getoetst worden op bruikbaarheid, volledigheid en correctheid.

Wanneer Wiertsema & Partners grondonderzoek moet uitvoeren voor grote dijktrajecten zal de capaciteit ontoereikend kunnen zijn. In dit geval is een combinatie met een ander bedrijf een goede oplossing om de benodigde onderzoeken aan een dijktraject voor het WBI2017 uit te voeren.

Figurenlijst

Figuren

Figuur 1.1. Macro-instabiliteit binnenwaarts. Bewerkt overgenomen uit “Schematiseringshandleiding macrostabiliteit” van Rijkswaterstaat, 2016 (p. 95).

([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.1. Werkschema voor schematiseren van de ondergrond. Bewerkt overgenomen uit “Globale stochastische ondergrondschematisatie (WTI-SOS) voor de primaire waterkeringen” van Hijma, 2015 (p. 45). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.2. Schema eenvoudige toets macrostabiliteit binnenwaarts. Bewerkt overgenomen uit “Schematiseringshandleiding macrostabiliteit” van Rijkswaterstaat, 2016 (p. 27). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.3. Parameters eenvoudige toets STBI. Bewerkt overgenomen uit “Schematiseringshandleiding macrostabiliteit” van Rijkswaterstaat, 2016 (p. 24). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.4. Contourplot met veilige afmetingen voor een kleidijk. Bewerkt overgenomen uit “Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid” van Rijkswaterstaat, z.d.-b. (p. 29) ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.5. Contourplot met veilige afmetingen voor een zanddijk. Bewerkt overgenomen uit “Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid” van Rijkswaterstaat, z.d.-b. (p. 29) ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.6. Generiek schema gedetailleerde toets. Bewerkt overgenomen uit “Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid” van Rijkswaterstaat, z.d.-b. (p. 15) ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.7. Toetsproces. Bewerkt overgenomen van Hijma, z.d. [PowerPointpresentatie] (dia 30).

Figuur 2.8. Schema van schematiseringsproces. Bewerkt overgenomen uit “Voorschrift Toetsen op Veiligheid, Technisch Deel (WTI 2017)” van Bruin, 2016 (p. 17). (http://publications.deltares.nl/1220078_000a.pdf)

Figuur 2.9. Weergave van D-Soil Model met ondergrondscenario's. Bewerkt overgenomen uit “Schematiseringshandleiding macrostabiliteit” van Rijkswaterstaat, 2016 (p.72) . ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.10. WTI-SOS ondergrondscenario's met bijbehorende kans van voorkomen. Bewerkt overgenomen uit "Schematiseringshandleiding macrostabiliteit" van Rijkswaterstaat, 2016 (p. 71). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.11. Normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkteratio S (waarden behorende bij ultimate state) met bijbehorende WTI-SOS eenheden. Bewerkt overgenomen uit "Schematiseringshandleiding macrostabiliteit" van Rijkswaterstaat, 2016 (p. 55). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.12. Rekenwaarden van aan WTI-SOS eenheden gekoppelde schuifsterkte parameters. Bewerkt overgenomen uit "Schematiseringshandleiding macrostabiliteit" van Rijkswaterstaat, 2016 (p. 73). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.13. Relatie tussen de ongedraineerde schuifsterkteratio en de overconsolidatieratio. Bewerkt overgenomen uit "Schematiseringshandleiding macrostabiliteit" van Rijkswaterstaat, 2016 (p. 56). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.14. Waarden voor de grensspanning op basis van de sondeerweerstand. Bewerkt overgenomen uit "Schematiseringshandleiding macrostabiliteit" van Rijkswaterstaat, 2016 (p. 84). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.15. Faalkansruimtefactoren voor de gedetailleerde toets per vak. Bewerkt overgenomen uit "Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid" van Rijkswaterstaat, z.d.-b. (p. 16). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.16. Waarden van a en b voor het bepalen van de faalkanseis voor macrostabiliteit binnenwaarts. Bewerkt overgenomen uit "Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, versie OI2014v4" van Rijkswaterstaat, 2017 (p. 13). (<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/ontwerpen-beheer/>)

Figuur 2.17. Materiaalfactoren in RisKeer. Bewerkt overgenomen uit "Schematiseringshandleiding macrostabiliteit" van Rijkswaterstaat, 2016 (p. 19). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.18. Overzicht van te raadplegen documenten voor informatie over de partiële veiligheidsfactoren voor het Mohr-Coulomb en CSSM model. Bewerkt overgenomen uit "Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, versie OI2014v4" van Rijkswaterstaat, 2017 (p. 34). (<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/ontwerpen-beheer/>)

Figuur 2.19. Berekend schuifvlak met bijbehorende veiligheidsfactor (= stabiliteitsfactor). Bewerkt overgenomen uit “Schematiseringshandleiding macrostabiliteit” van Rijkswaterstaat, 2016 (p. 78). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.20. Voorbeeld van tabel met berekende stabiliteitsfactoren en faalkansen per scenario en de faalkansen per doorsnede. Bewerkt overgenomen uit “Schematiseringshandleiding macrostabiliteit” van Rijkswaterstaat, 2016 (p. 79). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.21. Categorieën van het toetsoordeel per vak en per toetsspoor. Bewerkt overgenomen uit “Assemblageprotocol WBI2017” van Diermanse, 2016 (p. 11). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.22. Ondergrond schematisatie aan de hand van lokale gegevens. Bewerkt overgenomen uit “Schematiseringshandleiding macrostabiliteit” van Rijkswaterstaat, 2016 (p. 83). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.23. POP waarden bepaald uit de sondeerweerstand. De rode vierkantjes geven de karakteristieke waarde van de POP per grondlaag weer. Bewerkt overgenomen uit “Schematiseringshandleiding macrostabiliteit” van Rijkswaterstaat, 2016 (p. 81). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.24. Categorieën van het toetsoordeel per traject. Bewerkt overgenomen uit “Assemblageprotocol WBI2017” van Diermanse, 2016 (p. 25). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.25. Categorieën van het veiligheidsoordeel per traject. Bewerkt overgenomen uit “Assemblageprotocol WBI2017” van Diermanse, 2016 (p. 10). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Lijst met afkortingen

a_1	Mechanismegevoelige fractie van de trajectlengte van de dijk (-)
AHN	Actueel Hoogtebestand Nederland
As-built	Revisietekening/Bouwttekening van de huidige/ aanwezige situatie
b_1	Lengtemaat die de intensiteit van het lengte-effect weergeeft in de mechanismegevoelige lengte van het traject (m)
CPT _u	Cone penetration test met piëzocone
CSSM	Critical State Soil Mechanics
C_v	Consolidatiecoëfficiënt
D	Dikte cohesieve lagenpakket vanaf maaiveld bij de binnenteen [m]
DSS	Direct Simple Shear
EEM	Eindige elementen methode
FV	Faalkans verwaarloosbaar
$F_{d,i}$	berekende stabiliteitsfactor voor scenario i (-)
FLI-MAP	Fast Laser Imaging- Mapping Airborn Platform
h_d	Dijkhoogte t.o.v. maaiveld bij de binnenteen [m]
H_w	Buitenwaterstand bij de norm boven het maaiveld binnendijs [m]
kN	KiloNewton
L_{traject}	Lengte van het dijktraject (m)
m	Sterktetoename-exponent
N.A.P	Normaal Amsterdams Peil
N_{dsn}	Lengte-effect factor voor een doorsnede
N_{kt}	Empirisch bepaalde conusfactor [-]
OCR	Overconsolidatieratio
P_{eis}	Norm (faalkanseis) van het dijktraject (1/jaar)
$P_{\text{eis:dsn}}$	Faalkanseis macrostabiliteit per doorsnede (per jaar)
POP	Pre-overburden pressure
$P_{f,i}$	Faalkans van scenario i (1/jaar)
$P_{f,dsn}$	Faalkans per doorsnede (1/jaar)

$P(s_i)$	Kans van voorkomen van scenario i (-)
$P_{eis;sig}$	Faalkanseis per doorsnede uitgaande van de signaalwaarde
$P_{eis;ond}$	Ondergrenswaarde van het dijktraject
$P_{traject;tsp}$	Faalkans traject voor een toetsspoor
$P_{traject}$	Faalkans traject
q_{net}	Voor waterspanningseffecten en totaalspanning gecorrigeerde sondeerweerstand
S_u	Ongedraineerde schuifsterkte
S	Normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio
SHANSEP	Stress History And Normalized Soil Engineering Properties
SOS	Stochastische ondergrondschematisatie
STBI	Macrostabiliteit binnenwaarts
s_u	Ongedraineerde schuifsterkte afgeleid uit de sondeerweerstand [kN/m ²]
VTV2006	Voorschrift toetsen op veiligheid 2006
W	Kruinbreedte [m]
WBI2017	Wettelijk beoordelingsinstrumentarium 2017
WTI2011	Wettelijk toetsinstrumentarium 2011
W&P	Wiertsema & Partners
σ'_{vi}	In situ effectieve verticale spanning [kN/m ²]
$\sigma'_{vy,gem}$	Verwachtingswaarde van de grensspanning
Υ	Volumiek gewicht
φ'	Hoek van inwendige wrijving voor goed doorlatende grondlagen
ω	Faalkansruimtefactor
$\beta_{eis,dsn}$	Betrouwbaarheidsindex voor de doorsnede (-)
Φ	Standaard (cumulatieve) normale verdeling (-)
γ_n	Schadefactor voor macrostabiliteit (-)
γ_d	Modelfactor (-)

Begrippenlijst

Afschuiving

Verplaatsen van een deel van een grondlichaam of bekleding door overschrijding van het evenwichtsdraagvermogen.

Aquifer

Grondlagen waarbinnen de relatief (ten opzichte van de omgeving) hoge doorlatendheid aanzienlijk transport van grondwater mogelijk maakt.

Belastingmodel

Beschrijving van de manier waarop voor een watersysteem de vertaling van de basisstochasten naar de hydraulische belasting op de waterkering plaats moet vinden.

Cohesieve laag

Ondoorlatende of slecht doorlatende laag op het zandpakket aan de binnendijkse zijde, bestaande uit klei of veen.

Consolidatie

Afname van de waterspanning in de grond door wegstromen van water onder invloed van een belasting.

Constant Rate of Strain proef

Samendrukkingsproef waarmee de grensspanning of overconsolidatiegraad kan worden. Deze proef wordt onder gecontroleerde omstandigheden uitgevoerd en is vooral geschikt voor beproeving van slappe, cohesieve materialen zoals klei en veen.

Conusfactor

Correlatiefactor om de verwachtingswaarde van de ongedraineerde schuifsterkte uit de gecorrigeerde sondeerweerstand te berekenen.

Critical State Soil Mechanics

Materiaalmodel dat de mogelijkheid biedt om met de ongedraineerde schuifsterkte te rekenen in de beoordeling van klei- en veendijken. Daarvoor moet rekening gehouden worden met cohesieve lagen in en onder de waterkeringen.

Deklaag

Een slecht doorlatende laag waarmee het geheel van oudere afzettingen aan het maaiveld wordt afgedekt.

Dijktraject

Gedeelte van een primaire waterkering dat afzonderlijk genomineerd is.

Dijkvak

Een deel van een waterkering (dijk) met uniforme eigenschappen en belastingen.

Direct Simple Shear proef

Laboratoriumproef om de schuifsterkte en het vervormingsgedrag van de grond te kunnen bepalen. Deze proef is vooral interessant voor onderzoek naar slap materiaal (klei en veen) in gebieden waar het risico van afschuiven moet worden beoordeeld.

D-Soil Model

Softwareprogramma waarmee de ondergrond geschematiseerd kan worden voor de toetssporen macrostabiliteit en piping. De ondergrondschematisering wordt in D-Soil Model compleet opgesteld met sterkteparameters per materiaal.

Dualem

Methode om ondergrondscans te maken door middel van elektromagnetische straling. Met deze techniek kan inzicht verkregen worden in de samenstelling van de bodem. Met de gegevens uit deze techniek kunnen op een relatief eenvoudige en invasieve manier lengteprofielen, dwarsprofielen en 3-D profielen van dijken gegenereerd worden.

Eindige elementen model

Rekenmethode waarmee partiële differentiaalvergelijkingen en integraalvergelijkingen kunnen worden opgelost. Met deze methode kunnen bijvoorbeeld sterkte-eigenschappen van ingewikkelde constructies berekend worden.

Eurocode

Europese normen voor het toetsen van de constructieve veiligheid van bouwconstructies.

Faaldefinitie

Afspraak over wat in het WBI 2017 als falen wordt beschouwd. De faaldefinitie beschrijft de situatie die in de gedetailleerde toets voor falen van de waterkering wordt aangehouden.

Faalkans

Kans op overschrijden van de uiterste grenstoestand van een waterkering of een onderdeel daarvan. De faaldefinitie legt de uiterste grenstoestand vast.

Faalkansbegroting

Verdeling van de toegestane faalkans over de faalmechanismen. Wordt toegepast in de gedetailleerde toets per vak waarbij een faalkansbegroting wordt voorgeschreven. De faalkansbegroting wordt in de gedetailleerde toets per traject losgelaten.

Faalkanseis per traject

Toelaatbare faalkans voor een dijktraject voor een toetsspoor of combinatie van toetssporen voor een faalkansbegroting afgeleid uit de norm.

Faalkans per vak

Toelaatbare faalkans voor een vak voor een toetsspoor voor een faalkansbegroting en lengte-effect afgeleid uit de norm.

Faalkansruimtefactor

Percentage van de toegestane bijdrage van een bepaald faalmechanisme aan de overstromingskans.

Faalmechanisme

Opeenvolging van gebeurtenissen die leidt tot falen

Freatische lijn

Niveau van de grondwaterspiegel.

Gedetailleerde toets

Toets in de toetsprocedure die uitgaat van een voorgeschreven faaldefinitie en bijbehorend generiek rekenmodel.

Gedetailleerde toets per traject

Toets gebaseerd op modelmatige analyses en generieke rekenregels voor het gehele traject. In deze toets wordt de vaste faalkansverdeling losgelaten.

Gedetailleerde toets per vak

Toets gebaseerd op modelmatige analyses en generieke rekenregels met vaste faalkansverdeling per vak.

Glijvlak

Vlak waarlangs een afschuivende grondmoot afschuift over het stabiele deel van een grondlichaam en waarlangs door de grond schuifsterkte wordt gemobiliseerd.

Glijvlakmodel

Rekenmodel waarmee de weerstand van een grondmoot tegen afschuiven langs een schuifvlak wordt berekend

Grensspanning

Hoogste spanning waaraan de grond in situ (op het terrein) onderworpen is geweest.

Hydraulische belasting

Belasting op de waterkering als gevolg van de lokale waterstand en bijbehorende golven.

Indringingslengte

Verticale afstand aan de onderzijde van de slecht doorlatende deklaag waarover de waterspanning in de deklaag verandert bij waterspanningsvariaties in de watervoerende zandlaag.

Intredepunt

(Theoretisch) punt waar het buitenwater tot de aquifer toetreedt, als gevolg van het verval over de waterkering.

Karakteristieke waarde

Waarde met een voorgeschreven onder- of overschrijdingskans, bepaald op grond van een statische analyse van beschikbare gegevens.

Klasse 1+ sondering

Sonderingen met zeer hoog kwaliteitsniveau. Kwaliteitsniveau van de waarnemingen ligt boven klasse 1 sonderingen.

Korrelverdeling

Verdeling van de korrels naar afmeting in de diverse fracties binnen een korrelgroep.

Kruinhoogte

Hoogte van de waterkering

Legger

Een bij besluit van de waterbeheerder vastgesteld register van waterstaatswerken met daarin per waterstaatswerk de vereiste afmetingen, de onderhoudsplichtigen en onderhoudsverplichtingen.

Leklengte

Lengte waarover een stijghoogteverschil binnen een watervoerende laag halveert als gevolg van stroming naar een relatief slecht doorlatende deklaag.

Lengte-effect

Invloed van variaties van dijk- en ondergrondeigenschappen binnen een dijktraject op de faalkans van dat dijktraject. Deze is gelijk aan de verhouding tussen de faalkans van een “uniform” dijksegment en de faalkans van een dwarsdoorsnede uit datzelfde segment.

LiftVan

Methode waarmee een glijvlakanalyse voor een kering uitgevoerd kan worden waarmee een veiligheidsfactor wordt bepaald. Deze methode gaat uit van een cirkelvormig glijvlak met daartussen een horizontale grondmoot. Voor het cirkelvormige deel wordt het momentenevenwicht geanalyseerd. Voor het rechte (horizontale) deel wordt het horizontale evenwicht beoordeeld. Met dit model kunnen horizontale en cirkelvormige glijvlakken berekend worden (Rijkswaterstaat, 2016).

Macro-instabiliteit

Afschuiven van grote delen van het dijklichaam langs rechte of gebogen glijvlakken, of het verliezen van evenwicht als gevolg van het ontstaan van grote plastische zones.

Macrostabiliteit

Weerstand tegen het optreden van een glijvlak in het talud en de ondergrond.

Macrostabiliteit binnenwaarts

Weerstand tegen het optreden van een glijvlak in het talud en de ondergrond aan de zijde van het achterland.

Materiaalfactor

Partiële factor, die op de karakteristieke materiaalparameter wordt toegepast om onzekerheden in de grondeigenschappen te verdisconteren.

Materiaalmodel

Model voor het karakteriseren van het gedrag van grond.

Modelfactor

Partiële factor waarin onzekerheden in de berekeningsmethodes wordt verdisconteerd.

Norm

Toelaatbare overstromingskans van een dijktraject. Deze wordt uitgedrukt in een ondergrens of een signaleringswaarde.

Normaal geconsolideerde schuifsterkteratio

Wrijvingsparameter voor het karakteriseren van de ongedraineerde schuifsterkte van grond onder normaal geconsolideerde condities. Normaal geconsolideerde grond kenmerkt zich door een grensspanning die gelijk is aan de actuele effectieve verticale spanning. De overconsolidatieratio is 1,0 (Duinen, 2014).

Ondergrenswaarde

Waarde van de overstromingskans van een dijktraject die hoort bij het minimale beschermingsniveau dat de dijk moet bieden.

Ondergrondscenario

Verzameling van WTI-SOS eenheden die binnen segmenten kunnen voorkomen. Per locatie langs een dijk kunnen meerdere scenario's voorkomen. Elk scenario wordt gekoppeld aan een kans op voorkomen van het specifieke scenario op de locatie. Tijdens het beoordelen worden de scenario's verfijnd tot locatie specifieke scenario's.

Ongedraineerde schuifsterkte

Waarde van de schuifsterkte die afhankelijk is van diverse factoren, waaronder de belastinggeschiedenis en de belastingcondities van de grond tijdens ongedraineerde condities. Bij ongedraineerde condities worden waterspanningen in de grond gegenereerd wanneer de schuifweerstand van de grond wordt gemobiliseerd. De door de grond gegenereerde waterspanningen reduceren de schuifsterkte van de grond (Duinen, 2014).

Ongeroerde monsters

Monsters verkregen door boringen waarbij de grond niet omgewoeld is.

Overgeconsolideerde grond

Verschijnsel dat de grond ooit is geconsolideerd bij een hogere spanning dan de in situ aanwezige spanning.

Overschijdingskans

Kans dat in een bepaalde tijd een bepaald verschijnsel een bepaalde waarde bereikt of overschrijdt.

Overstromingskans

Kans op verlies van het waterkerend vermogen van een dijktraject.

Partiële veiligheidsfactor

Factor die in de berekening van de beoordeling van de veiligheid van de waterkering leidt tot een strengere betrouwbaarheidseis.

Peildatum

Datum waarop het veiligheidsoordeel van de primaire waterkering betrekking heeft.

Pre-overburden pressure

Hoogte druk die door bovenliggende lagen op de grond in situ extra aanwezig is geweest ten opzichte van de huidige situatie.

Primaire waterkering

Waterkering welke beschermt tegen overstroming. Deze kering behoort tot een dijktraject waarvoor een norm is opgenomen in de Waterwet.

Probabilistische toets

Toets waarin de faalkans van een kering wordt bepaald, waarin rekening wordt gehouden met alle ter zake doende onzekerheden.

Proevenverzameling

Verzameling/steekproef van bepaalde gemeten waarden van grondeigenschappen ingedeeld naar geologische/geotechnische formatie.

Raai

Denkbeeldige lijn over water en-of land (rivier, dijk), uitgezet t.b.v. het verrichten van lodingen, metingen, monsternemingen.

RisKeer

Rekenprogramma waarmee, na invoering van de schematisering van een waterkering, met het faalmechanismemodel een analyse van de sterkte van de keringen ten opzicht van de belastingen kan worden uitgevoerd.

Samendrukkingsproef

Laboratoriumproef waarin de consolidatie-eigenschappen van een grondmonster worden bepaald door de verticale belasting op een grondmonster in een aantal stappen te verhogen. Het zettingsverloop in het monster wordt continu geregistreerd. Met de informatie uit deze proef kan de samendrukkingsconstante (C-waarde) en de consolidatiecoëfficiënt (Cv) van het monster worden bepaald.

Scenario

Alle onzekerheden die niet als nette/continue kansverdeling zijn weer te geven, kunnen in de beoordeling als scenario's worden weergegeven, daarbij kan gedacht worden aan onzekerheden in ondergrond en dijkopbouw met de al dan niet daaraan gerelateerde waterspanningen.

Schadefactor

Partiële veiligheidsfactor die verband houdt met schade. Deze factor brengt de mate waarin de vereiste betrouwbaarheid afwijkt van het basisbetrouwbaarheidsniveau in rekening

Schematiseringshandleiding

Handleiding waarin voor een of meer toetssporen staat hoe de relevante aspecten geschematiseerd moeten worden om de kering te kunnen beoordelen.

Schuifsterkte

De mobiliseerbare sterkte van de grond langs het schuifvlak.

Schuifsterkteparameters

Parameters benodigd voor het uitvoeren van schuifsterkte analyses (glijvlakanalyse) van een waterkering. Dit zijn: Cohesie c' en hoek van inwendige wrijving φ' (voor gedraineerde schuifsterkte analyses) en de normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkteratio S , de overgeconsolideerde ongedraineerde schuifsterkteratio s_u / σ'_{vd} , de grensspanning s'_{vy} , de overconsolidatieratio OCR en de sterkte toename exponent m (voor ongedraineerde analyses).

Segmentgrens

Grens tussen twee volgens het WTI-SOS opgedeelde segmenten. Elk segment heeft zijn eigen scenario's van mogelijke soorten van grondopbouw.

Semi-probabilistische toets

Toets om te analyseren of de kering voldoet aan de betrouwbaarheidseis op basis van karakteristieke waarden en veiligheidsfactoren.

Signaleringswaarde

Overstromingskans van het dijktraject waarvan overschrijding gemeld moet worden aan de Minister van I en M.

Stabiliteitsfactor

Door een glijvlakanalyse berekende waarde. De stabiliteitsfactor wordt gebruikt om de faalkans van een kering te berekenen.

Standaardafwijking

Maat voor de variatie van de waarde van een stochastische variabele.

Sterktetoename-exponent

Schuifsterkte parameter voor de ongedraineerde schuifsterkte analyse. De sterkte toename exponent bepaalt de mate waarin het effect van de belastinggeschiedenis doorwerkt in de ongedraineerde schuifsterkte (Duinen, 2014).

Stochastische ondergrondschematisatie

Bij de opbouw van de ondergrond is variabel. Deze variabele wordt in WTI-SOS weergegeven in verschillende scenario's met kansen van aantreffen van ieder scenario.

Toets

Onderdeel van de toetsprocedure waarmee bepaald wordt of een vak of een traject voldoet aan de eisen.

Toetsoordeel

Resultaat van een eenvoudige toets, gedetailleerde toets of een toets op maat.

Toetsoordeel per vak

Resultaat van een toetsspoor per vak.

Toetsoordeel per traject

Resultaat van een toetsspoor of combinatie van toetssporen voor een dijktraject.

Toets op maat

Toets op basis van een analyse/analyses die in een specifieke situatie beter aansluiten bij de lokale situatie.

Toetsspoor

De wijze waarop een mechanisme of een onderdeel van de waterkering wordt beoordeeld.

Toetsvoorschrift

Beschrijving van de manier voor het bepalen van een toetsoordeel. De voorschriften bevatten de beoordeling per toetsspoor.

Toplaag

Buitenste verdedigingslaag van een taludbekleding

Triaxiaalproef

Laboratoriumproef waarmee de schuifsterkte en het vervormingsgedrag van grondmonsters wordt bepaald.

Vak

Dijkdoorsnede, duinenraai of kunstwerk.

Variatiecoëfficiënt

Quotiënt van de standaarddeviatie en de verwachtingswaarde

Veiligheidsoordeel

Oordeel over de veiligheid tegen overstromen van het dijktraject

Verwachtingswaarde

Verwachte uitkomst van het gemiddelde.

Waternet Creator

Onderdeel van het rekenprogramma RisKeer voor het uniform schematiseren van waterspanningen.

Waterspanning

Druk van het grondwater in de grond.

Waterstand bij de norm

Maatgevende waterstand met een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de overstromingskans.

Waterstandsverlooptlijn

Lijn welke het verloop van de waterstand in de tijd weergeeft.

Watersysteem

Het geheel aan dijken, gemalen, rivieren, sloten en kanalen dat ons beschermt tegen overstromingen en dat zorgt voor de gewenste aan- en afvoer van water.

Bronnenlijst

Internet

Overheid.nl (2009-a). *Waterwet, Bijlage II Normen voor dijktrajecten als bedoeld in artikel 2.2, eerste lid (signaleringswaarden)*. Geraadpleegd op 20 juni 2017, van <http://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/2017-01-01#BijlageII>

Overheid.nl (2009-b). *Waterwet, Bijlage III Normen voor dijktrajecten als bedoeld in artikel 2.2, tweede en derde lid (ondergrenzen)*. Geraadpleegd op 20 juni 2017, van <http://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/2017-01-01#BijlageIII>

Rijksoverheid (z.d.). *Factsheet macrostabiliteit binnenwaarts STBI*. Geraadpleegd op 15 juni 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/#h0e17471e-54ef-4bc6-9a95-b5582ef2bd43](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/#h0e17471e-54ef-4bc6-9a95-b5582ef2bd43)

Rijksoverheid (z.d.-a). *Producten WBI*. Geraadpleegd op 21 februari 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Rapporten

Barends, F.B.J. (2004). *Technisch rapport waterspanningen bij dijken*. Geraadpleegd op 16 mei 2017, van <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Abf74eeaf-dc41-43fc-9c94-acd70f4a8340>

Bruin, H. De, Vries, G. De, 't Hart, R. (2016). *Voorschrift Toetsen op Veiligheid, Technisch Deel (WTI 2017)*. Geraadpleegd op 29 mei 2017, van http://publications.deltares.nl/1220078_000a.pdf

Diermanse, F., Lam, K.S., Knoeff, H. (2016). *Assemblageprotocol WBI2017*. Geraadpleegd op 14 juni 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Hijma, M., Lam, K.S. (2015). *Globale stochastische ondergrondschematisatie (WTI-SOS) voor de primaire waterkeringen*. Geraadpleegd op 21 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Kruse, G., Hijma, M. (2015). *WTI2017: Handleiding lokaal schematiseren met WTI-SOS*. Geraadpleegd op 21 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2016). *Achtergronden bij de normering van de primaire waterkeringen in Nederland, hoofdrapport*. Geraadpleegd op 14 maart 2017, van <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/nieuwe-normering/>

Rijkswaterstaat (9-2016). *Fenomenologische beschrijving faalmechanismen WBI*. Geraadpleegd op 16 mei 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Rijkswaterstaat (2017). *Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, versie OI2014v4*. Geraadpleegd op 2 juni 2017, van <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/ontwerpen-beheer/>

Rijkswaterstaat (z.d.a). *Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage I Procedure*. Geraadpleegd op 14 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Rijkswaterstaat (z.d.-b). *Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid*. Geraadpleegd op 14 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Rijkswaterstaat (z.d.-c). *Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage II Voorschriften bepaling hydraulische belasting primaire waterkeringen*. Geraadpleegd op 14 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Rijkswaterstaat (2016). *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit, WBI2017*. Geraadpleegd op 8 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Bijlage 1: Gebruikte documenten

Hieronder worden de belangrijkste documenten voor dit onderzoek benoemd en wordt kort de inhoud van ieder document toegelicht.

In *Bijlage 1 Procedure* (Rijkswaterstaat, z.d.-a) wordt globaal de beoordeling beschreven. Uit welke fasen bestaat de beoordeling met korte toelichting. Het algemene filter voor de uitvoering wordt beschreven. De te nemen onderdelen van de toetsprocedure worden kort beschreven, wat vervolgstappen kunnen zijn en hoe het toetsoordeel en veiligheidsoordeel tot stand komt.

In *Bijlage II Voorschriften bepaling hydraulische belasting primaire waterkeringen* (Rijkswaterstaat, z.d.-c) wordt ingegaan op de manier waarop de hydraulische belastingen bepaald moeten worden.

In *Bijlage III Sterkte en veiligheid van Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017* (Rijkswaterstaat, z.d.-b) wordt dieper ingegaan op de verschillende toetssporen en de uit te voeren toetsen per toetsspoor. Algemeen wordt ook ingegaan op de hydraulische belastingen, het schematiseringsproces en het assembleren van het toetsoordeel tot veiligheidsoordeel.

De *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit* (Rijkswaterstaat, 2016) is de leidraad voor het uitvoeren van de beoordeling op macrostabiliteit. De verschillende toetsen, hydraulische belastingen, benodigde gegevens voor de schematisatie en de manier van schematiseren en de benodigde parameters worden uitgebreid beschreven. Daarnaast zijn twee voorbeeldcases opgenomen. Tevens bevat het enkele bijlagen waarin onder andere het faalmechanisme met gebruikte modellen, de geologische eenheden in WTI-SOS, en aanbevelingen en protocollen voor boringen, sonderingen en laboratoriumproeven. Dit document is niet toereikend, voor diepgang en/of achtergronden wordt verwezen naar andere documenten.

De *Handleiding lokaal schematiseren met WTI-SOS* (Kruse, Hijma, 2015) is het basisdocument voor informatie over de Stochastische Ondergrond Schematisatie. WTI-SOS wordt in het algemeen beschreven en uitgelegd, waarna stappen in het schematiseringsproces worden besproken. Daarnaast worden aandachtspunten besproken voor het lokaal schematiseren en wordt ingegaan op de eisen aan grondonderzoek voor gebruik in WTI-SOS. Ten slotte zijn voorbeelden opgenomen.

In het *Assemblageprotocol WBI2017* (Diermanse, Lam, Knoeff, 2016) staat beschreven hoe het veiligheidsoordeel per traject verkregen kan worden door het combineren van verschillende toetsoordelen. Dit document is van belang voor de gedetailleerde toets op macrostabiliteit per traject (de probabilistische toets). In het assemblageprotocol zijn ook voorbeelden opgenomen voor het assembleren.

In de *Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, versie OI2014v4* (Rijkswaterstaat, 2017) wordt uitgelegd hoe van norm naar faalkanseis overgegaan kan worden, de ontwerpbelastingen worden besproken, waarna per toetsspoor globaal de belangrijkste aspecten worden besproken, zoals het materiaalmodel, het glijvlak en de partiële veiligheidsfactoren.

In het *Basisrapport WBI2017* (Waal, 2016) worden de achtergronden voor het WBI2017 globaal besproken. Op de Wet en de manier van beoordelen wordt ingegaan, de probabilistische manier van rekenen wordt toegelicht, de toetssporen met bijbehorende mechanismen worden afgekaderd en de benodigde software wordt besproken. In de bijlagen wordt onder andere een overzicht van de watersystemen, de toetssporen, de hydraulische belastingparameters en de WBI Software gegeven.

Achtergronden bij de normering van de primaire waterkeringen in Nederland Hoofdrapport (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016) bespreekt de normering van de dijken. De nieuwe norm wordt besproken, de manier waarop de eisen aan de waterkeringen wordt afgeleid en hoe de normhoogten worden afgeleid.

Handreiking voor het bepalen van schuifsterkte parameters (Duinen, 2014) is de leidraad voor rekenen met de ongedraineerde schuifsterkte. Deze schuifsterkte wordt toegepast bij cohesieve grondsoorten in de gedetailleerde toets en toets op maat. Het nieuwe model grondgedrag (CSSM) wordt besproken, de manier waarop van grof naar fijn gewerkt kan worden bij het gebruik van het schuifsterktemodel. Het verschil tussen de gedraineerde en gedraineerde schuifsterkte en het verschil tussen de ultimate state en critical state worden beschreven. Verder wordt ingegaan op de manier van bepalen van parameters. In de bijlagen zijn protocollen en aanbevelingen opgenomen voor boren, sonderen en het uitvoeren van laboratoriumproeven.

Wanneer in deze documenten werd verwezen naar andere documenten, werden die documenten opgezocht en bestudeerd. Hieruit werd de relevante informatie opgenomen in de bijbehorende documenten.

Bronnenlijst

Rapporten

Diermanse, F., Lam, K.S., Knoeff, H. (2016). *Assemblageprotocol WBI2017*. Geraadpleegd op 14 juni 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Duinen, A. van. (2014). *Handreiking voor het bepalen van schuifsterkteparameters*. Geraadpleegd op 8 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/vragen/macrostabiliteit/macrostabiliteit/welke-situatie/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/vragen/macrostabiliteit/macrostabiliteit/welke-situatie/)

Kruse, G., Hijma, M. (2015). *WTI2017: Handleiding lokaal schematiseren met WTI-SOS*. Geraadpleegd op 21 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2016). *Achtergronden bij de normering van de primaire waterkeringen in Nederland, hoofdrapport*. Geraadpleegd op 14 maart 2017, van <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/nieuwe-normering/>

Rijkswaterstaat (2017). *Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, versie OI2014v4*. Geraadpleegd op 2 juni 2017, van <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/ontwerpen-beheer/>

Rijkswaterstaat (z.d.-a). *Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage I Procedure*. Geraadpleegd op 14 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Rijkswaterstaat (z.d.-b). *Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid*. Geraadpleegd op 14 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Rijkswaterstaat (z.d.-c). *Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage II Voorschriften bepaling hydraulische belasting primaire waterkeringen*. Geraadpleegd op 14 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Rijkswaterstaat (2016). *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit, WBI2017*. Geraadpleegd op 8 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

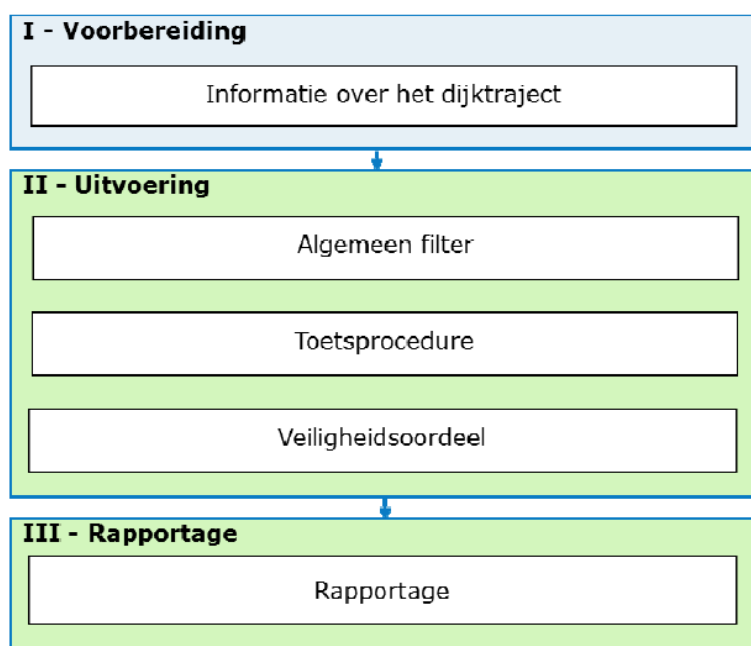
Waal, J.P. de. (2016, september). *Basisrapport WBI2017, versie 1.1*. Geraadpleegd op 14 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Bijlage 2: Stappen en toetsen in de beoordeling voor STBI

In deze bijlage worden de stappen beschreven welke genomen moeten worden voor de beoordeling van de macrostabiliteit binnenwaarts (STBI). Eerst zal in het kort het beoordelingsproces worden beschreven, waarna de individuele stappen worden toegelicht. De voorbereiding en rapportage zullen globaal worden behandeld. De uitvoering van de beoordeling zal in detail beschreven worden. In bijlage 3 worden de benodigde geotechnische gegevens, onderzoeken en berekeningen voor de verschillende toetsen besproken.

2.1 Beoordelingsproces

De beoordeling bestaat uit drie fasen: voorbereiding, uitvoering en rapportage. In onderstaande Figuur 2.1 (Rijkswaterstaat, z.d.-a) is de beoordeling geschematiseerd.



Figuur 2.1. Fasen en onderdelen van fasen in de beoordeling (Rijkswaterstaat, z.d.-a, p. 8).

2.1.1 Voorbereiding

In de voorbereidende fase gaat het vooral om het verzamelen van de benodigde gegevens voor de beoordeling, waaronder de schematisatie van het dijklichaam en de ondergrond. De schematisatie moet per faalmechanisme voor elk dijkvak worden opgesteld. Voor schematisatie van de dijk wordt het D-Soil Model gebruikt en de schematisering van de ondergrond wordt uitgevoerd met een Stochastische Ondergrond Schematisatie (WTI-SOS). Door aan verschillende samenstellingen van de ondergrond een kans van voorkomen te koppelen, worden met de WTI-SOS onzekerheden over de ondergrondgegevens meegenomen in de beoordeling (Rijkswaterstaat, z.d.-a). De schematisatie van de ondergrond en het dijklichaam worden in RisKeer ingevoerd. RisKeer is een, speciaal voor het WBI2017 opgestelde, applicatie waarmee met een faalmechanismemodel de sterkte van de kering ten opzichte van de belastingen geanalyseerd kan worden (Rijksoverheid, z.d.-d). In bijlage 4 van dit rapport zal de Stochastische Ondergrond Schematisatie verder worden besproken.

In onderstaande Figuur 2.2 (Rijksoverheid, z.d.-b) zijn de stappen, welke in de voorbereiding gevolgd moeten worden, geschematiseerd. De stap ‘toetsing uitvoeren’ behoort tot de ‘uitvoering’ van de beoordeling.



Figuur 2.2. Dataroom (Rijksoverheid, z.d.-b).

2.1.1.1 Hydraulische belastingen

Voor het berekenen van de overstromingskans moeten de hydraulische belastingen worden bepaald. Voor de beoordeling van de macrostabiliteit zijn onderstaande hydraulische parameters benodigd (Rijkswaterstaat, 2016):

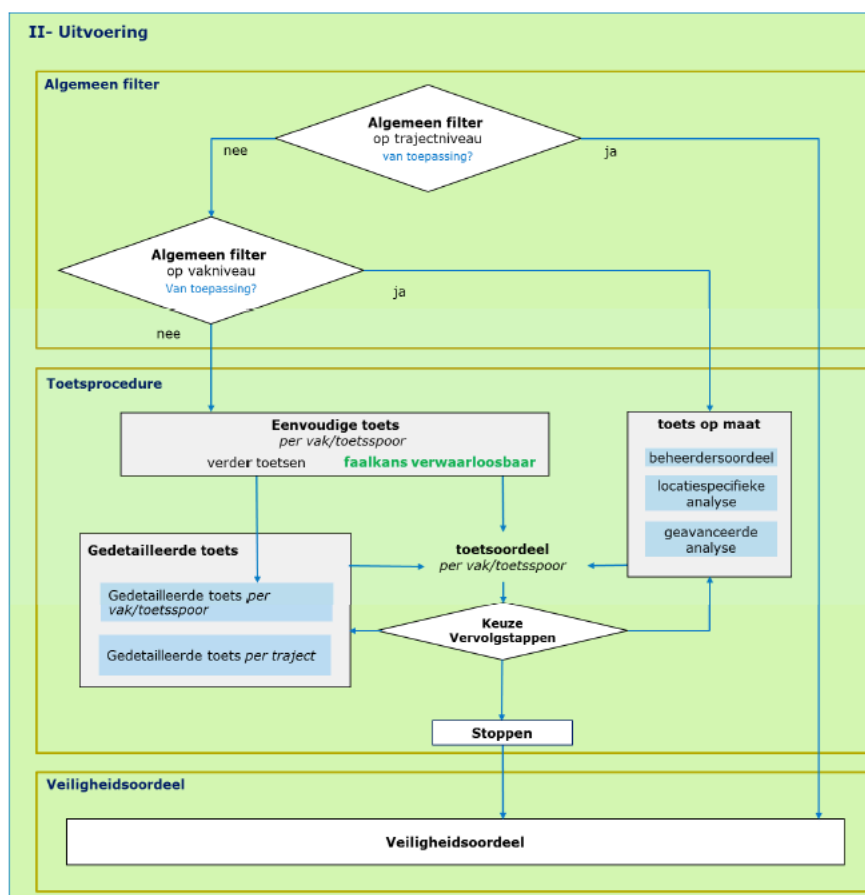
- De waterstand bij de norm.
- Het waterstandsverloop bij de maatgevende belasting.
- De gemiddelde en de lage buitenwaterstanden.
- De golfhoogten.
- De golfperiodes.
- De golfrichtingen.
- Bij de probabilistische beoordeling zijn de statistische gegevens van de waterstanden nodig.

Deze hydraulische parameters worden ingevoerd in numerieke modellen, zoals WAQUA en SWAN, en de software “Waterstandsverloop” om de lokale belastingen en het waterstandsverloop te kunnen bepalen. De bepaalde belastingen worden opgeslagen in een database om gebruikt te worden voor de probabilistische berekening. Deze berekening wordt uitgevoerd in de probabilistische rekenkern van de RisKeer applicatie. De probabilistische rekenkern combineert de sterkte van een kering met de belasting op een kering (Rijksoverheid, z.d.-c).

In dit rapport wordt verder niet in detail ingegaan op de hydraulische belastingen. In paragraaf 3.3 van de schematiseringshandleiding macrostabiliteit staan de hydraulische belastingen globaal beschreven. Voor een gedetailleerde beschrijving van de hydraulische belastingen moet het rapport “Bijlage II Hydraulische belastingen” van de Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 (Rijkswaterstaat, z.d.-c) worden geraadpleegd.

2.1.2 Uitvoering

De uitvoering bestaat de daadwerkelijke toetsing van de toetssporen, het afleiden van de hydraulische belastingen en het opstellen van het veiligheidsoordeel over het dijktraject (Rijksoverheid, z.d.-a). In onderstaande Figuur 2.3 (Rijkswaterstaat, z.d.-a) is de uitvoering schematisch weergegeven. Als eerste wordt het algemeen filter toegepast, waarna de toetsprocedure wordt uitgevoerd en tenslotte wordt het veiligheidsoordeel opgesteld. In onderstaande paragrafen worden deze stappen uitgewerkt.



Figuur 2.3. Schematische weergave van de uitvoering (Rijkswaterstaat, z.d.-a, p. 20).

2.1.2.1 Algemeen filter

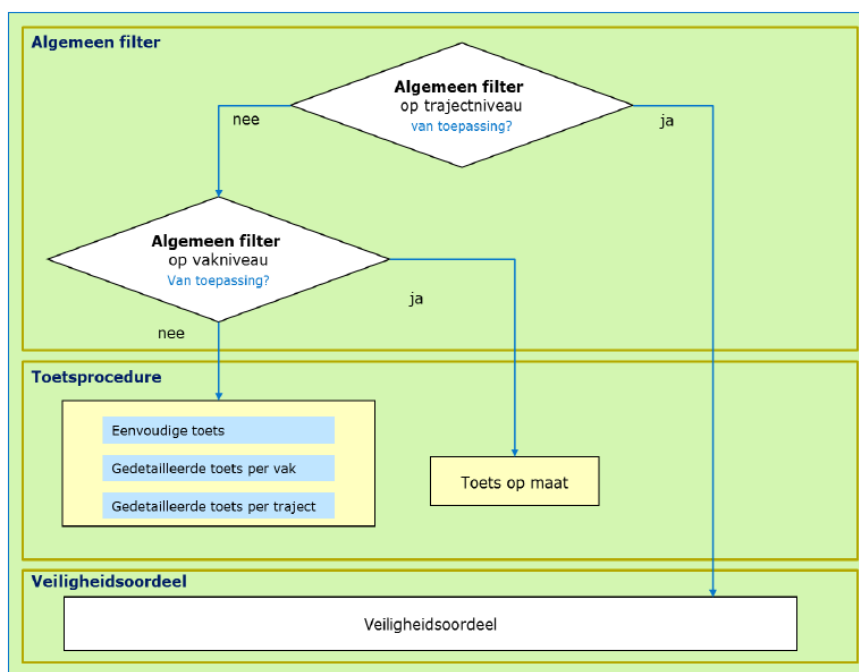
Met het algemeen filter kan bepaald worden of zonder verdere toetsen een traject meteen al beoordeeld kan worden (Rijkswaterstaat, z.d.-a). Dit filter bestaat uit een aantal criteria. Voldoen de trajecten en vakken niet aan de voorwaarden van de twee filters, dan moet de beoordeling voortgezet worden met de eenvoudige toets. Wanneer een traject aan het algemeen filter op trajectniveau voldoet, kan een veiligheidsoordeel opgesteld worden. Met het filter op trajectniveau worden dijktrajecten geselecteerd waarvan de berekende overstromingskans veel groter of kleiner is dan de signaleringswaarde. Deze trajecten zijn opgenomen in respectievelijk tabel 1 en tabel 2 van appendix C van Bijlage I Procedure regeling veiligheid primaire waterkeringen (Rijkswaterstaat, z.d.-a). In voorgenoemde bijlage is in paragraaf 3.1 het algemeen filter beschreven. Wanneer het filter op vakniveau van toepassing is, zal direct begonnen moeten worden met een toets op maat. Het filter

op vakniveau geldt per vak en per toetsspoor (Rijkswaterstaat, z.d.-a). In paragraaf 3.1.3 van Bijlage I Procedure regeling veiligheid primaire waterkeringen (Rijkswaterstaat, z.d.-a) wordt het filter op vakniveau besproken. Op pagina 13 van voorgenoemde bijlage (Rijkswaterstaat, z.d.-a) staat dat het filter op vakniveau van toepassing is als wordt voldaan aan één of beide van de onderstaande criteria:

- “Toepassen van de generieke toetsen voor een vak voor één of meer toetssporen leidt niet tot een betrouwbaar oordeel.
- Het direct uitvoeren van een toets op maat leidt met minder inspanning tot een vergelijkbaar resultaat als het toepassen van de voorschriften uit het WBI2017”.

2.1.2.2 Toetsprocedure

De trajecten die niet voldoen aan de voorwaarden in het algemeen filter zullen verder beoordeeld moeten worden met de toetsprocedure. In Figuur 2.4 (Rijkswaterstaat, z.d.-a) is te zien dat de toetsprocedure uit vier verschillende toetsen bestaat. In deze toetsprocedure moeten van elk dijktraject de relevante toetssporen worden beoordeeld. Het dijktraject moet hiervoor in vakken worden opgedeeld. In de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016) staat beschreven hoe de vakindeling moet plaatsvinden. Van ieder vak worden de toetssporen apart beoordeeld, waarna de resultaten van de vakken van het traject worden samengevoegd. Dit leidt tot een toetsoordeel per toetsspoor en een veiligheidsoordeel per traject. Voor elk toetsspoor zijn verschillende gegevens nodig voor de beoordeling. Het WBI 2017 bevat verschillende toetssporen, waaronder het toetsspoor macrostabiliteit. Het toetsspoor voor macrostabiliteit bestaat uit een eenvoudige toets, een gedetailleerde toets per vak, een gedetailleerde toets per traject en een toets op maat.



Figuur 2.4. Het algemene filter (Rijkswaterstaat, z.d.-a, p. 11).

Toetsen van grof naar scherp (Rijksoverheid, z.d.-e).

De toetsen in de toetsprocedure gaan in stappen van eenvoudig naar complex, zoals geïllustreerd is in Figuur 2.5 (Rijksoverheid, z.d.-e). Voor beoordeling van de primaire waterkering zijn de voorschriften voor de eenvoudige en gedetailleerde toets generiek; deze houden geen rekening met specifieke lokale omstandigheden. In de toets op maat wordt wel rekening gehouden met locatie specifieke omstandigheden.

Met de eenvoudige toets kan met beslisregels worden beoordeeld of de kans op een overstroming voor een bepaald faalmechanisme verwaarloosbaar klein is. De gedetailleerde toets is opgesplitst in een toets op vakniveau en een toets op trajectniveau. Deze toetsen worden probabilistisch of semi probabilistisch berekend. De toets voor macrostabiliteit op vakniveau wordt semi-probabilistisch berekend (Rijksoverheid, z.d.-e), in de toets op trajectniveau wordt probabilistisch gerekend. Het WBI2017 beschrijft, per toetsspoor, hoe de gedetailleerde toets moet worden uitgevoerd. Deze informatie is te vinden in Bijlage III Sterkte en veiligheid (Rijkswaterstaat, z.d.-b) en in de schematiseringshandleidingen van de verschillende toetsspooren. Voor de toets op maat wordt alleen de te volgen procedure voorgeschreven.



Figuur 2.5. Toetsen van grof naar scherp (Rijksoverheid, z.d.-e).

2.1.2.3 Veiligheidsoordeel

Na het afronden van de toetsprocedure of na een positieve uitkomst van het algemeen filter moet het veiligheidsoordeel opgesteld worden. Het veiligheidsoordeel is het oordeel over het gehele traject, waarbij rekening moet worden gehouden met alle relevante toetsspooren. De toetsoordelen per vak en per toetsspoor worden per traject gecombineerd. Dit combineren wordt het assembleren van de toetsoordelen genoemd. Het assembleren leidt tot een van de volgende drie oordelen: de waterkering 'voldoet' aan de norm, de waterkering 'voldoet niet' aan de norm of 'geen oordeel'. De beschrijving van het assembleren valt buiten het bereik van dit rapport. In het "Assemblageprotocol WBI2017" (Deltares, 2016) wordt de assemblage beschreven.

2.2 Rapportage

In de derde fase wordt de toestand van het dijktraject beschreven. In de rapportage wordt onder andere beschreven wat het veiligheidsoordeel is, wat de te treffen voorzieningen zijn en wat het veiligheidsoordeel is ten opzichte van aanvullende eisen. In dit rapport wordt verder niet ingegaan op de rapportage. In hoofdstuk 4 van de Bijlage I Procedure regeling veiligheid primaire waterkeringen (Rijkswaterstaat, z.d.-a) wordt de rapportage toegelicht.

2.3 Toetsprocedure

De toetsprocedure bestaat in het WBI2017 uit vier soorten toetsen: de eenvoudige toets per vak, de gedetailleerde toets per vak, de gedetailleerde toets per traject en de toets op maat. In onderstaande paragrafen worden deze toetsen beschreven.

2.3.1 Eenvoudige toets

Met de eenvoudige toets wordt met beslisregels gecontroleerd of de kans op falen door een bepaald faalmechanisme voldoende klein is.

De eenvoudige toets bestaat uit drie stappen:

Stap 1: Bepalen of de waterkering een dijk of dam is.

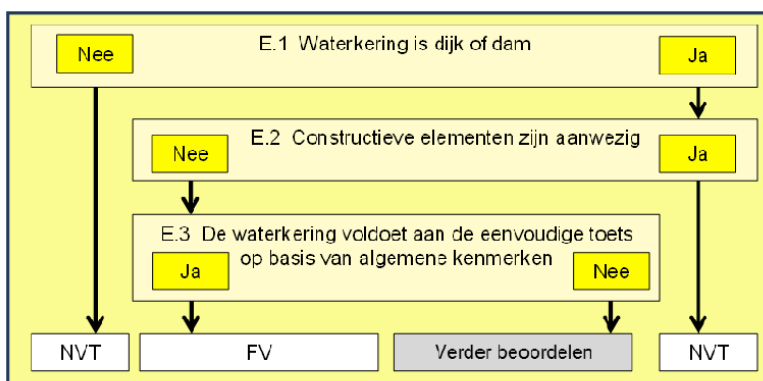
Als het grondlichaam een duin is, dan wordt de toets op macrostabiliteit uit het WBI2017 niet uitgevoerd, maar wordt het grondlichaam beoordeeld als duinwaterkering (Rijkswaterstaat, 2016).

Stap 2: Bepalen of constructieve elementen aanwezig zijn in de waterkering.

Wanneer zich constructieve elementen of kunstmatig versterkte grondkolommen of lagen in de waterkering bevinden is de toets op macrostabiliteit niet van toepassing. Afhankelijk van het type object zal de macrostabiliteit binnenwaarts (STBI) worden beoordeeld via een van de volgende drie toetssporen uit het WBI2017: sterkte en stabiliteit puntconstructie, sterkte en stabiliteit langsconstructie of technische innovatie (Rijkswaterstaat, 2016).

Stap 3: Controle of de waterkering voldoet aan de eenvoudige toets op basis van algemene kenmerken.

Deze bovenstaande stappen zijn weergegeven in Figuur 2.6 (Rijkswaterstaat, 2016).



Figuur 2.6. Schema eenvoudige toets macrostabiliteit binnenwaarts (Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 27).

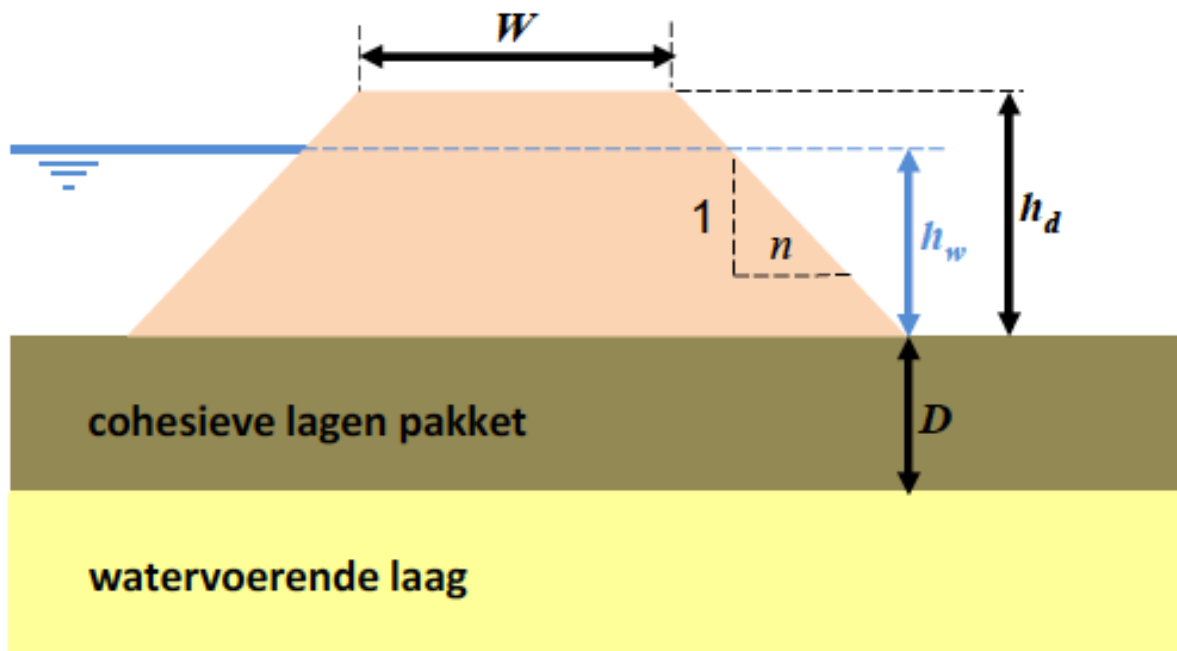
In stap 3 van de eenvoudige toets wordt per vak gecontroleerd of de waterkering voldoet aan de algemene kenmerken, zodat gesteld kan worden dat voldoende restprofiel overblijft na het optreden van een afschuiving (Rijkswaterstaat, z.d.-b). De geometrie van de waterkering en de opbouw van de ondergrond worden hier vastgesteld. Dit kan een sterk vereenvoudigde geometrie van het grondlichaam zijn. In Figuur 2.7 (Rijkswaterstaat, 2016) zijn de benodigde gegevens weergegeven. Deze eenvoudige toets is bedoeld voor dijken met flauwe taluds en /of brede kruinen. Een eventuele

aanwezige stabiliteitsberm wordt genegeerd; de beoordeling vindt plaats met weglating van de stabiliteitsberm (Rijkswaterstaat, 2016).

Bijlage III Sterkte en veiligheid (Rijkswaterstaat, z.d.-b; p.14) beschrijft de volgende algemene uitgangspunten voor de eenvoudige toets:

- “Voor de eenvoudige toets wordt een dijktraject voor elk toetsspoor opgedeeld in vakken. Per toetsspoor wordt de wijze van oordelen beschreven in de schematiseringshandleidingen.
- Resultaat van een beslisregel is de conclusie dat wel of niet aan de voorwaarde van voldoende kleine kans op falen wordt voldaan.
- Eenvoudige beslisregels zijn gebaseerd op eenvoudig in te winnen gegevens. De beslisregels zijn gebaseerd op historische analyses, (gebieds)eigenschappen met betrekking tot de waterkering en eenvoudige relaties”.

Deze toets is uitvoerbaar voor een kleidijk en voor een zanddijk met eventueel een kleiafdekking. Via deze toets kan geen oordeel geveld worden over een dijk waarin, hoger dan het binnendijkse maaiveldniveau, veenlagen voorkomen. Valt de geometrie, de ondergrond of de waterstand bij de norm buiten het geldigheidsgebied van de eenvoudige toets, dan moet de gedetailleerde toets uitgevoerd worden (Rijkswaterstaat, 2016).



Figuur 2.7. Parameters eenvoudige toets STBI (Rijkswaterstaat, 2016, p. 24).

Op pagina 22 van de Handleiding macrostabiliteit worden de parameters uit Figuur 2.7 toegelicht (Rijkswaterstaat, 2016):

- “Kruinbreedte (W) in meters.
- Binnentaludhelling $1:n$, is de gemiddelde helling van het binnentalud. Bij een gekromd talud wordt de gemiddelde helling van de bovenste helft genomen. Een eventueel aanwezige berm wordt dus niet meegerekend.
- Dijkhoogte h_d , is het hoogteverschil tussen de kruinhoogte van de dijk en het maaiveld bij de binnenteen van de dijk in meters. Bij een brede watergang binnendijks wordt de dijkhoogte gemeten vanaf de kruin tot de bodem van de watergang.
- Dikte cohesieve lagenpakket D , is de dikte van de grondlagen gemeten vanaf het maaiveld bij de binnenteen van de dijk tot de bovenkant van een watervoerende zandlaag in meters. Bij toepassing van de Stochastische Ondergrond Schematisatie wordt het ondergrondscenario met het dikste pakket cohesieve lagen gekozen. Wanneer er binnendijks een brede watergang is, wordt de dikte van de grondlagen gemeten vanaf de bodem van de watergang tot de bovenkant van de watervoerende zandlaag. Een brede watergang is een watergang met een breedte die groter is dan de hoogte van de kering (h_d).
- Buitenwaterstand bij de norm boven het maaiveld binnendijks h_w in meters. De buitenwaterstand bij de norm wordt bepaald volgens de beschrijving in Bijlage II Hydraulische belastingen van het WBI2017.
- Opbouw van de dijk: klei of zand”.

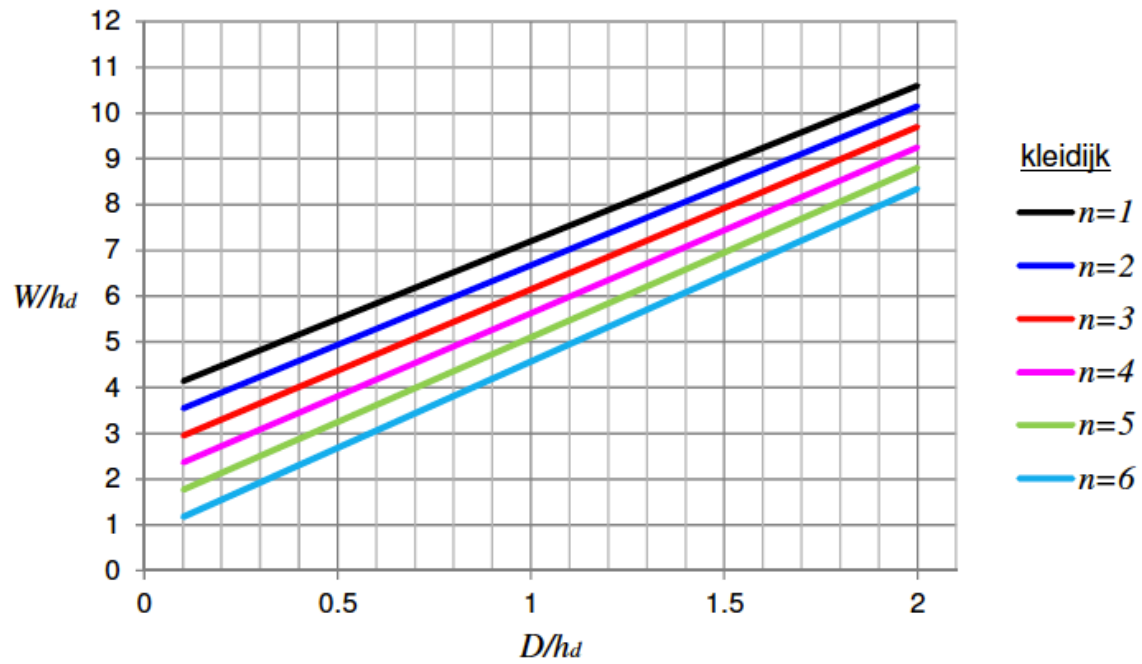
Voorwaarden voor gebruik van de eenvoudige toets is dat:

- $3 \leq W \leq 30 \text{ m}$
- $1 \leq n \leq 6$
- $h_w \leq \frac{2}{3} \cdot h_d$

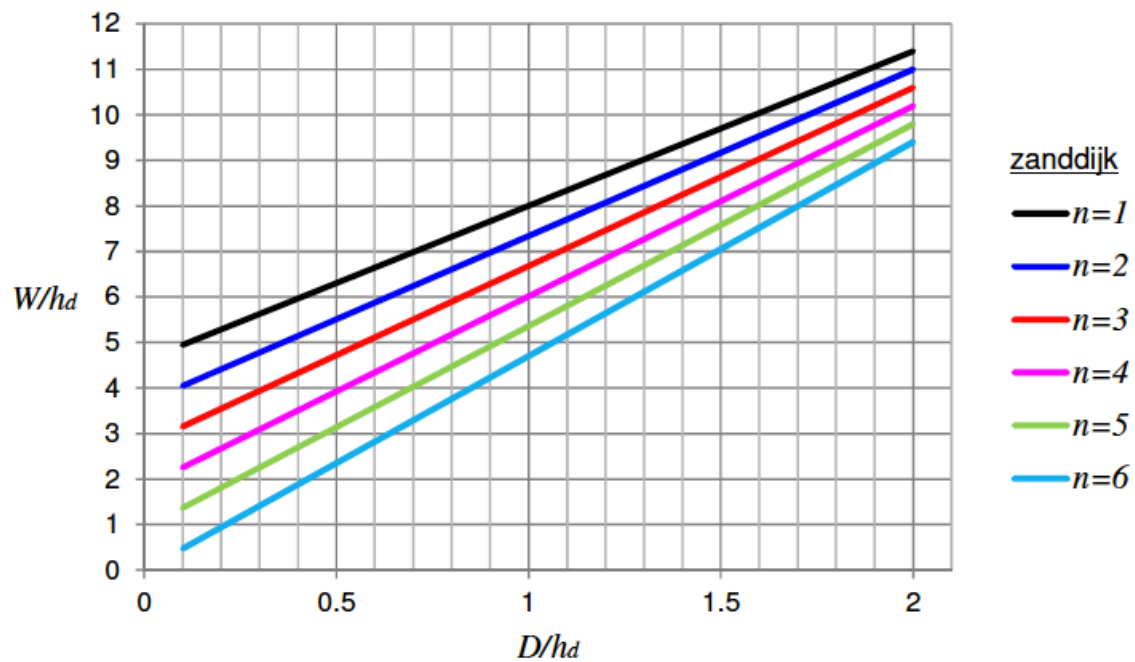
Als aan deze voorwaarden voldaan wordt, dan wordt de onderstaande toets uitgevoerd.

In Bijlage III Sterkte en veiligheid van het WBI2017 (Rijkswaterstaat, z.d.-b) staan op pagina 29 twee grafieken; een contourplot met veilige afmetingen voor een kleidijk (5-3) en een contourplot met veilige afmetingen voor een zanddijk (5-4). Figuur 5-4 (Rijkswaterstaat, z.d.-b) moet ook gebruikt worden voor zanddijken met een kleiafdekking en voor dijken van gemengde opbouw, waarbij veenlagen zijn uitgesloten (Rijkswaterstaat, z.d.-b). De twee figuren zijn hieronder weergegeven in respectievelijk Figuur 2.8 en 2.9 (Rijkswaterstaat, z.d.-b). Voor het aflezen van deze grafieken zijn de parameters W , n , h_d en D uit Figuur 2.7 nodig. Vermeld moet worden dat de Figuren 2.8 en 2.9 gebaseerd zijn op:

- “De aanname dat de stijghoogte in de watervoerende zandlaag gelijk is aan de buitenwaterstand; als de binnendijkse slecht doorlatende deklaag daardoor opgedrukt wordt, is de stijghoogte gereduceerd tot het gewicht van de deklaag (Rijkswaterstaat, 2016).
- Een conservatieve keuze voor de schuifsterkteparameters (Rijkswaterstaat, 2016)”.



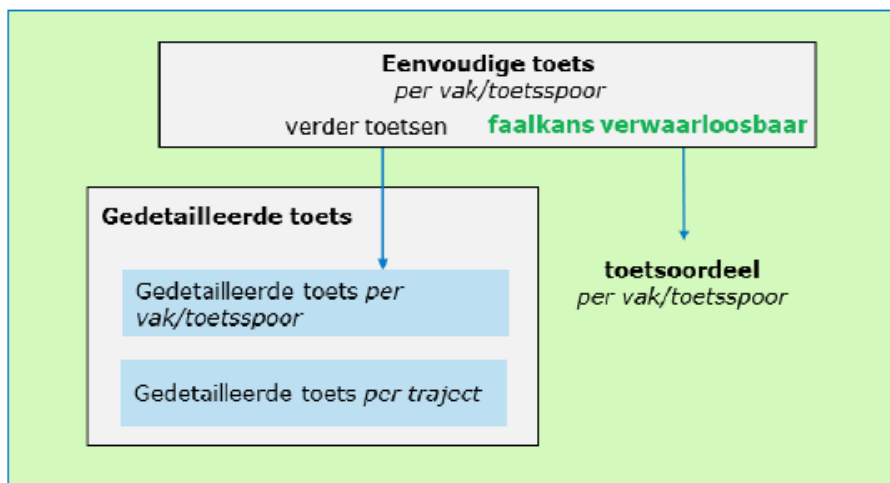
Figuur 2.8. Contourplot met veilige afmetingen kleidijk (Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 29).



Figuur 2.9. Contourplot met veilige afmetingen zanddijk (Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 29).

In beide figuren is op de verticale as het quotiënt van de kruinbreedte W en de dijkhoogte h_d weergegeven. Op de horizontale as staat het quotiënt van de dikte van het cohesieve lagen pakket D en de dijkhoogte h_d . De gekleurde lijnen zijn de lijnen voor de taludhellingen 1: n , voor $n = 1$ tot en met $n = 6$ (Rijkswaterstaat, 2016).

Voor macrostabiliteit binnenwaarts heeft de dijk veilige afmetingen als het snijpunt van de lijnen van de twee quotiënten, W/h_d en D/h_d , boven de bijbehorende lijn voor de helling van het binnentalud ligt en wanneer de te keren waterhoogte kleiner of gelijk is aan $\frac{2}{3}$ van de dijkhoogte (h_d). De faalkans is dan verwaarloosbaar (FV). Dit resultaat is een faalkans per vak. Wanneer niet aan een van deze twee eisen wordt voldaan, dan kan op basis van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld. Als dit het geval is, zal de beoordeling voortgezet moeten worden met een gedetailleerde toets per vak (Rijkswaterstaat, z.d.-b). De beheerder kan ook vooraf zelf de keuze maken om direct met de gedetailleerde toets per vak te beginnen en de eenvoudige toets over te slaan (Rijkswaterstaat, z.d.-a). In Figuur 2.10 (Rijkswaterstaat, z.d.-a) staan de stappen na de eenvoudige toets weergegeven.



Figuur 2.10. Stappen na eenvoudige toets (Rijkswaterstaat, z.d.-a, p. 15).

2.3.2 Gedetailleerde toets

In de gedetailleerde toets wordt de macrostabiliteit beoordeeld met een glijvlakanalyse. Hiervoor wordt het glijvlakmodel LiftVan gebruikt. Voor klei en veen gaat met de ongedraineerde schuifsterkte gerekend worden en wordt een nieuw schuifsterktemodel gebruikt, het Critical State Soil Model. Dit schuifsterktemodel gaat uit van schuifsterkte bij bezwijken van de grond. Voor klei en veen zullen door het nieuwe schuifsterktemodel andere sterkteparameters gebruikt moeten worden.

Voor diverse sterkteparameters zijn startwaarden bepaald. Deze startwaarden kunnen als uitgangspunt gebruikt worden, aanvullend kan nauwkeuriger beoordeeld worden door het uitvoeren van sonderingen, samendrukkingsproeven en triaxiaal- en direct simple shear proeven. De startwaarden en verdere stappen worden beschreven in de "Schematiseringshandleiding macrostabiliteit" (Rijkswaterstaat, 2016).

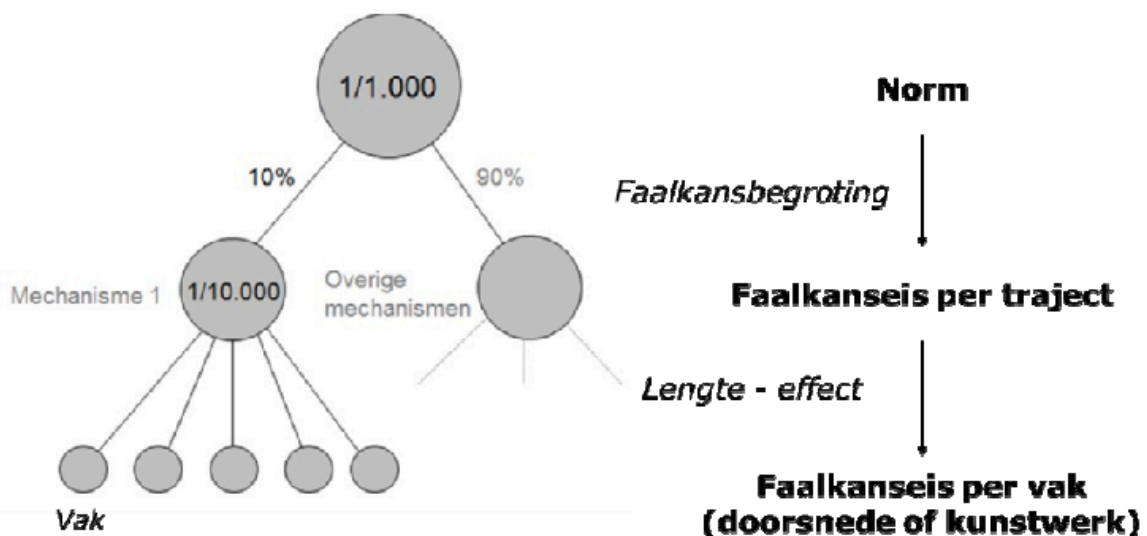
Deze toets voor macrostabiliteit wordt eerst uitgevoerd met stand alone software. Gepland is dat vanaf 2018 deze toets met RisKeer uitgevoerd kan worden. Binnen deze software bevindt zich Hydraring, de opvolger van Hydra-NL (Rijksoverheid, z.d.-e).

De gedetailleerde toets is in het WBI2017 opgesplitst in een semi-probabilistische toets per dijkvak en een probabilistische toets per dijktraject (Rijkswaterstaat, 2016). Bij een semi-probabilistische toets wordt met partiële veiligheidsfactoren gecontroleerd of voldaan wordt aan de faalkanseis. Hierin wordt gewerkt met een vaste faalkansverdeling. Met de probabilistische berekening wordt op basis van een vrije faalkansverdeling beoordeeld (Kin Sun Lam, 2016).

De eisen die aan het traject worden gesteld zijn afgeleid uit de wettelijke overstromingskans van het dijktraject, of wel de norm. Deze overstromingskans wordt in percentages onderverdeeld over de verschillende toetssporen, de faalkansbegroting, en daarna over de vakken door een lengte-effect in rekening te brengen (Rijkswaterstaat, z.d.-b en z.d.-a). De faalkansbegroting is de verdeling van de faalkansruimte over de verschillende toetssporen welke per toetsspoor wordt aangegeven met een faalkansruimtefactor ω . De faalkansruimtefactoren van de toetssporen zijn opgenomen in tabel 2-2 van Bijlage III Sterkte en veiligheid (Rijkswaterstaat, z.d.-b; p.16).

2.3.2.1 Berekenen faalkanseis per vak

Om van een maximaal toelaatbare overstromingskans per traject naar een faalkanseis voor een faalmechanisme per doorsnede te komen, moeten de twee stappen in onderstaande Figuur 2.11 (Rijkswaterstaat, z.d.-b) genomen worden. Hierin wordt per faalmechanisme, met behulp van een faalkansbegroting, een faalkanseis per traject berekend. Vanuit deze faalkanseis wordt met een berekening, waarin een toetsspoor afhankelijk lengte-effect factor wordt toegepast, een faalkanseis per vak bepaald. In de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016; p.16) staat op pagina 21 beschreven hoe de faalkanseis voor macrostabiliteit per vak moet worden berekend en hoe de faalkans voor het vak bepaald wordt.



Figuur 2.11. Bepalen van de faalkanseis per vak voor een toetsspoor (Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 15).

Hieronder is de wiskundige uitwerking van deze twee stappen beschreven.

De faalkanseis per traject voor een toetsspoor is:

$$\omega \cdot P_{\text{eis}} \quad (\text{Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 16})$$

Hierin is P_{eis} de norm van het dijktraject (1/jaar). De faalkansruimtefactor ω voor STBI is 0,04 (Rijkswaterstaat, z.d.-b; tabel 2-2, p. 16).

De faalkanseis per vak (doorsnede) voor een toetsspoor is:

$$P_{\text{eis:dsn}} = (\omega \cdot P_{\text{eis}}) / N_{\text{dsn}}' \quad (\text{Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 16})$$

Hierin is N_{dsn} De lengte-effect factor voor een doorsnede. De manier waarop N_{dsn} wordt bepaald staat beschreven in de schematiseringshandleiding voor macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016; p. 13). Het lengte effect is afhankelijk van de variabiliteit van een dijktraject.

2.3.2.2 Gedetailleerde toets per vak

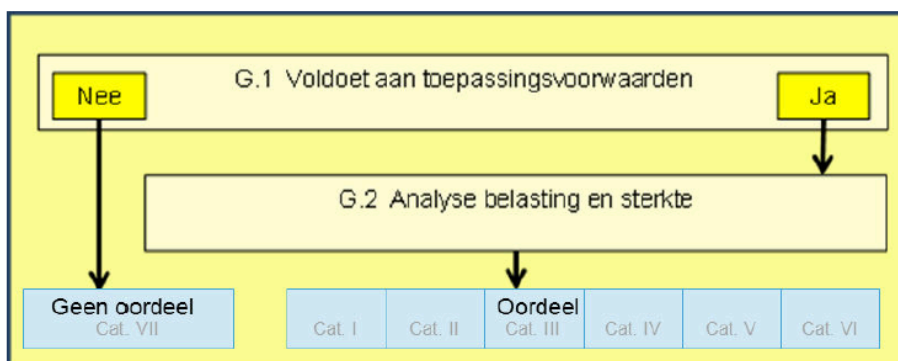
De gedetailleerde toets per dijkvak wordt voor STBI semi-probabilistische uitgevoerd. De berekening voor de gedetailleerde toets wordt door RisKeer ondersteund. Veel gegevens worden in RisKeer aangeleverd, zonder tussenkomst van de beoordelaar. In het overzicht van de invoervariabelen zijn deze gegevens zichtbaar. Deze gegevens zijn in de gedetailleerde toets meestal niet aan te passen (Rijkswaterstaat, 2016; p. 23).

In de gedetailleerde toets per vak wordt met voorgeschreven rekenmodellen gecontroleerd of het vak aan de eisen (norm) voldoet. Deze rekenmodellen worden per toetsspoor voorgeschreven. De uitvoering van de gedetailleerde toets per vak kan een iteratief proces zijn. Wanneer een scherper oordeel nodig is, kan bijvoorbeeld een verfijning van de schematisering nodig zijn. Het resultaat van deze toets is een oordeel per vak per toetsspoor.

De gedetailleerde toets per vak bestaat uit twee stappen (Rijkswaterstaat, z.d.-b):

- Stap 1: Controle of het vak voldoet aan de toepassingsvoorwaarde voor het rekenmodel voor de sterkte.
- Stap 2: Analyse van de belasting en sterkte aan de eisen.

In Figuur 2.12 (Rijkswaterstaat, z.d.-b) zijn deze bovenstaande stappen weergegeven.



Figuur 2.12. Generiek schema gedetailleerde toets (Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 15).

Stap 1: Controle of het vak voldoet aan de toepassingsvoorwaarde voor het rekenmodel voor de sterkte.

De toepassingsvoorwaarde bestaat uit het bepalen of constructieve elementen aanwezig zijn in de waterkering. Wanneer zich constructieve elementen of kunstmatig versterkte grondkolommen of lagen in de waterkering bevinden is de toets op macrostabiliteit niet van toepassing. Afhankelijk van het type object zal de macrostabiliteit binnenwaarts (STBI)

Het falen van de binnenwaartse stabiliteit is gedefinieerd als het binnenwaarts afschuiven van een grondmoot, waardoor de kruin van de dijk lager komt te liggen. Dit leidt tot functieverlies van de dijk. In deze analyse wordt de faalkans per vak (doorsnede) vergeleken met de faalkanseis per vak. In Bijlage III Sterkte en veiligheid (Rijkswaterstaat, z.d.-b; p. 31) wordt het bepalen van de faalkans per vak beschreven. Op deze analyse wordt het toetsoordeel gebaseerd. Bij het toetsoordeel, voor de faalkans per vak, wordt onderscheid gemaakt in zeven categorieën. Deze categorieën zijn gerelateerd aan de afstand tot de norm. Deze categorieën zijn opgenomen in tabel 2-3 van Bijlage III Sterkte en veiligheid (Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 19).

Wanneer de uitkomst van het toetsoordeel niet 'voldoet' is, kunnen volgens de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016; p. 16) de volgende mogelijke stappen overwogen worden:

“Verbeteren schematisatie:

- De vakindeling verfijnen zodat ten minste een deeldijkvak kan worden goedgekeurd met een semi-probabilistische gedetailleerde toets.
- Aanvullend (grond)onderzoek doen om SOS eenheden beter te beschrijven, aan te vullen of uit te sluiten of om parameters nauwkeuriger vast te stellen, en opnieuw beoordelen volgens de semi-probabilistische gedetailleerde toets.
- Accepteren van het toetsoordeel of

Verder beoordelen

- Een volledig probabilistische gedetailleerde toets per dijkvak uitvoeren.
- Uitvoeren locatiespecifieke analyse in een toets op maat”.

2.3.2.3 Gedetailleerde toets per traject

Wanneer na een gedetailleerde toets per vak het besluit is genomen dat verder beoordeeld moet worden, dan kan dit met een gedetailleerde toets per traject. Hierin worden vakken of toetssporen gecombineerd. In de gedetailleerde toets per traject kan dezelfde schematisering worden gebruikt als bij de gedetailleerde toets per vak (Rijkswaterstaat, z.d.-a). Deze toets per traject wordt probabilistisch uitgevoerd in RisKeer. In deze toets worden het vaste lengte-effect en de vaste faalkansruimteverdeling tussen de toetssporen losgelaten (Rijkswaterstaat, z.d.-a). De totale faalkans per traject wordt vergeleken met de grenswaarden van 6 categorieën. Deze categorieën staan beschreven in tabel 2-4 van Bijlage III Sterkte en veiligheid (Rijkswaterstaat, z.d.-b; p. 20). Ook deze categorieën zijn gerelateerd aan de afstand tot de norm. In Figuur 2.17 (Rijkswaterstaat, z.d.-b) is de tabel weergegeven. De resultaten geven inzicht in welke mate de verschillende onderdelen en eigenschappen van de kering van invloed zijn op de overstromingskans. Dit kan inzicht geven in mogelijke aanscherping van de gegevens (Rijkswaterstaat, z.d.-a). Het resultaat van de gedetailleerde toets per traject is een oordeel over het gehele traject voor de toetssporen die probabilistisch kunnen worden benaderd.

2.3.2.4 Beoordeling

In een semi-probabilistische analyse van de STBI voor een dijkvak berekent RisKeer op basis van rekenwaarden van de invoerparameters een stabiliteitsfactor voor een dijkprofiel. Waarden voor de materiaalfactoren zijn in RisKeer vastgelegd. De stabiliteitsfactor wordt door RisKeer vertaald naar de faalkans. RisKeer bepaalt ook de faalkanseis voor het dijkvak of dwarsprofiel (Rijkswaterstaat, 2016).

In een probabilistische stabiliteitsanalyse berekent RisKeer de faalkans voor een dijkprofiel op basis van de verdelingsfuncties van de invoerparameters. Daarnaast wordt ook de faalkanseis op basis van de norm voor het dijktraject en de lengte van het dijktraject en de faalkansruimtefactor berekend. De berekende faalkans van de doorsnede (rekening houdend met de statistiek van de buitenwaterstanden) wordt dan vergeleken met de toelaatbare faalkans. Op basis daarvan wordt een oordeel gegeven (Rijkswaterstaat, 2016).

2.3.3 Toets op maat

Wanneer de eenvoudige toets en de gedetailleerde toetsen niet toepasbaar zijn op een specifieke locatie of deze een te conservatief beeld geven van de veiligheid kan de toets op maat uitkomst bieden. De toets op maat biedt de mogelijkheid nadere analyses uit te voeren (Rijkswaterstaat, z.d.-a):

- Locatie specifieke analyses die beter aansluiten bij de lokale situatie of waarnemingen van de beheerder.
- Geavanceerde analyses.
- Oordeel op basis van de kennis en ervaring van de beheerder.

Bijlage III Sterkte en veiligheid biedt geen voorschriften voor de toets op maat. Wel wordt de volgende toelichting beschreven (Rijkswaterstaat, z.d.-b; p. 18):

“Gecontroleerd kan worden of met andere rekenmodellen of het aanscherpen van de definitie van falen (die dus dichterbij daadwerkelijk falen ligt, bijvoorbeeld door het meenemen van reststerkte, of aangepaste hydraulische randvoorwaarden) een scherper beeld kan worden verkregen over in hoeverre de waterkering al dan niet voldoet aan de norm. Als het toetsoordeel niet in overeenstemming is met de kennis van de beheerder, dan kan de toets op maat bestaan uit een onderbouwd oordeel van de beheerder.

Binnen de toets op maat is het mogelijk de generieke faalkansbegroting uit de gedetailleerde toets per vak te optimaliseren voor de specifieke omstandigheden van het traject. Daarbij geldt dat:

- Het totaal van de faalkansruimtefactoren voor de toetssporen 100% blijft.
- De faalkansbegroting geldt voor het hele traject. Een wijziging heeft consequenties voor alle vakken van een toetsspoor waarvan de faalkansruimtefactor wijzigt.
- Een gedetailleerde toets per traject geeft een nauwkeuriger resultaat.

Aanpassen van faalkansbegroting kan zinvol zijn:

- Wanneer de faalkansruimte significant (circa 5 keer) groter wordt en
- Het vak in de gedetailleerde toets per vak net niet aan de faalkanseis per vak voldoet (toetsoordeel na gedetailleerde toets per vak is categorie IIIv)

Binnen de toets op maat wordt per toetsspoor een overzicht gegeven van mogelijke analyses die kunnen worden uitgevoerd voor een nadere veiligheidsanalyse”.

Verder biedt Bijlage III Sterkte en veiligheid de volgende toelichting voor nadere analyses binnen de toets op maat (Rijkswaterstaat, z.d.-b; p. 32):

“Nadere analyses in de toets op maat zijn onder andere:

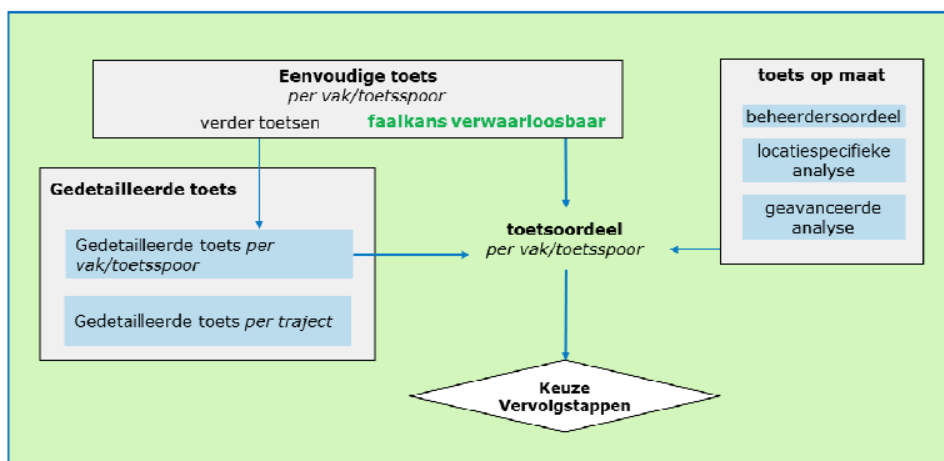
- Bewezen sterkte onderzoeken (parameter optimalisatie op basis van waarnemingen van overleefde hoge waterstanden).
- Toepassen van Eindige Elementen Modellen (EEM).
- Toepassen tijdsafhankelijk grondwaterstromingsmodellen voor schematiseren waterspanningen.
- Het in rekening brengen van reststerkte van de waterkering.

Bij de beoordeling van de veiligheid van de in Noord-Nederland gelegen waterkeringen dient rekening gehouden te worden met de belasting door geïnduceerde aardbevingen. Uitgangspunt voor deze beoordeling is een aardbeving met een maximum magnitude van 5. Daaruit worden piekgrondversnellingen ter plaatse van de waterkering afgeleid waarmee de veiligheid wordt beoordeeld. Deze beoordeling betreft een toets op maat”.

In technische achtergrondrapporten zijn handvatten opgenomen voor het uitvoeren van toetsen op maat (Rijkswaterstaat, z.d.-a). De eventueel benodigde geotechnische onderzoeken en berekeningen worden in bijlage 3 van dit verslag besproken.

2.3.4 Toetsoordeel

Na iedere toets vindt een toetsoordeel plaats, zoals weergegeven in Figuur 2.14 (Rijkswaterstaat, z.d.-a). Afhankelijk van de uitgevoerde toets vindt een toetsoordeel per vak of een toetsoordeel per traject plaats. In onderstaande paragrafen worden deze twee typen toetsoordelen toegelicht.



Figuur 2.14. Toetsoordeel per vak en per toetsspoor en keuze vervolgstappen (Rijkswaterstaat, z.d.-a, p. 16).

2.3.4.1 Toetsoordeel per vak

Het toetsoordeel per vak kan worden gegeven na beoordeling met de eenvoudige toets, de gedetailleerde toets per vak en/of de toets op maat. Dit toetsoordeel per vak wordt uitgedrukt in categorieën (gerelateerd aan de afstand tot de norm). Deze categorieën zijn in Bijlage III Sterkte en veiligheid opgenomen in tabel 2-3 (Rijkswaterstaat, z.d.-b; p. 19). De tabel uit Bijlage III Sterkte en veiligheid (Rijkswaterstaat, z.d.-b) is in Figuur 2.15 weergegeven.

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 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	

Figuur 2.15. Categorieën van het toetsoordeel per vak en per toetsspoor (Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 19).

Bijlage III Sterkte en veiligheid (Rijkswaterstaat, z.d.-b; p. 19, 20) biedt de volgende toelichting bij de bovenstaande figuur:

“In Figuur 2.15 (Rijkswaterstaat, z.d.-b) wordt de faalkanseis per doorsnede of kunstwerk, die is afgeleid uit de signaleringswaarde aangehouden voor de categoriegrenzen voor het toekennen van het toetsoordeel per vak en per toetsspoor aan categorie I_v t/m III_v.

- Als de faalkans per vak voor het betreffende toetsspoor valt in categorie I_v, is het toetsoordeel per vak gelijk aan ‘voldoet ruim’.
- Als de faalkans per vak voor het betreffende toetsspoor valt in categorie II_v, is het toetsoordeel per vak gelijk aan ‘voldoet zeker aan de signaleringswaarde’.
- Als de faalkans per vak voor het betreffende toetsspoor valt in categorie III_v, is het toetsoordeel per vak gelijk aan ‘voldoet zeker aan de ondergrens’.

De toetsoordelen van de verschillende vakken en toetssporen samen bepalen uiteindelijk of het dijktraject aan signaleringswaarde voldoet.

- Als de faalkans per vak voor het betreffende toetsspoor valt in categorie IV_v, is het toetsoordeel per vak gelijk aan ‘voldoet mogelijk aan de ondergrens of de signaleringswaarde’.

De toetsoordelen van de verschillende vakken en toetssporen samen bepalen uiteindelijk of het dijktraject de aan signaleringswaarde of ondergrens voldoet.

De ondergrens van het dijktraject wordt aangehouden voor de categoriegrenzen voor het toekennen van het toetsoordeel per vak en per toetsspoor aan categorie V_v t/m VI_v .

- Als de faalkans per vak voor het betreffende toetsspoor valt in categorie V_v , is het toetsoordeel per vak gelijk aan ‘voldoet niet aan de ondergrens’. De toetsoordelen van de overige toetssporen kunnen er niet toe leiden dat het vak aan de ondergrens en dus ook niet aan signaleringswaarde voldoet.
- Als de faalkans per vak voor het betreffende toetsspoor valt in categorie VI_v , is het toetsoordeel per vak gelijk aan ‘voldoet ruim niet aan de ondergrens’.

Als de beoordeling (nog) niet heeft geleid tot een toekenning van een oordeel in de overige categorieën wordt het toetsoordeel ‘nog geen oordeel’. Het vak voor het betreffende toetsspoor valt in categorie VII_v .

2.3.4.2 Toetsoordeel per traject

Het toetsoordeel per traject kan worden gegeven na beoordeling met de gedetailleerde toets per traject en/of de toets op maat. Dit toetsoordeel per traject wordt uitgedrukt in categorieën. Deze categorieën zijn in tabel 2-4 opgenomen in Bijlage III Sterkte en veiligheid op pagina 20 (Rijkswaterstaat, z.d.-b). De tabel uit Bijlage III Sterkte en veiligheid (Rijkswaterstaat, z.d.-b) is in Figuur 2.16 weergegeven.

Cat.	Aanduiding categorie toetsoordeel per traject	Begrenzing categorie
		$P_{f;traject}$ Faalkans per traject [1/jaar]. $P_{eis;sig}$ Signaleringswaarde van het dijktraject [1/jaar]. $P_{eis;ond}$ Ondergrens van het dijktraject [1/jaar]. Ω Gecombineerde faalkansruimtefactor
I_t	voldoet ruim aan de signaleringswaarde	$P_{f;traject} < \frac{1}{30} \Omega P_{eis;sig}$
II_t	voldoet aan de signaleringswaarde	$\frac{1}{30} \Omega P_{eis;sig} < P_{f;traject} < \Omega P_{eis;sig}$
III_t	voldoet aan de ondergrens en mogelijk aan de ondergrens	$\Omega P_{eis;sig} < P_{f;traject} < P_{eis;sig}$
IV_t	voldoet mogelijk aan de ondergrens	$\Omega P_{eis;ond} < P_{f;traject} < P_{eis;ond}$
V_t	voldoet niet aan de ondergrens	$P_{eis;ond} < P_{f;traject} < 30 P_{eis;ond}$
VI_t	voldoet ruim niet aan de ondergrens	$P_{f;traject} > 30 P_{eis;ond}$

Figuur 2.16. Categorieën van het toetsoordeel per traject (Rijkswaterstaat, z.d.-b, p. 20).

Bijlage III Sterkte en veiligheid (Rijkswaterstaat, z.d.-b; p. 20, 21) biedt de volgende toelichting bij de bovenstaande figuur:

“De beschikbare faalkansruimte voor de gecombineerde toetssporen wordt per dijktraject aangegeven met de gecombineerde faalkansruimtefactor ω . Deze wordt bepaald door de som van de faalkansruimtefactoren van de beschouwde toetssporen.

De gecombineerde faalkansruimtefactor Ω is in principe niet groter dan 0,7. Dit omdat 30% van de faalkansruimte is gereserveerd voor de “overige” toetssporen van tabel 2-2.

In Figuur 2.16 wordt de signaleringswaarde van het dijktraject aangehouden voor de categoriegrenzen voor het toekennen van het toetsoordeel per traject aan categorie I_t t/m III_t .

- Als de faalkans per traject valt in categorie I_t , is het toetsoordeel per traject voor het betreffende toetsspoor of de combinatie van toetssporen gelijk aan ‘voldoet ruim aan de signaleringswaarde’.
- Als de faalkans per traject valt in categorie II_t , is het toetsoordeel per traject voor het betreffende toetsspoor of de combinatie van toetssporen gelijk aan ‘voldoet aan de signaleringswaarde’.
- Als de faalkans per traject valt in categorie III_t , is het toetsoordeel per traject voor het betreffende toetsspoor of de combinatie van toetssporen gelijk aan ‘voldoet aan de ondergrens en mogelijk aan de signaleringswaarde’.

De toetsoordelen van de verschillende vakken en toetssporen samen bepalen uiteindelijk of het dijktraject aan de signaleringswaarde voldoet

- Als de faalkans per traject valt in categorie IV_t , is het toetsoordeel per traject voor het betreffende toetsspoor of de combinatie van toetssporen gelijk aan ‘voldoet mogelijk’.

De toetsoordelen van de verschillende vakken en toetssporen samen bepalen uiteindelijk of het dijktraject aan de signaleringswaarde of de ondergrens voldoet.

De ondergrens van het dijktraject wordt aangehouden voor de categoriegrenzen voor het toekennen van het toetsoordeel per traject aan categorie V_t t/m VI_t .

- Als de faalkans per traject valt in categorie V_t , is het toetsoordeel per traject voor het betreffende toetsspoor of de combinatie van toetssporen gelijk aan ‘voldoet niet aan de ondergrens’.

De toetsoordelen van de overige toetssporen kunnen er niet toe leiden dat het dijktraject aan de ondergrens, en dus ook niet aan signaleringswaarde, voldoet.

De ondergrens van het dijktraject wordt aangehouden voor de categoriegrenzen voor het toekennen van het toetsoordeel per traject aan categorie V_t t/m VI_t .

- Als de faalkans per traject valt in categorie V_t , is het toetsoordeel per traject voor het betreffende toetsspoor of de combinatie van toetssporen gelijk aan ‘voldoet niet aan de ondergrens’.

De toetsoordelen van de overige toetssporen kunnen er niet toe leiden dat het dijktraject aan de ondergrens, en dus ook niet aan signaleringswaarde, voldoet.

- Als de faalkans per traject valt in categorie VI₁, is het toetsoordeel per traject voor het betreffende toetsspoor of de combinatie van toetssporen gelijk aan ‘voldoet ruim niet aan de ondergrens’”.

In paragraaf 2.6.3 van bijlage III Sterkte en veiligheid (Rijkswaterstaat, z.d.-b) staat beschreven hoe de toekenning van een categorie op basis van de faalkans plaatsvindt.

2.3.5 Vervolgstappen

Na het toetsoordeel van elk van de vier verschillende toetsen moet besloten worden wat de vervolgstappen zijn; moet een andere toets uitgevoerd worden, moeten gegevens aangescherpt worden of kan de toetsprocedure beëindigd worden. In bovenstaande paragrafen, behorende bij de vier soorten toetsen, zijn mogelijke vervolgstappen aangegeven. Ook kan besloten worden de beoordeling van het traject te stoppen. Op basis van alle toetsoordelen worden de vervolgstappen beoordeeld. Tussentijds assembleren van de toetsoordelen kan de keuze om de toetsprocedure te stoppen of voort te zetten ondersteunen. In paragraaf 3.2.5 van Bijlage I Procedure regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 (Rijkswaterstaat, z.d.-a) zijn de vervolgstappen toegelicht.

2.4 Veiligheidsoordeel

Na afronden van de toetsprocedure wordt het veiligheidsoordeel opgesteld. In dit oordeel over het gehele traject wordt rekening gehouden met alle toetssporen (Rijkswaterstaat, z.d.-a). De toetsoordelen per vak en per toetsspoor en per traject worden gecombineerd. Dit proces wordt assembleren genoemd. In hoofdstuk 28 van de Bijlage III Sterkte en veiligheid (Rijkswaterstaat, z.d.-a) en in het Assemblageprotocol WBI2017 (Deltares, 2016) wordt het assemblageproces beschreven. Het assembleren maakt het mogelijk om globaal de afstand tot de signaleringswaarde en de ondergrens voor het dijktraject te bepalen (Rijkswaterstaat, z.d.-a). Daarvoor wordt het veiligheidsoordeel in vijf categorieën ingedeeld. In tabel 3-1 van Bijlage I Procedure (Rijkswaterstaat, z.d.-a) staan de categorieën voor het veiligheidsoordeel. Deze categorieën laten zien in welke mate het traject wel of niet voldoet aan de norm. De tabel uit Bijlage I Procedure (Rijkswaterstaat, z.d.-a) is in Figuur 2.17 weergegeven.

Cat.	Aanduiding categorie veiligheidsoordeel
A+	Overstromingskans van het dijktraject is veel kleiner dan de signaleringswaarde. <i>Dijktraject voldoet ruim aan de signaleringswaarde</i>
A	Overstromingskans van het dijktraject is kleiner dan de signaleringswaarde. <i>Dijktraject voldoet aan de signaleringswaarde.</i>
B	Overstromingskans van het dijktraject is groter dan de signaleringswaarde, maar kleiner dan ondergrens. <i>Dijktraject voldoet aan de ondergrens, maar niet aan de signaleringswaarde.</i>
C	Overstromingskans van het dijktraject is groter dan de signaleringswaarde en de ondergrens. <i>Dijktraject voldoet niet aan de signaleringswaarde en ook niet aan de ondergrens</i>
D	Overstromingskans het dijktraject is veel groter dan de signaleringswaarde en de ondergrens. <i>Dijktraject voldoet ruim niet aan de signaleringswaarde en aan de ondergrens.</i>

Figuur 2.17. Categorieën voor het veiligheidsoordeel (Rijkswaterstaat, z.d.-a. p. 19).

2.5 Bronnenlijst

Figuren

Figuur 2.1: Fasen en onderdelen van fasen in de beoordeling. Bewerkt overgenomen uit “Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage I Procedure” van Rijkswaterstaat, z.d.-a. (p. 8). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.2: Datastroom. Overgenomen uit “Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid” van Rijksoverheid, z.d.-b. ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/beoordelingsproces/voorbereiding/datamanagement/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/beoordelingsproces/voorbereiding/datamanagement/))

Figuur 2.3: Schematische weergave van de uitvoering. Bewerkt overgenomen uit “Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage I Procedure” van Rijkswaterstaat, z.d.-a. (p. 20). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.4: Het algemene filter. Bewerkt overgenomen uit “Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage I Procedure” van Rijkswaterstaat, z.d.-a. (p. 11). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.5: Toetsen van grof naar scherp. Overgenomen uit “Uitvoering” van Rijksoverheid, z.d.-e. ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/beoordelingsproces/uitvoering/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/beoordelingsproces/uitvoering/))

Figuur 2.6: Schema eenvoudige toets macrostabiliteit binnenwaarts. Overgenomen uit “Schematiseringshandleiding macrostabiliteit” van Rijkswaterstaat, 2016. (p. 27). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.7: Parameters eenvoudige toets STBI. Overgenomen uit “Schematiseringshandleiding macrostabiliteit” van Rijkswaterstaat, 2016. (p. 22). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.8: Contourplot met veilige afmetingen kleidijk. Overgenomen uit “Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid” van Rijkswaterstaat, z.d.-b. (p. 29). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.9: Contourplot met veilige afmetingen zanddijk. Overgenomen uit “Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid” van Rijkswaterstaat, z.d.-b. (p. 29). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.10: Stappen na eenvoudige toets. Overgenomen uit “Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage I Procedure” van Rijkswaterstaat, z.d.-a. (p. 15). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.11: Bepalen van de faalkanseis per vak voor een toetsspoor. Overgenomen uit “Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid” van Rijkswaterstaat, z.d.-b. (p. 14). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.12: Generiek schema gedetailleerde toets. Overgenomen uit “Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid” van Rijkswaterstaat, z.d.-b. (p. 15). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.13: Stappenplan gedetailleerde toets macrostabiliteit. Overgenomen uit “Schematiseringshandleiding macrostabiliteit” van Rijkswaterstaat, 2016. (p. 16). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.14: Toetsoordeel per vak en per toetsspoor en keuze vervolgstappen. Overgenomen uit “Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage I Procedure” van Rijkswaterstaat, z.d.-a. (p. 16). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.15: Categorieën van het toetsoordeel per vak en per toetsspoor. Overgenomen uit “Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid” van Rijkswaterstaat, z.d.-b. (p. 19). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.16: Categorieën van het toetsoordeel per traject. Overgenomen uit “Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid” van Rijkswaterstaat, z.d.-b. (p. 20). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 2.17: Categorieën voor het veiligheidsoordeel. Overgenomen uit “Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage I Procedure” van Rijkswaterstaat, z.d.-a. (p. 19). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Internet

Rijksoverheid (z.d.-a). *Het beoordelingsproces*. Geraadpleegd op 27 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/beoordelingsproces/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/beoordelingsproces/)

Rijksoverheid (z.d.-b). *Datamanagement*. Geraadpleegd op 27 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/beoordelingsproces/voorbereiding/datamanagement/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/beoordelingsproces/voorbereiding/datamanagement/)

Rijksoverheid (z.d.-c). *Hydraulische belastingen*. Geraadpleegd op 27 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/beoordelingsproces/uitvoering/hydraulische/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/beoordelingsproces/uitvoering/hydraulische/)

Rijksoverheid (z.d.-d). *Ringtoets (RisKeer)*. Geraadpleegd op 27 maart 2017, van <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/applicaties-per/omgevings/omgevings/ringtoets/>

Rijksoverheid (z.d.-e). *Uitvoering*. Geraadpleegd op 27 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/beoordelingsproces/uitvoering/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/beoordelingsproces/uitvoering/)

Rapporten

Deltares (2016). *Assemblageprotocol WBI2017*. Geraadpleegd op 14 juni 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Kin Sun Lam (2016). *Handleiding datamanagement WBI*. Geraadpleegd op 14 mei 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Rijkswaterstaat (2016). *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit, WBI2017*. Geraadpleegd op 8 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Rijkswaterstaat (z.d.-a). *Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage I Procedure*. Geraadpleegd op 14 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Rijkswaterstaat (z.d.-b). *Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid*. Geraadpleegd op 14 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Rijkswaterstaat (z.d.-c). *Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage II Hydraulische belastingen*. Geraadpleegd op 14 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Bijlage 3: Geotechnische schematisatie

In deze bijlage wordt ingegaan op de geotechnische schematisatie voor de beoordeling van de STBI. In het WBI2017 moet gebruik worden gemaakt van een ander grondgedrag model met de mogelijkheid met ongedraineerde parameters te rekenen en moeten andere glijvlakmodellen gebruikt worden. Eerst wordt het grondgedrag model beschreven, waarna de glijvlakmodellen worden toegelicht. Daarna wordt ingegaan op de uitvoering van de stabiliteitsanalyse voor zowel gedraineerde als ongedraineerde parameters. Vervolgend worden de te volgen normen en aanbevelingen voor het praktisch grondonderzoek weergegeven, waarna de eisen en de uitvoering van de verschillende onderzoeken wordt beschreven. Tenslotte wordt ingegaan op de benodigde parameters voor de beoordeling van de STBI. Ter afsluiting worden de stappen, van grof tot detaillering, toegelicht voor het bepalen van de ongedraineerde schuifsterkte en de grensspanning. De inhoud van deze bijlage is gebaseerd op de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016). Indien gegevens uit een ander document gebruikt zijn wordt dit expliciet in de tekst vermeld.

Inhoud

3.1	Grondgedrag model	98
3.2	Glijvlakmodellen	103
3.3	Stabiliteitsanalyse	104
3.3.1	Gedraineerd	104
3.3.2	Ongedraineerd	105
3.3.3	Ongedraineerde of gedraineerde analyse	106
3.4	Normen en aanbevelingen	108
3.5	Veldonderzoek	109
3.5.1	Eisen aan sonderingen	109
3.5.2	Eisen aan boringen	110
3.6	Laboratorium proeven	113
3.6.1	Behandeling monsters in het laboratorium	113
3.6.2	Eisen triaxiaalproeven	114
3.6.3	Eisen direct simple shearproeven (DSS-proeven)	118
3.6.4	Eisen samendrukkingsproeven	119
3.6.5	Eisen constant rate of strain proeven	120
3.6.6	Classificatie klei en veen	120
3.6.7	Eisen rapportage (alles uit Rijkswaterstaat, 2016)	121
3.7	Parameters	122
3.7.1.	Volumiek gewicht γ (kN/m ³)	122
3.7.2.	Effectieve verticale spanning σ'_{vi} (kN/m ³)	122

3.7.3.	Hoek van inwendige wrijving ϕ' (°)	123
3.7.4.	Normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio S (-).....	123
3.7.5.	Sterktetoename-exponent m (-).....	125
3.7.6.	Grensspanning σ'_{vy} (kN/m ²).....	125
3.7.7	Verwerken parameters in D-Soil Model en RisKeer	127
3.8	Afleiden ongedraineerde schuifsterkte uit conusfactor	129
3.8.1	Bepalen conusfactor N_{kt}	129
3.9	Stappen voor sonderen van grof naar fijn voor bepalen van de ongedraineerde schuifsterkte en de grensspanning:	130
3.9.1	Gebruik van standaardwaarden voor N_{kt} met een variatiecoëfficiënt.	130
3.9.2	N_{kt} optimaliseren door correlatie tussen sondeerweerstand en laboratorium testen. .	132
3.9.3	Door de waterspanning te meten, onderscheid maken tussen goed doorlatende en matig tot slecht doorlatende grondlagen.	133
3.10	Bronnenlijst	135

3.1 Grondgedrag model

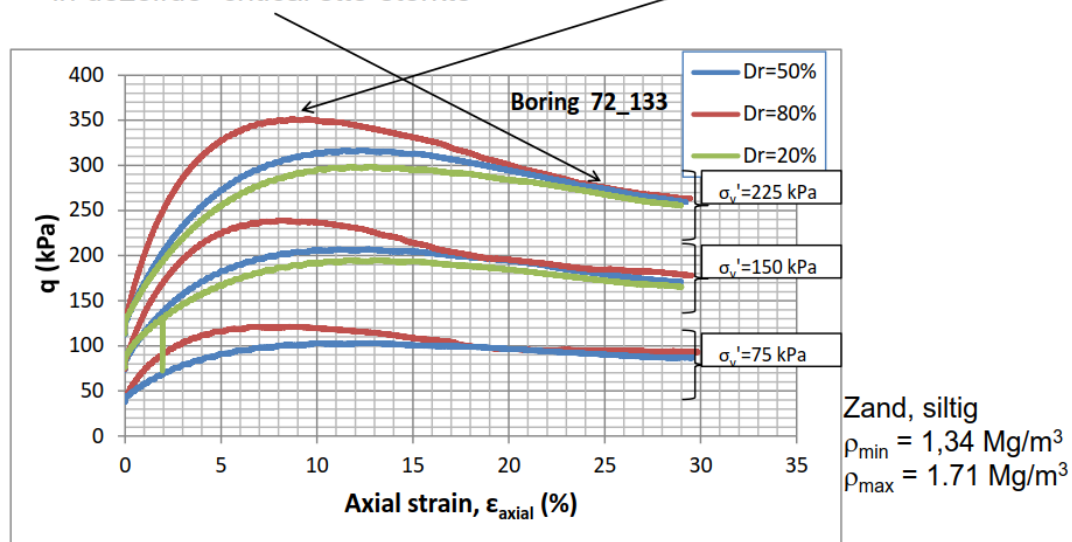
In het WBI2017 is voor de beoordeling van de macrostabiliteit de overstap gemaakt van het Mohr-Coulomb model naar het Critical State Soil Mechanics (CSSM) model.

Het CSSM-materiaalmodel voor de schuifsterkte van de grond dat gebruikt moet worden in het WBI2017 bevat de volgende elementen (Rijkswaterstaat, 2016):

- Critical State Soil Mechanics (CSSM) model (voor het karakteriseren van het gedrag van grond)

Dit grondmodel legt een koppeling tussen het grondgedrag bij compressie, zwellen, volumeverandering, afschuiven en poriënwaterrespons in termen van effectieve spanningen (Rijkswaterstaat, 2016). Hierin wordt in de beschrijving van de schuifsterkte van de grond onderscheid gemaakt tussen de pieksterkte en de critical state schuifsterkte (Rijkswaterstaat, 2016). Deze critical state schuifsterkte blijkt een goede waarde voor de weerstand van de grond tegen instabiliteit (Van Duinen et al, 2008). Daarnaast maakt dit model onderscheid tussen gedraineerd en ongedraineerd gedrag en tussen normaal geconsolideerd en overgeconsolideerd gedrag van de grond. In de critical state is de grond in een toestand waarin geen volumeveranderingen meer optreden wanneer de grond over elkaar schuift. Verschillende grondsoorten (met een verschillende relatieve dichtheid) zullen dezelfde critical state sterkte hebben, terwijl ze een verschillende pieksterkte hebben (Meij, z.d.). Door gebruik van de critical state is hierdoor meer uniformiteit. In Figuur 3.1 (Meij, z.d.) is dit verschil tussen de critical state sterkte en pieksterkte geïllustreerd. Voor meer informatie over CSSM zie de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016, p. 99 e.v.) of de handreiking voor het bepalen van schuifsterkteparameters (Van Duinen, 2014).

Verschillen in relatieve dichtheid leiden tot andere pieksterktes, maar in dezelfde “critical state” sterkte



Figuur 3.1. Grafiek van de pieksterkte en critical state sterkte van grond met verschillende relatieve dichtheid (Meij, z.d.).

- SHANSEP (Stress History And Normalized Soil Engineering Properties) methode.

De SHANSEP methode is een methode om de ongedraineerde schuifsterkte van slecht doorlatende grondsoorten (klei en veen) te schatten. Deze methode is gebaseerd op het Mohr-Coulomb model (sterkte model). Dit model is aangepast, zodat het mogelijk is om mogelijke veranderingen van de ongedraineerde schuifsterkte mee te nemen door de spanningstoestand en -geschiedenis van de grond in rekening te brengen. De belastinggeschiedenis van de grond wordt uitgedrukt in de overconsolidatieratio (OCR). Deze OCR kan bepaald worden door de maximale consolidatiespanning en de huidige consolidatie spanning. SHANSEP formule om ongedraineerde schuifsterkte bepalen:

$$s_u = S \cdot \sigma'_{vi} (\sigma'_{vy} / \sigma'_{vi})^m = S \cdot \sigma'_{vi} (OCR)^m$$

Hierin is:

s_u	Ongedraineerde schuifsterkte kN/m^2).
S	Normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte (-).
σ'_{vi}	Effectieve (in situ) verticale spanning (kN/m^2).
σ'_{vy}	Grensspanning (kN/m^2).
m	Sterkte toename exponent (-).
OCR	Overconsolidatieratio (-) .

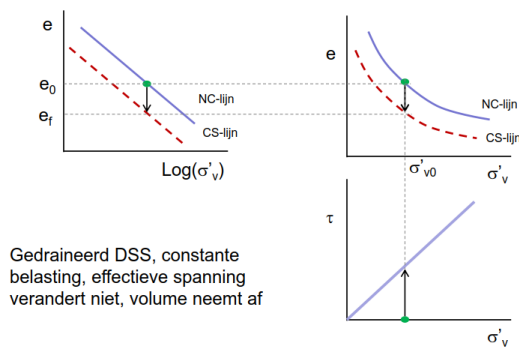
De parameters S en m , zijn genormaliseerde grondparameters. S en m worden bepaald met SHANSEP triaxiaal testen. Voor een beschrijving en de bepaling van de parameters zie paragraaf 3.7 van dit document en hoofdstuk 7 van de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016).

- Onderscheid tussen gedraineerd en ongedraineerd grondgedrag.

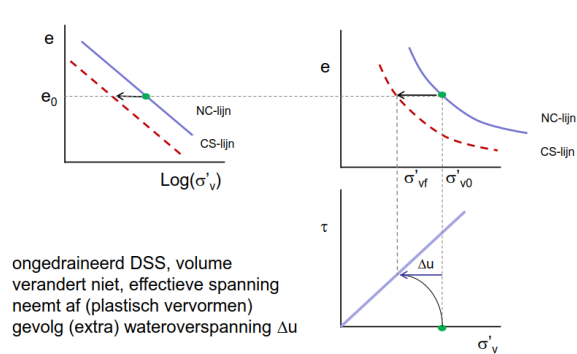
Bij grondsoorten met een hoge doorlatendheid, zoals zand, kan drainage plaatsvinden tijdens afschuiven (taludinstabiliteit) en is sprake van gedraineerd grondgedrag. Bij grondsoorten met een lage doorlatendheid, zoals klei en veen, vindt weinig of geen drainage plaats tijdens afschuiven en is sprake van ongedraineerd grondgedrag. Bij ongedraineerd gedrag van de grond wordt er van uit gegaan dat waterspanningen in de grond worden gegenereerd wanneer de schuifweerstand van de grond wordt gemobiliseerd en deze waterspanningen niet kunnen afstromen (Rijkswaterstaat, 2016). Deze waterspanningen reduceren de schuifsterkte van de grond doordat de korrelspanning afneemt. Bij ongedraineerd rekenen worden deze waterspanningen in rekening gebracht. In laboratorium proeven wordt de waterspanning gemeten. De gemeten schuifsterkte kan dan gecorrigeerd worden voor het effect van de gemeten waterspanning (Rijkswaterstaat, 2016). Het ongedraineerde gedrag van grond wordt bepaald door de in situ toestand van de grond. Deze in situ toestand wordt uitgedrukt in de grensspanning σ'_{vy} en de overconsolidatieratio OCR of de pre-overburden pressure POP (Rijkswaterstaat, 2016). Bij gedraineerd gedrag wordt er van uit gegaan dat het water af kan stromen, waardoor geen waterspanningen ontstaan.

In Figuur 3.2 (Meij, z.d.) zijn de grafieken van een gedraineerde en een ongedraineerde direct simple shear (DSS) proef weergegeven. NC staat voor normaal geconsolideerd en CS voor critical state. In deze figuur is het verschil tussen het gedraineerde en ongedraineerde spanningspad te zien.

Gedraineerd NC spanningspad



Ongedraineerd NC spanningspad



Figuur 3.2. Gedraineerd en ongedraineerd spanningspad (Meij, z.d.).

- Onderscheid tussen normaal geconsolideerd en overgeconsolideerd grondgedrag.

Consolidatie is de afname van het volume en toename van de dichtheid van grond als gevolg van uitwendige druk en/of onttrekking van vloeistof of gas aan de grond. Overgeconsolideerde grond is grond die geconsolideerd is bij een hogere spanning dan in situ aanwezig is (Encyclo.nl, z.d.). De grensspanning is dan hoger dan de in situ spanning. Bij normaal geconsolideerde grond is de grensspanning gelijk aan de in situ spanning. Onderscheid tussen deze twee eigenschappen van grond is belangrijk, omdat normaal geconsolideerde grond anders reageert op belasting dan overgeconsolideerde grond. Overgeconsolideerde grond heeft een vorm van cohesie, normaal geconsolideerde grond niet. De grensspanning is een maat voor de belastinggeschiedenis van de grond. De grensspanning is de waarde van de grondspanning waarbij het grondgedrag over gaat van stijf en voorbelast naar slap en niet-voorbelast (Rijkswaterstaat, 2016). De grond reageert stijf wanneer de effectieve spanning (in situ) lager is dan de grensspanning en slap wanneer de effectieve spanning gelijk is aan de grensspanning. Voor het bepalen van de ongedraineerde schuifsterkte is het in rekening brengen van de in situ toestand van de grond via de grensspanning belangrijk.

- Rekenen met de bezwijksterkte (ultimate state) van de grond (in plaats van de sterkte bij een kleine vervorming in laboratoriumproeven).

Bij gebruik van schuifsterkte bij grote rek (ultimate state) wordt aangenomen dat de schuifsterkte gemobiliseerd is over het hele schuifvlak. Hiervoor zijn grote vervormingen nodig, zowel in het actieve als het passieve deel van het schuifvlak (Rijkswaterstaat, 2016). De grond levert over het hele schuifvlak een bijdrage aan de stabiliteit. Bij gebruik van de piek schuifsterkte is beperkte vervorming voldoende. Hierin wordt aangenomen dat de schuifsterkte gemobiliseerd is in het actieve deel van het schuifvlak. Bij gebruik van de piek schuifsterkte wordt de maximaal mobiliseerbare schuifsterkte overschat. Voor het bepalen van de piek schuifsterkte van overgeconsolideerde grond is de cohesie van belang, voor bepalen van de grote rek schuifsterkte is de cohesie niet van belang.

- Schuifsterkte van klei bepalen met ééntraps anisotroop geconsolideerde triaxiaalproeven.

Met een triaxiaalproef wordt de schuifsterkte en vervormingsgedrag van de grond bepaald. Bij een triaxiaalproef wordt een grondmonster geprepareerd in de verhouding 1:2 (hoogte 2 maal de diameter). Dit monster wordt met een rubbervlies omhuld en in een perspex cel geplaatst. De cel kan op druk worden gezet door water. Tijdens de triaxiaalproef worden alle drukveranderingen, welke plaatsvinden in en rondom het monster, vastgelegd. Het monster wordt tijdens de belasting met een constante snelheid axiaal vervormd totdat het bezwijkt (Wiertsema & Partners, z.d.-b). In de regel wordt een triaxiaalproef uitgevoerd onder isotrope omstandigheden, dat wil zeggen dat er geen rekening wordt gehouden met de gronddrukcoëfficiënt (verhouding tussen de aanwezige horizontale en verticale spanning in de grond). Indien hier wel rekening mee moet worden gehouden, wordt de triaxiaalproef onder anisotrope omstandigheden uitgevoerd (aanwezige gronddruk coëfficiënt moet bekend zijn).

- Schuifsterkte voor veen met Direct Simple Shear (DSS) proeven met constante hoogte.

Met deze proef kan de sterkte van veen nauwkeurig bepaald worden. Bij de DSS-proef wordt een verticaal gestoken grondmonster (in de regel veen) horizontaal belast. Het monster wordt onder de heersende terreinspanning of juist daarboven geconsolideerd. Door middel van een groot aantal ringen rondom het monster vindt deze consolidatie plaats. Na consolidatie wordt het monster afgeschoven. Dit kan ongedraineerd door de hoogte constant te houden en tegelijkertijd de daarvoor benodigde kracht te registreren. Het afschuiven vindt plaats door het boven- en ondervlak van het monster onderling, met een constante snelheid, te verschuiven (Wiertsema & Partners, z.d.-a).

- De ongedraineerde schuifsterkte en /of de grensspanning wordt in het veld bepaald met sonderingen.

In de schematiseringshandleiding macrostabiliteit op P. 108 zijn de uitgangspunten voor de keuze tussen gebruik van de ongedraineerde of de gedraineerde schuifsterkte voor de gedetailleerde toets bij alle belastingen door hoog water samengevat (Rijkswaterstaat, 2016):

- “Voor licht overgeconsolideerde klei, organische klei en veen ($OCR < 3$) wordt de ongedraineerde schuifsterkte toegepast, omdat deze materialen slecht doorlatend zijn. Dit geldt ook voor dijksmateriaal (beneden het freatisch vlak), wanneer dit hoofdzakelijk kleilig is.
- Voor grondsoorten die hoofdzakelijk kleilig zijn (klei met zandlaagjes en zandige klei) wordt ook de ongedraineerde schuifsterkte toegepast, omdat voorzichtigheid nodig is bij de aanname dat bezwijken niet optreedt onder ongedraineerde condities.
- Voor grondsoorten die hoofdzakelijk zandig zijn (schoon zand en zand met dunne kleilaagjes) wordt de gedraineerde schuifsterkte toegepast. Dit geldt ook voor dijksmateriaal, wanneer dit hoofdzakelijk zandig is.
- Voor sterk overgeconsolideerde grond ($OCR > 3$ à 4) en sterk dilaterende grond wordt de gedraineerde schuifsterkte toegepast, omdat de gedraineerde schuifsterkte bij hoge OCR waarden ongunstiger is dan de ongedraineerde schuifsterkte (omdat er rekening mee moet worden gehouden dat de grond zal bezwijken bij de laagste mobiliseerbare schuifsterkte). Wanneer een sterk overgeconsolideerde en slecht doorlatende grondlaag (pleistoceen) voor komt onder licht overgeconsolideerde en slecht doorlatende grondlagen (holoceen) dan

wordt voor de sterk overgeconsolideerde grondlaag ook de ongedraineerde schuifsterkte toegepast, omdat een afschuiving zich snel zal voltrekken”.

Snel optredende afschuivingen zijn voor de beoordeling van primaire waterkeringen maatgevend. Langs het glijvlak treden water over- of onderspanningen op wanneer een afschuiving snel gaat ten opzichte van de consolidatiesnelheid. Het ongedraineerde grondgedrag is alleen van toepassing in slecht waterdoorlatende lagen. In de zandlagen zal geen ongedraineerd grondgedrag optreden. In een ongedraineerde stabiliteitsanalyse worden voor de goed waterdoorlatende lagen gedraineerde sterkte-eigenschappen toegepast (Rijkswaterstaat, 2016).

Voor holocene grondlagen ligt de OCR in Nederland tussen 1,0 en 5,0. Voor de grondlagen onder een dijk zal deze waarde tussen 1,0 en 2,0 liggen en naast de dijk tussen 1,5 en 5,0. De POP kan variëren van 0 tot 100 kN/m².

Partiële veiligheidsfactoren in CSSM

Bij het CSSM materiaalmodel horen andere partiële veiligheidsfactoren dan bij het Mohr-Coulomb model. Hieronder worden de partiële veiligheidsfactoren beschreven.

Schadefactor

Via de schadefactor worden de effecten van de overstromingskansnorm en het lengte-effect in rekening gebracht.

Bij toepassen van het CSSM materiaalmodel dient uit te worden gegaan van de schadefactor uit onderstaande formule.

$$\gamma_n = 0,15\beta_{eis,dsn} + 0,41 \quad \text{met } \beta_{eis,dsn} = -\phi^{-1}(P_{eis,dsn})$$

Hierin is:

- γ_n Schadefactor voor het faalmechanisme macrostabiliteit (-)
- $\beta_{eis,dsn}$ Geëiste betrouwbaarheidsindex voor een doorsnede (-)
- $P_{eis,dsn}$ Faalkanseis per doorsnede voor macrostabiliteit (per jaar)

In bijlage A van de Handreiking ontwerpen met overstromingskansen (Rijkswaterstaat, 2016) is een overzicht gegeven van de waarden van de partiële factoren γ_n per dijktraject.

Modelfactoren:

CSSM

Bij toepassen van het CSSM materiaalmodel dient uit te worden gegaan van de modelfactoren uit onderstaande Tabel 3.1 (Rijkswaterstaat, 2016). Bij het CSSM materiaalmodel wordt geen onderscheid gemaakt tussen wel of niet opdrijven.

Tabel 3.1. CSSM modelfactoren voor macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016, p. 20).

Rekenmodel	Modelfactor γ_d
Bishop	1,11
LiftVan	1,06
Spencer-Van der Meij	1,07

Materiaalfactoren:

Alle materiaalfactoren hebben de waarde 1,0 gekregen.

Schematiseringfactor:

De schematisering is een vereenvoudiging van de werkelijkheid. De schematiseringfactor is een soort veiligheidsfactor om onzekerheden in de schematisering te verdisconteren. Hoe lager de schematiseringfactor, hoe beter de onzekerheden in de basisschematisering zijn afgedekt (ENW, 2012). De bepaling van de schematiseringfactor is in het CSSM niet gewijzigd ten opzichte van de methodiek uit het Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren (ENW, 2012). De waarden van de schematiseringsfactor wijzigen wel door de andere schadefactor bij het CSSM materiaalmodel. Een aangepaste Excel-rekenhulp wordt beschikbaar gesteld via de Helpdesk Water en de website van het HWBP (Rijkswaterstaat, 2016).

3.2 Glijvlakmodellen

De taludstabiliteit kan berekend worden met een glijvlakmodel of een eindige-elementenmodel. Een glijvlakmodel is een analytische methode, het eindige-elementenmodel is een numerieke methode (TAW, 2001). Voor een glijvlakmodel moet meer geschematiseerd worden. Om deze reden is een EEM nauwkeuriger.

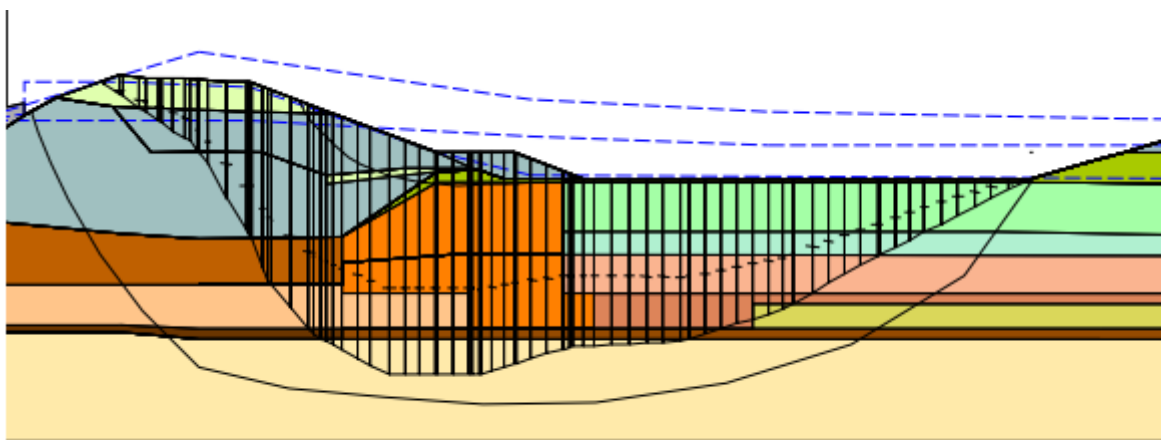
Drie verschillende glijvlakmodellen:

- Bishop.

Gaat uit van een cirkelvormig glijvlak. De verticale krachten en het momentenevenwicht worden beoordeeld. Uitgangspunt is dat de maximaal mobiliseerbare schuifsterkte langs het glijvlak gemobiliseerd is (Rijkswaterstaat, 2016). De kans op afschuiving wordt beoordeeld op basis van de maatgevende belasting ten opzichte van de maximaal beschikbare sterkte.

- Spencer-Van der Meij.

Gaat uit van een niet-cirkelvormig glijvlak. Naast de verticale krachten en het momentenevenwicht worden ook de horizontale krachten op de lamellen in het schuifvlak meegenomen in de beoordeling. Van ieder willekeurig glijvlak kan de veiligheidsfactor berekend worden. Binnen een opgegeven zoekgebied voor het vrije glijvlak vindt deze methode de weg met de minste weerstand (Alles Rijkswaterstaat, 2016). In Figuur 3.3 (Rijkswaterstaat, 2016) is een voorbeeld van een glijvlak volgens Spencer – Van der Meij weergegeven.



Figuur 3.3. Voorbeeld van een glijvlak volgens Spencer – Van der Meij (Rijkswaterstaat, 2016, p. 98).

– LiftVan.

Gaat uit van een cirkelvormig glijvlak met daartussen een horizontale grondmoot ingevoegd. Deze horizontale grondmoot wordt horizontaal belast door het dijklichaam en verticaal door de opwaartse waterdruk. Voor het cirkelvormige deel wordt het momentenevenwicht geanalyseerd. Voor het rechte (horizontale) deel wordt het horizontale evenwicht beoordeeld. Met dit model kunnen horizontale en cirkelvormige glijvlakken berekend worden. Met deze methode kan een lagere veiligheidsfactor gevonden worden dan via de methode Bishop (Rijkswaterstaat, 2016).

In alle drie genoemde methoden moet het glijvlak voorgeschreven worden, waaruit na veel berekeningen het maatgevende glijvlak bepaald wordt (Rijkswaterstaat, 2016). Dit is het glijvlak met de laagste veiligheidsfactor.

In RisKeer wordt in de gedetailleerde toets voor de analyse van de macrostabiliteit binnenwaarts het glijvlakmodel van LiftVan toegepast. In D-Geo Stability is het ook mogelijk om gebruik te maken van Bishop en Spencer-Van der Meij. Wanneer twijfel is over de resultaten van de berekening met het glijvlakmodel van Spencer-Van der Meij wordt aangeraden om ook een berekening met LiftVan of Bishop te maken (Rijkswaterstaat, 2016).

In het Technisch rapport macrostabiliteit wordt de volgende vergelijking beschreven over de verschillende glijvlakmethoden (Zwanenburg, 2013, p. 92): “De methode Spencer Van der Meij heeft theoretisch ongeveer dezelfde onzekerheden in het rekenmodel als methode LiftVan. Beide modellen beschouwen horizontaal evenwicht. Spencer van de Meij heeft een meer representatieve vorm van glijvlakken in vergelijking met LiftVan hoewel de glijvlakken met Spencer Van der Meij daarentegen niet kinematische bepaald zijn. Het afsnuiten vindt in Spencer Van der Meij weliswaar niet plaats en in de modellen LiftVan en Bishop wel maar dit levert in laatstgenoemde 2 modellen een lagere stabiliteitsfactor. In Spencer Van der Meij wordt meestal een iets lagere evenwichtsfactor berekend dan LiftVan. Daarnaast is er nog weinig ervaring met het model”.

3.3 Stabiliteitsanalyse

3.3.1 Gedraineerd

De gedraineerde analyse kan alleen gebruikt worden voor waterkeringen waarvan het dijklichaam en de ondergrond uit goed doorlatende grond bestaat. Alleen de hoek van inwendige wrijving φ' is van belang voor de bepaling van de gedraineerde schuifsterkte (Rijkswaterstaat, 2016). Voor het bepalen van de mobiliseerbare schuifsterkte wordt onderstaande formule gebruikt:

$$t_{\max} = s' \cdot \sin \varphi'_{cs}$$

Hierin is:

$t_{\max}$ Maximaal mobiliseerbare schuifsterkte (kN/m²).

s' Gemiddelde hoofdspanning (kN/m²).

φ'_{cs} Hoek van inwendige wrijving (°).

Met:

$$t_{\max} = \frac{1}{2} \cdot (\sigma'_v - \sigma'_h)$$

$$s' = \frac{1}{2} \cdot (\sigma'_v + \sigma'_h)$$

Hierin is:

- σ'_v Verticale effectieve spanning.
- σ'_h Horizontale effectieve spanning.

3.3.2 Ongedraineerd

De waarde van de ongedraineerde schuifsterkte is afhankelijk van meerdere factoren, daarom is het meten van de sterkte in het veld en in het laboratorium van belang (Rijkswaterstaat, 2016). De ongedraineerde schuifsterkte s_u wordt bepaald volgens het CSSM model en de SHANSEP methode, met onderstaande formule:

$$s_u = S \cdot \sigma'_{vi} (\text{OCR})^m$$

Met:

$$\text{OCR} = \sigma'_{vy} / \sigma'_{vi}$$

Hierin is:

- s_u De ongedraineerde schuifsterkte (kN/m^2).
- S De normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkteratio (-).
- σ'_{vi} De effectieve (in situ) verticale spanning (kN.m^2).
- OCR Overconsolidatieratio (-).
- m De sterkte toename exponent (-).
- σ'_{vy} De grensspanning (kN/m^2).

S en m zijn schuifsterkte eigenschappen van de grond en σ'_{vi} en OCR zijn de spanningscondities in de grond (Rijkswaterstaat, 2016).

De grensspanning kan ook gevonden worden met gebruik van de pre overburden pressure (POP) volgens:

$$POP = \sigma'_{vy} - \sigma'_{vi}$$

In de software kan gekozen worden voor invoer van de grensspanning σ'_{vy} of de POP .

De parameters S , m en σ'_{vy} (of POP) moeten worden ingevoerd in D-Geo Stability. Hiermee wordt de ongedraineerde schuifsterkte s_u berekend.

Bepaling van de parameters:

– S

De normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkteratio is vergelijkbaar met de hoek van inwendige wrijving. Naast het effect van wrijving tussen de gronddeeltjes wordt ook het effect van het ontstaan van waterspanningen bij ongedraineerd gedrag meegenomen in deze parameter. Voor veen wordt de S bepaald met direct simple shear proeven en voor klei met ééntraps anisotroop geconsolideerde triaxiaal proeven met constante hoogte. Zie voor een toelichting bijlage E van de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016).

– σ'_{vi}

De effectieve spanning (ook wel korrelspanning) wordt bepaald aan de hand van het gewicht van de bovenliggende grondlagen en de waterspanningen. $\sigma'_{vi} = \sigma - u$. σ = gronddruk, u = waterdruk.

– OCR

De overconsolidatieratio is een maat voor de dichtheid van de grond en zegt iets over het ontstaan van waterspanningen tijdens mobilisatie van de schuifsterkte. De OCR wordt bepaald met de grensspanning en de verticale effectieve spanning of via de POP.

– m

De sterktetoe-name-exponent wordt bepaald met samendrukkingsproeven in het laboratorium, maar kan ook bepaald worden uit triaxiaalproeven en direct simple shear proeven. Zie voor verdere beschrijving bijlage B van de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016, paragraaf 4.5).

– σ'_{vy}

De grensspanning is een maat voor de belastinggeschiedenis van de grond en wordt bepaald met samendrukkingsproeven in het laboratorium. Daarnaast kan de grensspanning ook met empirische correlaties worden afgeleid uit sonderingen, maar dan moet de onzekerheid uit de correlaties wel in rekening worden gebracht. Zie voor verdere beschrijving bijlage B van de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016, paragraaf 4.4 - 4.6)

– POP

Met de pre overburden pressure wordt de mate van overconsolidatie aangegeven.

3.3.3 Ongedraineerde of gedraineerde analyse

Sondeerresultaten met meting van de waterspanning kunnen gebruikt worden om onderscheid te maken tussen goed doorlatende grondlagen en matig tot slecht doorlatende grondlagen (Rijkswaterstaat, 2016). Wanneer aan een of meerdere van de onderstaande voorwaarden wordt voldaan kan een grondlaag als goed doorlatend worden beoordeeld.

- $R_f < 1,5\%$
- $B_q < 0,05 \text{ à } 0,10$
- $((u_2 - u_0) / \sigma'_{vi}) < 0,5 \text{ à } 1,0$
- $I_c < 2,4$

Deze criteria zijn alleen van toepassing op verzadigde grond” (Rijkswaterstaat, 2016, p. 161). Bij voorkeur moet de grondlaag aan meerdere van de bovenstaande criteria voldoen om als goed doorlatend te worden beoordeeld. Bij twijfel moet met ongedraineerd gedrag gerekend worden (Rijkswaterstaat, 2016).

R_f is het wrijvingsgetal volgens Begemann (1965):

$$R_f = f_s / q_c \times 100\%$$

B_q is de genormaliseerde waterspanning:

$$B_q = (u_2 - u_0) / (q_t - \sigma'_{vi})$$

De berekening $((u_2 - u_0) / \sigma'_{vi})$ is een alternatieve manier om tijdens het sonderen de gemeten waterspanning te normaliseren (Schneider, 2008).

I_c is een index voor classificatie van de grondsoort. “ I_c wordt volgens Been en Jefferies (1992) als volgt berekend:

$$I_c = ((3 - \log (Q_t (1 - B_q) + 1))^2 + (1,5 + 1,3 \cdot \log (F_r))^2)^{\frac{1}{2}}$$

In deze definities zijn de volgende parameters van belang (Rijkswaterstaat, 2016, p. 161):

a	Relatieve oppervlakte van de spleet bij het waterspanningsfilter [-] (Zie NEN-EN-ISO22476-1)
B_q	Genormaliseerde dimensieloze wateroverspanning [-].
F_r	Genormaliseerde wrijvingsratio $F_r = [f_s / (q_t - \sigma_{vi})] \times 100\%$ (%).
f_s	Gemeten wrijvingsweerstand [MPa].
q_c	Gemeten conusweerstand [MPa].
q_t	Voor waterspanningseffecten gecorrigeerde sondeerweerstand van de piëzoconus $q_t = q_c + u_2$ (1 - a) [MPa].
Q_t	Genormaliseerde dimensieloze sondeerweerstand $Q_t = (q_t - \sigma_{vi}) / \sigma'_{vi}$ [-].
R_f	Wrijvingsgetal volgens Begemann $R_f = f_s / q_c \times 100\%$ [%].
u_0	In situ stationaire waterspanning [MPa].
u_2	Met de piëzoconus gemeten waterspanning (waterspanningsopnemer achter de conuspunt) [MPa].
σ_{vi}	In situ verticale totaalspanning [MPa].
σ'_{vi}	In situ verticale effectieve spanning [MPa]”.

In bijlage C van de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016, p. 115 e.v.) worden de, voor de Stochastische Ondergrond Schematisatie onderscheiden, geologische eenheden beschreven met daarbij aangegeven of voor de stabiliteitsanalyse moet worden uitgegaan van gedraineerd of ongedraineerd gedrag.

3.4 Normen en aanbevelingen

Uit bijlage E.2 van de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016) komt onderstaande Figuur 3.4 (Rijkswaterstaat, 2016, p. 126) met een overzicht van normen en aanbevelingen ten aanzien van het uitvoeren van geotechnisch laboratorium onderzoek. De Nederlandse normen hierin zijn gedateerd (Rijkswaterstaat, 2016). De Europese normen kunnen als richtlijn worden gebruikt met het protocol in bijlage E van de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016) als verbetering of aanvulling.

Proef	Vigerende Nederlandse normen en aanbevelingen en enkele relevante internationale documenten
Boren en monster-behandeling	Geotechnisch onderzoek en beproeving – Monsterneming met behulp van boren en ontgraving en grondwatermeting – Deel 1: Technische grondslagen voor het uitvoeren. NEN-EN-ISO 22475-1
Triaxiaalproef	Bepaling van schuifweerstand- en vervormingsparameters van grond – Triaxiaalproef. Nederlandse norm NEN 5117, 1 ^e druk, december 1991. Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil – Part 9: Consolidated triaxial compression tests on water-saturated soil. Technical Specification. CEN ISO/TS 17892-9. First edition 2004-10-15.
Direct simple shear proef	Standard Test Method for Consolidated Undrained Direct Simple Shear Testing of Cohesive Soils. ASTM D 6528-07. American Society for the Testing of Materials. NORSOK standard G-0001, Annex D: Laboratory testing, Rev.2, October 2004.
Constant rate of strain proef	Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Controlled-Strain Loading. ASTM D 4186 – 06. American Society for the Testing of Materials.
Samendrukkings-proef	Bepaling van de een-dimensionale samendrukkingseigenschappen van de grond. Nederlandse norm NEN 5118, 1 ^e druk, december 1991. Uitvoering en interpretatie samendrukkingsproef. CUR-aanbeveling 101, 2005. Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil – Part 5: Incremental loading oedometer test. Technical Specification. CEN ISO/TS 17892-5. First edition 2004-10-15.
Classificatie-proeven	NEN 5104 Geotechniek - Classificatie van onverharde grondmonsters, 1989. NEN-EN-ISO 14688: Geotechnisch onderzoek en beproeving - Identificatie en classificatie van grond: Deel 1: Identificatie en beschrijving Deel 2: Grondslagen voor classificatie TR16 Technisch Rapport Geotechnische classificatie van veen. TAW, 1996. Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil – Part 12: Determination of the Atterberg limits. Technical Specification. CEN ISO/TS 17892-12. First edition 2004-10-15. Plasticiteit van grond. Proef 14. Standaard RAW Bepalingen 2015. CROW Ede. Organische-stofgehalte en CaCO ₃ -gehalte. Proef 28. Standaard RAW Bepalingen 2015. CROW Ede.

Figuur 3.4. Vigerende Nederlandse normen en aanbevelingen en internationale documenten (Rijkswaterstaat, 2016, p. 128).

De NEN 5104 wordt nu nog gebruikt voor de classificatie van grond. In de toekomst zal de NEN-EN-ISO 22474-1 gebruikt moeten worden. Voor de monsternamen moeten de Eurocode 7 en NEN-EN-ISO 22475-1 gevolgd worden. Alleen handboringen op ongestoorde monsters zijn hiervan uitgesloten (Rijkswaterstaat, 2016).

3.5 Veldonderzoek

In het WBI2017 worden specifieke eisen gesteld aan sonderingen en boringen ten behoeve van de ongedraineerde stabiliteitsanalyse voor de toets op macrostabiliteit. Hieronder worden de eisen aan (bestaande) sonderingen en boringen beschreven.

3.5.1 Eisen aan sonderingen

Uit sonderingen kunnen de grensspanning en de ongedraineerde schuifsterkte afgeleid worden. Bestaande sonderingen kunnen hiervoor gebruikt worden. Deze sonderingen moeten dan wel aan bepaalde eisen voldoen, anders zullen nieuwe sonderingen uitgevoerd moeten worden.

Eisen aan bestaande sonderingen

Bestaande sonderingen kunnen gebruikt worden voor het bepalen van de grensspanning en de ongedraineerde schuifsterkte wanneer ze aan de volgende voorwaarden voldoen (Rijkswaterstaat, 2016, p. 153):

- “De sonderingen dienen te zijn uitgevoerd volgens NEN 5140 of NEN-EN-ISO-22476-1 met meting van de conusweerstand en plaatselijke kleef.
- De kwaliteit van de sonderingen dient ten minste klasse 2 volgens NEN 5140 te zijn. Dit is de gangbare kwaliteit van sonderingen. Deze kwaliteitseisen komen ongeveer overeen met klasse 3 van NEN-EN-ISO-22476-1.
- De meetgegevens dienen in een digitaal bestand beschikbaar te zijn (bijvoorbeeld GEF).
- De situatie van de dijk en de ondergrond ten tijde van de uitvoering van de sonderingen dient vergelijkbaar te zijn met de huidige situatie. Wanneer de geometrie van de dijk zodanig is gewijzigd dat dit effect heeft gehad op de effectieve spanning op de plek van oude sondering, is de sterkte van de grond op die plek ook anders geworden en daarmee ook de sondeerweerstand op die plek”.

Eisen aan nieuwe sonderingen

Voor het bepalen van de grensspanning en de ongedraineerde schuifsterkte uit nieuwe sonderingen gelden de onderstaande eisen (Rijkswaterstaat, 2016, p. 153):

- “Bij het uitvoeren van nieuwe sonderingen ten behoeve van de in situ bepaling van de grensspanning moeten afhankelijk van de grondsoort sonderingen volgens klasse 1 of klasse 2 van NEN-EN-ISO-22476-1 worden uitgevoerd, waarbij ook de waterspanning (u_2) wordt gemeten. Zie verderop wanneer klasse 1 en wanneer klasse 2 voldoet.
- In aanvulling op NEN-EN-ISO-22476-1 is een protocol ontwikkeld voor het uitvoeren van sonderingen met de verhoogde nauwkeurigheid die nodig kan zijn voor het bepalen van de ongedraineerde schuifsterkteparameters [Stoevelaar, 2015].
- Het meetinterval bedraagt in afwijking van de norm 10 mm.
- De conus moet een temperatuur hebben van circa 10°C (temperatuur ondergrond). De sondeermeester laat hiertoe de conus eerst 15 minuten in de grond staan, alvorens met de feitelijke penetratie wordt begonnen. Na passage van een laag met $q_c > 5$ MPa en een dikte van > 5 m dient eveneens een wachttijd van 15 minuten in acht te worden genomen om de conus te laten afkoelen
- Een goede ontluchting van de conus en het filter voorafgaand aan de

waterspanningsmetingen is vereist. Voor iedere sondering dient een nieuw filter te worden gemonteerd.

- De filters en meetkamer dienen gevuld te zijn met siliconenolie. De filters en conussen dienen tevoren grondig ontlucht te zijn en onder olie bewaard. Het monteren dient ook onder olie te gebeuren.
- De specificaties van de gebruikte conussen dienen bekend te zijn, inclusief de ‘net area ratio’. De afmetingen van de conus moeten binnen 0,1 mm van de nominale waarden liggen.
- Bij toepassing van een 15 cm² conus dient de sondeerstang over een lengte van 600 mm dezelfde diameter te hebben (geen verjonging, geen kleeftbreker).
- Alle toe te passen conussen moeten nieuw gekalibreerd zijn of de conus moet zijn voorzien van een logboek en een tussentijdse kalibratie van niet ouder dan 0,5 jaar. Details over de kalibratie-eisen zijn te vinden in [Stoevelaar, 2015]”.

In de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016, p. 154) staat samengevat wanneer gesondeerd moet worden volgens klasse 1 of 2, zoals voorgeschreven door NEN-EN-ISO-22476-1:

- “Bij slappe homogene grond binnendijs waar geen tussenzandlagen of andere harde lagen voorkomen klasse 1 toepassen.
- Bij sondeerweerstand lager dan 0,2 MPa dient met een grotere nauwkeurigheid dan de eisen voor klasse 1 te worden gesondeerd, zodat een nauwkeurigheid van ca. 10% behaald wordt. Hiervoor is in het protocol sonderen voor S_u bepaling (Stoevelaar, 2015) een klasse 1+ gedefinieerd.
- In de dijk bij voorkeur klasse 1 toepassen.
- Bij sondeerweerstand kleiner dan 0,7 – 1,0 MPa geen klasse 2.
- Binnendijs of in de dijk waar tussenzandlagen of andere harde lagen (sondeerweerstand groter dan 10 MPa) voorkomen en waar voorboren niet haalbaar is klasse 2 toepassen”.

Voor het bepalen van de in situ grensspanning en de ongedraineerde schuifsterkte moeten voldoende gegevens van de in situ toestand van de grond verkregen zijn. Sonderen met een piëzoconus (CPTu) is hiervoor erg geschikt (Rijkswaterstaat, 2016). Per dwarsprofiel moeten minstens twee sonderingen beschikbaar zijn, waarvan een in de kruin en een binnendijs. Het dwarsprofiel moet representatief zijn voor het hele dijkvak. In een dijkvak moeten om de 50 -150 meter sonderingen genomen zijn (Rijkswaterstaat, 2016). Voor het gebruik van sonderingen voor het bepalen van de grensspanning en de ongedraineerde schuifsterkte kan van grof naar fijn worden gewerkt.

3.5.2 Eisen aan boringen

Voor het uitvoeren van laboratoriumproeven op monsters uit cohesieve lagen moeten voor het WBI boringen met ongestoorde monsternamen worden uitgevoerd. Voor de behandeling van deze monsters worden de onderstaande eisen gesteld (Rijkswaterstaat, 2016):

Eisen behandeling monsters (Rijkswaterstaat, 2016)

- Temperatuur opslag: 6 - 12 °C.
- Relatieve luchtvochtigheid opslag: 85 – 100%.
- Lege ruimten monsterbussen opvullen met zakjes gevuld met zand. Bij veen opvullen met een lichter materiaal.
- Monsterbussen luchtdicht afsluiten.
- Vervoer van de monsterbussen rechtop staand en geveerd en niet met het vliegtuig.
- Verstoring van de monsters moet te allen tijde voorkomen worden.

Voor boringen met ongestoorde monsternamen moet gebruik worden gemaakt van de norm voor monsternamen NEN-EN-ISO 22475-1. De schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016, p. 123, 124) geeft hierop, in bijlage D, de onderstaande aanbevelingen.

Boorproces

- “De boringen dienen in overeenstemming met NEN-EN-ISO 22475-1 te worden uitgevoerd.
- Boringen voor ongestoorde monsternamen dienen uitgevoerd te worden met een van de volgende boorsystemen:
 - Piston Sampler met dunwandige steekbuis met een diameter van minimaal 100 mm. Dit boorsysteem is zeer geschikt voor ongestoorde monsternamen in veen (geringe monsterverstoring en nauwelijks steekverlies). Bij het Dijken op Veen project (Zwanenburg, 2014) is dit systeem voor veen duidelijk beter gebleken dan de overige drie methoden.
 - Holle Avegaar met een diameter van minimaal 100 mm. De snijrand van de Holle Avegaar dient een scherpe hoek en een scherpe snijrand te hebben.
 - Ackermann steekapparaat met gedrukte of geslagen steekbussen. De bussen dienen gaaf te zijn en een scherpe rand te hebben.
 - Begemann boring met gelijke binnendiameter voor steekmond en pvc-liner.
- Met betrekking tot het opvullen van de lege ruimtes in buizen en bussen wordt aanbevolen geen paraffine te gebruiken, maar een licht opvulmateriaal dat met plastic van het opgeboorde materiaal gescheiden is. Paraffine krimpt bij uitharding en is soms zeer lastig te verwijderen. Daarnaast is het water- en luchtdicht afsluiten van de buizen een vereiste.
- De boorbuizen en bussen moeten lekvrij en luchtdicht worden afgesloten. De op de buizen geplaatste afsluitende doppen moeten met was of duct-tape worden geseald.
- De buizen of bussen moeten geveerd en schokvrij worden vervoerd. Indien de buizen in een krat of ander transportmateriaal worden vervoerd waarin zij kunnen bewegen, dienen ze vastgezet te worden met schokabsorberend materiaal.
- De buizen of bussen dienen op dezelfde dag van het uitvoeren van de boring naar het laboratorium / opslag te worden gebracht.
- Boorbussen dienen direct te worden gelabeld of op een andere manier van een duidelijk kenmerk te worden voorzien. Op de label staan de volgende zaken vermeld of zijn via het registratieformulier en het kenmerk direct te herleiden:
 - Projectnummer of –identificatie.
 - Uitvoeringsdatum.
 - Boringnummer of –identificatie.
 - Boven- en onderzijde vanaf maaiveld.
- De boringen dienen vergezeld te worden van een registratieformulier waarop ten minste de volgende zaken staan vermeld:
 - Projectnummer of –identificatie.
 - Uitvoeringsdatum.
 - Boorsysteem en aanverwante variabelen zoals gebruikte steekmond en gebruikte spoeling, indien van toepassing:
 - Boormeester.
 - Aantallen buizen van welk type.
 - Steekdiepte van de afzonderlijke bussen.
 - Totale diepte van de boring.
 - Indien van toepassing: eventuele bijzonderheden.
 - Steekverlies”.

Ontvangst laboratorium

- “Na ontvangst worden de boringen ingeschreven en direct onder geklimatiseerde omstandigheden opgeslagen. Onder geklimatiseerde omstandigheden wordt een temperatuur tussen 6°C en 12°C en een relatieve luchtvochtigheid van minimaal 85% verstaan.
- In het laboratorium dienen de bussen met zorg te worden behandeld. Schokken en stoten van de bussen moet worden voorkomen.
- Indien wordt vermoed dat de kwaliteit van een monster is beïnvloed tijdens de opslag dient dit te worden geregistreerd.
- De monsters dienen op een dusdanige wijze te worden opgeslagen dat de eigenschappen hiervan niet veranderen. Een horizontale opslagwijze verdient bij cohesieve zettingsgevoelige materialen de voorkeur. Dit is gebaseerd op de veronderstelling dat materiaal onder invloed van het eigen gewicht kan consolideren tijdens langdurige opslag. Bij een horizontale opslagwijze zal dit effect minimaal zijn” (Rijkswaterstaat, 2016, p. 124).

Verder van belang

- “Boorbuizen en steekbussen dienen rond, vrij van bramen en deuken en vrij van roest te zijn. Kleine bramen kunnen met een vijl verwijderd worden.
- De steekmond dient een scherpe snijrand te hebben. Vooral in veen is dit van belang voor het effectief door kunnen snijden van de vezels.
- Het opgeboorde materiaal dient in de buizen waarmee het is geboord, zo snel mogelijk vervoerd te worden naar het laboratorium. Tijdens het transport dienen schokken en trillingen zoveel mogelijk vermeden te worden. Losse buizen in kratten, zoals bij de Ackermann-bussen, dienen tegen het heen en weer schudden beschermd te worden. De kratten moeten op verend materiaal worden geplaatst.
- Voor en tijdens transport dient voorkomen te worden dat de bussen blootgesteld worden aan direct zonlicht en hoge en lage temperaturen (beneden het vriespunt)” (Rijkswaterstaat, 2016, p. 125).

Bij het veldonderzoek moeten de sonderingen en boringen op korte afstand van elkaar uitgevoerd worden, om correlaties op te kunnen stellen.

Bepalen parameters uit sonderingen

Van ieder gebruikt monster in een triaxiaal- of DSS-proef moet de oorspronkelijke diepte in het veld bepaald worden. Daarnaast moet de ongedraineerde schuifsterkte s_u bepaald zijn. Uit de sondering moet de gemeten sondeerweerstand op de diepte van het monster bepaald worden. Bij het bepalen van deze sondeerweerstand moet gemiddeld worden over de hoogte van het proefstuk. Bij triaxiaal met 15 cm en bij DSS met 5 cm. De sondeerwaarde moet gecorrigeerd worden voor de waterspanning en totaalspanning. Over het bepalen van de parameters uit sonderingen wordt dieper ingegaan in paragraaf 3.7 en 3.9 van deze bijlage. Daarnaast wordt in bijlage H van de schematiseringshandleiding macrostabiliteit de bepaling van de parameters uit sonderingen beschreven (Rijkswaterstaat, 2016, p. 156 e.v.)

3.6 Laboratorium proeven

3.6.1 Behandeling monsters in het laboratorium

Algemeen

- Bussen pas uitdrukken wanneer het materiaal beproefd gaat worden.
- Uitdrukken bussen horizontaal, direct in een passende of iets grotere goot.
- Zo snel mogelijk in plastic inpakken, wanneer proef niet direct wordt uitgevoerd.
- Tijd tussen monsternamen en proef maximaal enkele dagen.
- Monsters moeten tot het moment van de proef altijd worden ondersteund.

In de schematiseringshandleiding macrostabiliteit staan de onderstaande eisen voor het openen van de bussen voor monsters van cohesieve grondlagen beschreven (Rijkswaterstaat, 2016, p. 124):

- “Stalen boorbuizen dienen liggend te worden uitgedrukt.
- Kunststof boorbuizen dienen aan weerszijden te worden doorgesneden. Het gebruik van frezen of andere trillende of vibrerende apparatuur is niet toegestaan.
- De visuele indruk van de monsterkwaliteit dient omschreven te worden, zoals:
 - Monsterdiameter.
 - Verkleuringen.
 - Vervormingen, groeven in monster et cetera.
 - Verstoring van de gelaagdheid.
 - Extra ‘steekverlies’ ten gevolge van het uitdrukken, indien van toepassing.

Monsters die niet meteen worden gebruikt, worden met een label in cellofaan verpakt en tot verder gebruik gekoeld weggelegd (zie paragraaf D.2). De tijd tussen het uitnemen van een monster en de beproeving daarvan dient zo beperkt mogelijk te worden gehouden. Elk monster wordt apart genummerd en gelabeld”.

In de schematiseringshandleiding macrostabiliteit staan de onderstaande eisen voor het prepareren van de monsters en proefstukken van cohesieve grondlagen beschreven (Rijkswaterstaat, 2016, p. 124, 125):

“Het trimmen van een veenmonster moet met de nodige zorg worden uitgevoerd. Veen, met de soms stugge vezels, wortels en takjes in combinatie met de grote samendrukbaarheid is erg gevoelig voor monsterverstoring door het trimmen. De volgende procedure wordt aangehouden:

- Een uit de boring genomen monster wordt eerst planparallel gemaakt.
- Vervolgens wordt dit monster op een trimapparaat geplaatst waarin het monster draaiend op verschillende diameters teruggebracht kan worden. Met zeer scherpe messen worden eerst wat dikkere plakken van de zijkant verwijderd. Bij het verwijderen van de laatste circa halve centimeter worden alleen dunne plakjes verwijderd met een langgerekt recht snijvlak te worden gebruikt, die regelmatig met aanzetstalen worden geslepen.
- Voor het prepareren van een monster voor een samendrukkingsproef, constant rate of strain proef of een direct simple shear proef wordt het aldus verkregen monster vervolgens onder een handbediende boorkolom geplaatst met een scherpe snijring op het monster. De snijring wordt door middel van de boorkolom met een geringe kracht op het monster gedrukt. Het buiten de snijring stekende deel van het monster wordt vervolgens voor de snijring uit met dezelfde messen weggesneden, zodat de snijring als het ware over het monster glijdt.
- Ten slotte worden de aan de onder- en bovenzijde van de ring uitstekende delen van het monster met dezelfde messen laagje voor laagje afgesneden. In de laatste fase wordt het lemmet op twee punten van de snijring gehouden, zodat het oppervlak gelijk aan de boven-

en onderzijde van de ring gehouden.

Voor het trimmen van een kleimonster ten behoeve van het uitvoeren van een triaxiaalproef kan dezelfde procedure worden gevolgd als hiervoor aangegeven voor het trimmen van veenmonsters (eerste en tweede punt). Eventueel kunnen ook draadzagen worden gebruikt voor het trimmen van een kleimonster, maar bij stijve klei wordt dit afgeraden. Voor het trimmen van een kleimonster ten behoeve van het uitvoeren van een samendrukkingproef, constant rate of strain proef of direct simple shear proef kan eveneens een scherpe snijring worden gebruikt, zoals hierboven aangegeven. Een uit de boring genomen kleimonster wordt eerst planparallel gemaakt”.

Monsters voor triaxiaalproeven

Trimmen in trimtoestel met staaldraad of mes.

Monsters voor Direct Simple Shearproeven (DSS-proeven)

- Op maat maken met scherpe steekring en voorzichtig materiaal wegsnijden voor de steekmond.
- Steekring leiden, zodat de steekrand horizontaal blijft.
- Kopse kant haaks op de steekrichting afsnijden.

3.6.2 Eisen triaxiaalproeven

- Hoogte/diameterverhouding proefstuk: 1.8 – 2.2.
- Proef op zo groot mogelijk proefstuk: minimaal 50 mm (gaat mogelijk na 65 mm).

Eisen voor verzadigen monster (Rijkswaterstaat, 2016, p. 130)

- “Tijdens de monsterverzadiging mag de effectieve druk in het monster niet boven de uiteindelijke consolidatiedruk uitkomen. Hiermee wordt een ongewenste voorbelasting in het monster voorkomen. Men kan optioneel de celdruk en de monsterdruk tegelijk
- De B-factor bij 300 kPa (of hogere) backpressure moet minimaal 0,96 zijn. Bij stijve kleimonsters kan deze eis problemen geven. Het laboratorium moet aantoonbaar inspanning leveren om de gevraagde B-factor te bereiken. Men kan hierbij werken met hogere backpressure en langere verzadigingsduur (maximaal 24 uur). In het uiterste geval mag men de B-factor bepalen nadat de consolidatiedruk is aangebracht.
- De bepaling van de B-factor gebeurt door meting van poriedruktoename bij een kortdurende celdruktoename van minstens 25 kPa (of maximaal de consolidatiedruk als deze lager is dan 25 kPa)”.

Eisen voor consolideren monster

- Consolidatie in cel waarin afschuiving plaats vindt.
- Geen druk- en volumeverandering in cel bij overzetten van cel onder consolidatiedruk naar drukpers.
- Geen scheefstand van monster en kopplaat.
- Diameter poreuze eindplaat: gelijk aan monster tot maximaal 5 mm groter.
- Poreuze eindplaat moet vlak zijn.
- Monster mag niet voortijdig bezwijken.

Consolidatieduur maximaal drie dagen. Controle door drainagekranen 10 minuten te sluiten: consolidatie voltooid wanneer de waterspanning met maximaal 1 kPa oploopt.

Anisotrope consolidatie: spanningsgestuurde tweetrapsprocedure. Eerste stap: isotrope consolidatie totdat de gewenste horizontale spanning bereikt is. Tweede stap: verticale spanning opvoeren tot de

gewenste K_0 -verhouding. In hoofdstuk E.9 (P.141 e.v.) van de schematiseringshandleiding staan nog twee andere werkwijzen beschreven (Rijkswaterstaat, 2016).

Verhoging snelheid deviatorspanning (Rijkswaterstaat, 2016, p. 131):

- “Opvoeren van de verticale druk met een constante toename in de tijd tot de gewenste eindwaarde, bijvoorbeeld met 6 kPa/uur.
- Opvoeren van de verticale rek met een constante toename in de tijd totdat de deviatordruk de gewenste waarde heeft bereikt, bijvoorbeeld met 0.1 %/uur. Als men een t_{100} waarde (zie NEN5117) beschikbaar heeft kan men de bijbehorende snelheid van een gedraineerde afschuiving aanhouden”.

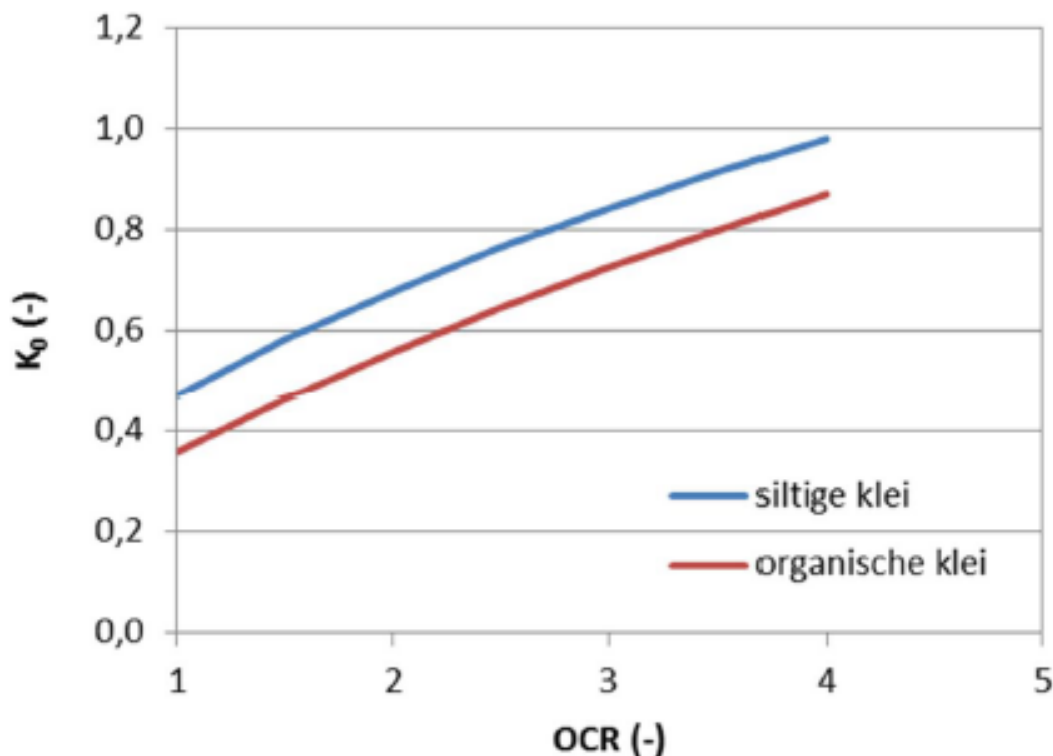
Bepalen K_0 voor anisotroop consolideren

K_0 -waarde bepalen uit: K_0 CRS-proef, literatuurbedata of gegevens uit een database.

Richtwaarden voor K_0 geldend voor $OCR = 1$ (Rijkswaterstaat, 2016, p. 132):

- “ $K_0 = 0,35$ voor organische klei met een volumegewicht lager dan 14 kN/m^3 .
- $K_0 = 0,45$ voor siltige klei met een volumegewicht hoger dan 14 kN/m^3 ”.

In onderstaande Figuur 3.5 (Rijkswaterstaat, 2016) is het verband tussen de OCR en de K_0 -factor weergegeven.



Figuur 3.5. Verband tussen de OCR en de K_0 -factor (Rijkswaterstaat, 2016, p. 132).

Voor bepaling van K_0 met CRS- of samendrukkingsproeven wordt de OCR-waarde verkregen door onderstaande formule:

$$OCR = \sigma'_{vy} / \sigma'_{v,i}$$

Hierin is:

σ'_{vy} Grensspanning.

$\sigma'_{v,l}$ Effectieve in-situ verticale druk.

Bepalen consolidatiespanning

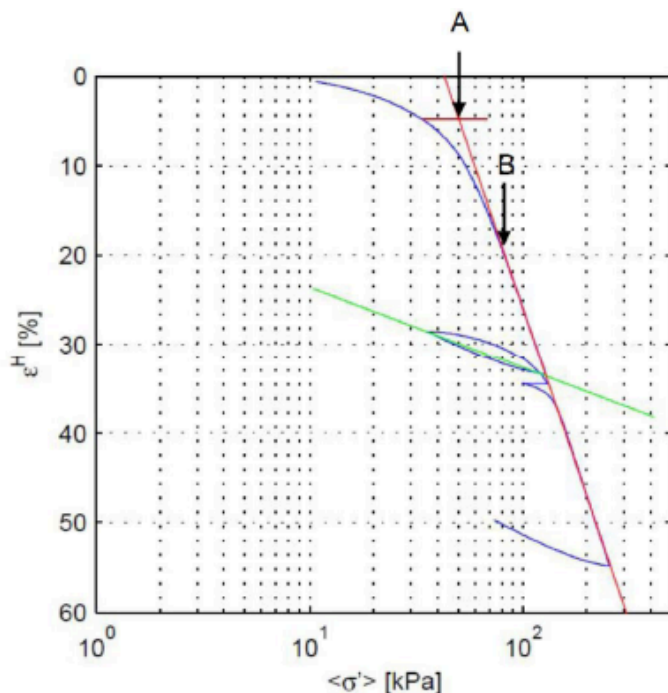
Consolidatiespanning lager dan grensspanning: overgeconsolideerd gedrag (dilatantie van grond), waardoor tijdens afschuiven wateronderspanning in de grond. Wateronderspanning geeft extra sterkte aan grond.

Wanneer de OCR bekend is kan de gevonden schuifsterkte omgerekend worden naar een normaal geconsolideerde waarde van de schuifsterkte.

Consolidatiespanning gelijk of hoger dan grensspanning: normaal geconsolideerd gedrag (contractie van grond), waardoor tijdens afschuiven wateroverspanning in de grond. Wateroverspanning maakt grond minder sterk.

De keuze voor de consolidatiespanning staat beschreven in paragraaf E.4.4. van de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016, P.132 e.v.). Hieronder samengevat (Rijkswaterstaat, 2016, p. 133):

- “Een deel van de proeven krijgt een spanningsniveau behorend bij de huidige in-situ druk.
- De resterende proeven krijgen een verticaal spanningsniveau gelijk aan de bovengrens van de grensspanning (punt B in Figuur E2.3) volgend uit de samendrukkingsproeven en de CRS-proeven. Wanneer een grote ophoging wordt aangelegd kan de consolidatiespanning daarop worden afgestemd.
- Doordat proefmonsters vanuit verschillende boringen, van verschillende dieptes en van herkomst onder de dijk en naast de dijk bij elkaar kunnen worden gevoegd in een proevenverzameling van proefmonsters van dezelfde grondsoort, worden min of meer vanzelf proeven met verschillende spanningsniveaus bij elkaar gevoegd”.



Figuur 3.6. Spanning-rek diagram van een CRS-proef. Grensspanning bij A en de bovengrens van de grensspanning bij B (Rijkswaterstaat, 2016, p. 134).

Voor normaal geconsolideerde proeven: consolidatiespanning is de bovengrens van de grensspanning uit CRS-proef. Dit is punt B in Figuur 3.6 (Rijkswaterstaat, 2016).

Bij standard samendrukkingsproeven: 1,5 – 2 keer de grensspanning. Dit is punt A in Figuur 3.6 (Rijkswaterstaat, 2016).

Wanneer het effect van overconsolidatie meegenomen moet worden kunnen twee methoden gebruikt worden:

- De SHANSEP-methode:

Vooraf voor proefstukken van lage kwaliteit (o.a. monsterverstoring).

Proefstuk consolideren bij consolidatiespanning gelijk of hoger dan de grensspanning van het proefstuk. Daarna consolidatiespanning verlagen tot gewenst spanningsniveau of gewenste overconsolidatiegraad (extra ontlaststap). (Uit Rijkswaterstaat, 2016)

- De Norwegian style-methode:

Voor proefstukken met weinig monsterverstoring.

Proefstuk consolideren bij de spanning van het proefstuk in het veld.

N.b. Wanneer proeven met een verschillende overconsolidatiegraad voor een stabiliteitsberekening of proevenverzameling worden gecombineerd, moet rekening worden gehouden met deze verschillen in overconsolidatiegraad (OCR).

Eisen voor afschuiven monster

- Afschuiven na anisotrope consolidatie (volgens CEN ISO/TS 17892-9) in continue ongedraineerde compressie.
- Ééntraps procedure: 1 belastingtrap volgens NEN 5117.
- Maximale afschuifsnellheid: 1% per uur of langzamer volgens de t_{100} bepaling (volgens NEN 5117).
- Doorzetten tot 25% axiale rek (Critical state). De gemeten schuifsterkte bij deze rek rapporteren.
- Kopplaat mag niet kantelen tijdens afschuiffase (Rijkswaterstaat, 2016).
- Correctie voor weerstand van het latex membraan.
- Gebruik van drainage strips bij klei.

Correctie voor weerstand van het latex membraan en gebruik van drainage strips bij klei moeten zelf bepaald worden: bijvoorbeeld met een gelatine monster (Greeuw e.a., 2001). De correcties moeten worden bepaald tot of voorbij de maximale vervorming uitgevoerd bij de triaxiaalproeven. Daarnaast kan voor elke proef de dikte van het membraan gemeten worden. Jaarlijks moet de stijfheidsmodulus van de gebruikte latex membranen bepaald en vastgelegd worden. De toegepaste correctie moet in de rapportage vermeld worden.

Wanneer geen t_{100} waarde uit de consolidatiefase is verkregen, dan zijn drie opties mogelijk (Rijkswaterstaat, 2016):

- Per grondlaag minimaal twee extra proeven doen met isotrope fase. Hieruit t_{100} bepalen.
- Lage snelheidswaarde kiezen, gebaseerd op eerdere ervaringen: 0,5% per uur of lager.
- T_{100} berekenen volgens: $t_{100} = 7.9 \cdot 10^{-3} \times H^2 / c_v$ (geldig voor tweezijdige drainage met drainage strips). Hierin is: H hoogte triaxiaalmonster, C_v consolidatiecoëfficiënt (bepaald bij aansluitende consolidatiedruk).

3.6.3 Eisen direct simple shearproeven (DSS-proeven)

Èntraps uitgevoerd en geplot.

Eisen voor verzadigen monster (Rijkswaterstaat, 2016)

Gebruik vochtige filterstenen. Alleen bij risico op zwel droge stenen gebruiken en voorbelasten. Enkele minuten top- en bodemplaten met water doorstromen via een in- en uitstroomkanaal. Blijkt na de proef dat het monster niet goed verzadigd was, dit vermelden en bij voorkeur de proef met een verzadigd monster herhalen. N.b. de protocollen gaan uit van verzadigde monsters.

Eisen voor consolideren monster (Rijkswaterstaat, 2016)

Consolidatieduur volgt uit verloop van de zetting tegen de tijd. Meestal is 16 uur ruim voldoende. Consolideren in meetcel, bij uitzondering bij hoog watergehalte) consolideren tot 25% van de gevraagde consolidatiespanning buiten de meetcel. Monsterhoogte bij begin en bij overzetten rapporteren. Monsterhoogte voor aanvang consolidatie altijd rapporteren.

Bepalen consolidatiespanning

Hiervoor geldt hetzelfde als bij de triaxiaalproef.

Eisen voor afschuiven monster

De ASTM D6528-07 richtlijn wordt gevolgd. Voor offshore constructies: NORSOK-richtlijnen. Aanvullingen op deze richtlijnen (Rijkswaterstaat, 2016):

- Zijkant van monster steunen met een ringenstapel rond het membraan, of een verstevigde membraan gebruiken.
- De proefresultaten moeten gecorrigeerd worden voor de membraanweerstand en de schuifweerstand van de ringenstapel.
- De boven- en bodemplaat van de proefopstelling moet horizontaal blijven.
- Afschuifsnelheid vaststellen volgens ASTM D 6528 – 07.
- Verwachte rek bij piekspanning: 15 – 20 % aanhouden.
- Consolidatietijd bepalen uit: zetting – tijd curve van de consolidatiefase.
- Afschuifsnelheid: 5% / uur (max: 8% / uur).
- Afschuiffase doorschuiven tot minimaal 40% rek (Critical state sterkte). Schuifsterkte bij 40 % schuifrek rapporteren.
- In de eindplaten moeten pinnen worden toegepast, om slip van het monster te voorkomen.
- Minimale monsterhoogte tussen pinnen: 10 mm. In de uitwerking 2 maal $\frac{2}{3}$ van de hoogte van de pinnen van de hoogte van het monster aftrekken.
- Laboratorium bepaald type membraan en moet zelf de membraancorrectie bepalen. Deze correctie rapporteren.
- Bijzondere waarnemingen tijdens proef rapporteren (uitdroging, onregelmatige afschuiving etc.).

Proef kan met constante hoogte of constante bovenbelasting uitgevoerd worden (Rijkswaterstaat, 2016):

- Constante hoogte (= ongedraineerde afschuiving): verticale belastingvariatie meten en daaruit waterspanningsverandering bepalen. Meten waterspanning is een optie.
- Constante bovenbelasting (= gedraineerde afschuiving): variatie in hoogte registreren en rapporteren.

Bij een consolidatiedruk lager dan 20 kPa moet extra aandacht geschonken worden aan de nauwkeurigheid en meetfouten. In de schematiseringshandleiding macrostabiliteit staat hierover het volgende (Rijkswaterstaat, 2016, p. 138):

“Bij DSS-metingen met een consolidatiedruk lager dan circa 20 kPa zal extra aandacht aan de nauwkeurigheid en aan mogelijke meetfouten moeten worden besteed. Het laboratorium moet aangeven welke nauwkeurigheid wordt gehaald met de gebruikte krachtopnemers in verticale en horizontale richting en wat dit betekent voor de gemeten spanningen. Het is gewenst, dat de absolute meetfout in verticale druk en in de schuifspanning minder dan 0,5 kPa bedraagt. Om dit te bereiken is een krachtopnemer nodig met een nauwkeurigheid beter dan 1.5 N, uitgaande van de conventionele monsterdiameter van 50 tot 70 mm.

Verder moet membraan/ringencorrectie worden toegepast, met de herkomst van de gebruikte waarden. Nodig is een eigen kalibratie op een zeer slap materiaal, zoals het in het rapport [Greeuw 2014] toegepaste Agar. Een ijkmeting met een opgesloten watermonster is ook een mogelijkheid, zie ASTM D6528-07. Het is vereist om eenmaal per jaar een ijking te verrichten naar de weerstand van membraan, ringen en de schuiftafel. Bij een verschil groter dan 30% met de voorgaande ijking dient het membraan en eventueel de ringen vervangen te worden. De membraan- en sledecorrectie M_c wordt uitgedrukt in de volgende vorm:

$$M_c = b + a \times d \text{ (kPa)}$$

Waarbij de parameters b (in kPa) en a (in kPa/mm) volgen uit lineaire regressie van de schuifweerstand tegen de verplaatsing d van de slede in mm.

Het ijkrapport moet bij navraag inzichtelijk zijn voor de opdrachtgever.

Tijdens de consolidatiefase kan er een schuifspanning ontstaan in het monster; deze spanning is reëel en mag niet genuld worden tijdens de proef en niet in de verwerkingssoftware”.

3.6.4 Eisen samendrukkingsproeven

Spanningsstappen worden volgens onderstaande Tabel 3.2 (Rijkswaterstaat, 2016) uitgevoerd. Hierin staan vermenigvuldigingsfactoren vermeld waarmee de effectieve terreinspanning $\sigma'_{v,i}$ moet worden vermenigvuldigd. Iedere belastingstap duurt minimaal 24 uur. Vanaf stap 2 wordt, indien mogelijk, de C_v -waarde bepaald. Hierbij moet in de zetting-log(t) Casagrandeplot een rechte kruiptak aanwezig zijn. Wanneer dit niet aanwezig is, moet de stap met 24 uur verlengd worden. Tijdens de proef moet een zetting-log(t) grafiek bijgehouden worden. De zetting na 24 uur rapporteren. In geval van een weekend mogen de stappen 72 uur duren.

Tabel 3.2. Spanningsniveau per belastingstap (Rijkswaterstaat, 2016, 138).

σ'_{vi} [kPa]	Belastingstap								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<50	0,25	0,5	1	2	4	2	4	8	16
>50	0,25	0,5	1	2	4	2	4	10	

De volgende notitie over de Casagrande methode staat vermeld in de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016, p. 139):

“N.B.: alleen betrouwbare c_v -waarden (met goede fitlijnen aan de zettingscurve) mogen worden gerapporteerd. Dit houdt onder meer in dat bij de Taylor (vt methode) interpretatie alleen gefit mag worden aan een recht deel van de curve en bij de Casagrande methode er sprake moet zijn van een duidelijke S-vorm van de consolidatiecurve. De kruipparameter moet gefit worden aan een duidelijke rechte aan het eind van de $\log(t)$ -consolidatiecurve”.

Resultaten uitwerken volgens abc-isotache en Bjerrum (CUR aanbeveling 101, NEN 5118).

De onderstaande CRS-proef heeft de voorkeur boven de standaard samendrukkingsproef, doordat de CRS-proef nauwkeuriger is en gecombineerd kan worden met de K_0 CRS-proef.

3.6.5 Eisen constant rate of strain proeven

Onderstaand belastingschema staat in de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016, p. 139).

Belastingschema:

1. Start bij een lage verticale spanning van circa 2 kPa. Verzadig het monster bij deze stap maar vermijdt zwel (door tijdige spanningsverhoging).
2. Belast tot $4 \sigma'_{vi}$.
3. Ontlast tot $2 \sigma'_{vi}$.
4. Herbelast naar $6 \sigma'_{vi}$.
5. Voor de bepaling van kruipparameters is een relaxatiefase nodig; dit houdt in dat de hoogte van het monster constant gehouden wordt en de verticale spanningsverandering wordt geregistreerd. Normaliter is 16 uur relaxatie voldoende.
6. Belast tot $10 \sigma'_{vi}$ à $16 \sigma'_{vi}$ (kies bij monsters met lage initiële spanning de hoge waarde)”.

Opgelegde vervormingssnelheid: 0,1 – 0,5 % per uur. Snelheid verlagen als de relatieve waterspanning $R_u > 15\%$. (R_u = wateroverspanning / verticale druk). Aanpassing van de snelheid alleen na afronding van een fase (ASTM D 4186 – 06, tabel 1.1).

3.6.6 Classificatie klei en veen

Classificatie van klei en veen volgens de NEN 5104. Dit wordt in de toekomst NEN-EN-ISO 14688.

Voor veen geldt: verzadigd volumegewicht $< 11 \text{ kN/m}^3$.

Voor Klei geldt: verzadigd volumegewicht $> 13 \text{ kN/m}^3$.

$11 \text{ kN/m}^3 \leq \text{verzadigd volumegewicht} \leq 13 \text{ kN/m}^3$: organisch stof gehalte bepalen en visueel classificeren. Organisch stof gehalte $\geq 30\%$: veen.

Bij klei: indicatieve C_u -waarde bepalen met Calconus en Attenbergse grenzen.

Sterk siltige klei: korrelverdeling opstellen.

Bepalen vloeigrens klei: Valconus met 4-punts methode volgens CEN ISO/TS 17892-12.

Bepaling vloeigrens met toestel van Casagrande volgens de specificaties van de ASTM.

Belastingmethode: proef 14 Standaard RAW Bepalingen 2015.

Beschrijven veen (Rijkswaterstaat, 2016, p. 140):

“De volgende aspecten moeten worden vastgelegd:

- Kleiigheid.
- Volumegewicht en organische stof gehalte.
- Onderscheid tussen veen, detritus en gyttja.
- Verweringsgraad (zwak, matig of sterk).
- Aanwezigheid van riet of vezels”.

Beschrijving van veenmonsters volgens: *Technisch Rapport Geotechnische classificatie van veen (TR 16) van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen*. Erkens (2013) als hulpmiddel.

3.6.7 Eisen rapportage (alles uit Rijkswaterstaat, 2016)

Algemeen

- Bij alle sterkteproeven een foto van doormidden gebroken monster.
- Omschrijving van de visuele indruk van het monster (Rijkswaterstaat, 2016):
 - Diameter van het monster.
 - Verkleuringen.
 - Vervormingen, groeven etc. in het monster.
 - Verstoring van de gelaagdheid.
 - Indien van toepassing extra ‘steekverlies’ ten gevolge van het uitdrukken.

Triaxiaalproef

- Foto van het monster na afschuiven, direct na verwijderen celwand.
- De gemeten schuifsterkte bij 25% axiale rek (Critical state).
- Correctie voor weerstand van het latex membraan.
- Eventueel gebruik van drainage strips bij klei.
- Eventuele gemeten dikte.
- Jaarlijks bepaalde stijfheidsmodulus van de gebruikte latex membranen.

Direct Simple Shearproef

- Monsterhoogte voor aanvang consolidatie.
- Bij constante bovenbelasting (= gedraineerde afschuiving) de variatie in hoogte registreren en rapporteren.
- Monsterhoogte bij overzetten.
- Piekwaarde van de horizontale schuifspanning τ_p bij een effectieve bovenbelasting σ_{vp}' met bijbehorende schuifrek.
- Eindwaarde (40 % rek) van de horizontale schuifspanning τ_e bij een effectieve bovenbelasting σ_{ve}' met bijbehorende schuifrek.
- Membraancorrectie.
- Bijzondere waarnemingen tijdens proef (uitdroging, onregelmatige afschuiving etc.).

Samendrukkingsproef

- Foto van het monster bij inhomogeniteiten of bij verdachte uitkomst proef.
- Zetting na 24 uur.

Beschrijving van veen

- Kleiigheid.
- Volumegewicht en gehalte organische stof.
- Onderscheid maken tussen Veen, Detritus en Gytja.
- Verweringsgraad (zwak, matig of sterk).
- Aanwezigheid van riet of vezels (Rijkswaterstaat, 2016).

3.7 Parameters (alles uit Rijkswaterstaat, 2016)

Voor de analyse van de macrostabiliteit van primaire keringen moeten voor de geotechnische schematisatie in het WBI2017 de volgende parameters gebruikt worden:

1. Volumiek gewicht γ (kN/m³)
2. Effectieve verticale spanning σ'_{vi} (kN/m³)
3. Hoek van inwendige wrijving ϕ' (°)
4. Normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio S (-)
5. Sterktetoename-exponent m (-)
6. Grensspanning σ'_{vy} (kN/m²)

Hieronder worden de bovenstaande parameters toegelicht. Hierin wordt onder andere aangeven wat voor een parameter het is, hoe de parameters bepaald kan worden, op welke manier de parameter in de toets gebruikt moet worden en eventuele punten van aandacht bij gebruik van de parameter.

3.7.1. Volumiek gewicht γ (kN/m³)

Is het gewicht van grond per m³.

Soort parameter in stabiliteitsanalyse

Deterministische waarde in RisKeer.

Voor alle grondlagen verzadigd en onverzadigd volumiek gewicht invoeren in D-Soil Model. RisKeer past zelf onder het freatisch vlak het verzadigd volumiek gewicht toe. Voor klei boven freatische lijn moet de toets zelf het verzadigd volumiek gewicht invoeren (Rijkswaterstaat, 2016).

Bepalen parameter

Bepalen uit ongeroerde monsters. Hiervoor gewicht en volume vaststellen.

Wanneer geen lokale gegevens beschikbaar zijn: regionale proevenverzameling gebruiken, waarin een scenario met karakteristieke bovengrens en een scenario met karakteristieke ondergrens van het volumiek gewicht in de stabiliteitsanalyse wordt onderscheiden.

3.7.2. Effectieve verticale spanning σ'_{vi} (kN/m³)

Is de verticale korrelspanning in de grond.

Soort parameter in stabiliteitsanalyse

Berekende waarde in RisKeer uit de totaalspanningen (grondspanning) en waterspanningen.

Bepalen parameter

Bepalen door de totaalspanning op een specifiek punt te verminderen met de waterspanning op datzelfde punt.

3.7.3. Hoek van inwendige wrijving ϕ' (°)

Is een maat voor wrijving tussen gronddeeltjes (van belang voor de gedraineerde schuifsterkte).

Soort parameter in stabiliteitsanalyse

In RisKeer een stochast met verwachtingswaarde $E(x)$ en standaardafwijking σ_x en lognormale verdeling. Invoer voor gedraineerde stabiliteitsanalyse bij goed doorlatende grondlagen en dijksmateriaal boven het freatisch vlak.

Bij macrostabiliteit moet de critical state hoek van inwendige wrijving gebruikt worden.

Bepalen parameter

Bepalen met gedraineerde (zand) of ongedraineerde (klei) triaxiaalproeven met anisotrope consolidatie op ongestoorde of geprepareerde monsters. Voor een voorbeeld zie de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016, p. 146 e.v.). Bij minder goed doorlatende grondsoorten kan deze parameter bepaald worden met ongedraineerde triaxiaalproeven.

Keuze voor ongestoord of geprepareerde monsters:

- Ongestoord: siltig klei, kleilig silt en klei met zandlaagjes (via conventionele boorsystemen). Zand met silt en kleilaagjes (monsters verkregen via bevriezen).
- Geprepareerd: schoon zand met void ratio gelijkwaardig aan in situ void ratio en spanningsniveau. Voorwaarde: ongecementeerd zand.

Uitwerking triaxiaalproeven: schuifsterkte alleen beschrijven met hoek van inwendige wrijving (niet met cohesie).

Om critical state ϕ'_{cs} te bepalen: gekozen consolidatiespanning > grensspanning monsters of gekozen consolidatiespanning = in situ verticale spanning. Afschuiven tot minimaal 25% axiale rek.

Let op: bij klei met veel silt en zand / löss en keileem moet de ongedraineerde schuifsterkte niet hoger genomen worden dan de gedraineerde schuifsterkte.

Aanbevolen wordt om ongeveer 10 proeven per grondsoort te hebben om een goede verwachtingswaarde en standaardafwijking te kunnen bepalen.

3.7.4. Normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio S (-)

Is een wrijvingsparameter voor het karakteriseren van de ongedraineerde schuifsterkte (SHANSEP-methode) onder normaal geconsolideerde condities (Rijkswaterstaat, 2016). S = Ongedraineerde schuifsterkte / consolidatiespanning bij $OCR = 1$.

Soort parameter in stabiliteitsanalyse

In RisKeer een stochast met $E(x)$ en σ_x .

Bepalen parameter

In de eerste stap worden verstekwaarden gebruikt. Zie voor deze waarden tabel 7.2 van de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016, p. 55). Wanneer dit niet voldoet zal S worden bepaald met laboratoriumonderzoek:

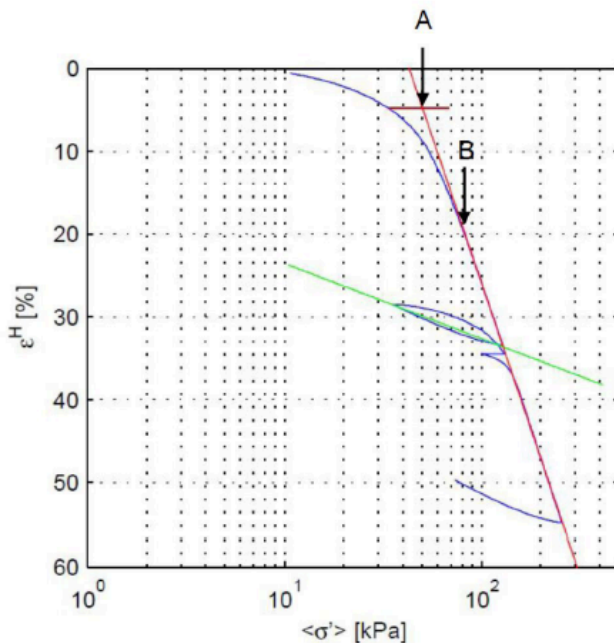
- S voor klei in laboratorium bepalen met ongedraineerde triaxiaalproeven met anisotrope consolidatie op ongestoorde monsters.
- S voor veen in laboratorium bepalen met direct simple shear proeven op ongestoorde monsters.

Voor een voorbeeld zie de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016, p.148 e.v.).

Deze proeven kunnen op normaal geconsolideerde monsters en op overgeconsolideerde monsters. In de schematiseringshandleiding macrostabiliteit wordt de bepaling op normaal geconsolideerde en overgeconsolideerde monsters beschreven:

- Normaal geconsolideerde monsters (Rijkswaterstaat, 2016, p. 53):

“Normaal geconsolideerde monsters worden verkregen door te consolideren bij de spanning waar de gemeten zettingscurve van een samendrukkingsproef of een CRS- proef de raaklijn langs de maagdelijke tak van de zettingscurve het eerst raakt (zie Figuur 3.7, punt B). Op deze monsters worden ongedraineerde triaxiaalproeven (TX) of ongedraineerde direct simple shear (DSS) proeven uitgevoerd. De grote-rekwaarde (ultimate state) van de halve deviatorspanning $t (= s_u)$ uit deze proeven gedeeld door de gekozen consolidatiespanning σ'_{vc} geeft de normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkteratio S'' .



Figuur 3.7. Spanning-rek diagram van een CRS-proef. Rekniveau bij σ'_{vi} is de waarde van de horizontale lijn bij A. Grensspanning bij A en de bovengrens van de grensspanning bij B (Rijkswaterstaat, 2016, p. 53).

- Overgeconsolideerde monsters (Rijkswaterstaat, 2016, p. 54):

“(Overgeconsolideerde monsters worden verkregen door te consolideren bij de op basis van volumegewichten geschatte in situ verticale effectieve spanning σ'_{vi} . Op deze monsters worden ongedraineerde TX- of DSS-proeven uitgevoerd. De grote-rekwaarde (ultimate state) van de halve deviatorspanning $t (= s_u)$ uit deze proeven gedeeld door de consolidatiespanning σ'_{vc} geeft de overgeconsolideerde ongedraineerde schuifsterkteratio $(s_u/\sigma'_{vc})_{oc}$.

Uit samendrukkingsproeven of CRS-proeven op een ander monster (direct erboven of eronder) worden de grensspanning σ'_{vy} en de overconsolidatieratio OCR afgeleid. De regressielijn door de punten van $(s_u/\sigma'_{vc})_{oc}$ tegen de OCR geeft S (en tevens de sterktetoe name-exponent m) (zie Figuur 7.4). Monster(paren) van verschillende dieptes en van naast en onder de dijk (wel binnen één SOS-eenheid!) zorgen voor de benodigde range in OCR waarden.

Voor de halve-deviatorspanning t worden de grote-rekwaarden (ultimate state) uit de eentraps ongedraineerde TX-proeven (klei) en DSS-proeven (veen) genomen.

Voor veen worden voor de bepaling van de ongedraineerde schuifsterkteratio S voor het uitvoeren van stabiliteitsanalyses DSS-proeven uitgevoerd. De grote-rekwaarden (ultimate state) van de ongedraineerde schuifsterkteratio S uit direct simple shear-proeven kunnen tot verwachtingswaarden van de ongedraineerde schuifsterkteratio worden verwerkt als aangegeven in bijlage F.

Door de uitgevoerde proeven te ordenen naar grondsoort, geologische afzetting en eventueel het volumegewicht of organische stof gehalte ontstaan groepen van proeven die bij elkaar horen. Per groep van bij elkaar behorende proeven kunnen de verwachtingswaarde en de standaardafwijking van de ongedraineerde schuifsterkteratio S worden bepaald”.

Voor de interpretatie van de triaxiaalproeven en direct simple shear proeven wordt verwezen naar bijlage F van de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016, p. 145 e.v.).

3.7.5. Sterktetoename-exponent m (-)

Is een maat voor het effect van de belastinggeschiedenis op de ongedraineerde schuifsterkte (Rijkswaterstaat, 2016).

Soort parameter in stabiliteitsanalyse

In RisKeer een stochast met $E(x)$ en σ_x . Wordt gebruikt bij de berekening van de ongedraineerde schuifsterkte (Rijkswaterstaat, 2016).

Bepalen parameter

Kan bepaald worden met triaxiaal- of DSS-proeven bij verschillende waarden van de OCR of met samendrukkings- of CRS-proeven met afleiden van de isotachen parameters a en b (Rijkswaterstaat, 2016). Voor toelichting van deze bepalingen zie paragraaf 7.7 van de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016, p. 56 e.v.).

3.7.6. Grensspanning σ'_{vy} (kN/m²)

Is een maat voor de belastinggeschiedenis van de grond (Rijkswaterstaat, 2016). Als de grensspanning relatief hoog is, dan is de grond sterk samengedrukt en is het poriënvolume relatief klein in relatie tot de aanwezige effectieve verticale spanning.

Soort parameter in stabiliteitsanalyse

In RisKeer een stochast met $E(x)$ en σ_x . Wordt in een dwarsprofiel met x - en z -coördinaten ingevoerd (is niet gekoppeld aan WTI-SOS). De grensspanning moet lokaal vastgesteld worden, door het toepassen van sonderingen met correlaties.

Bepalen parameter

Bepalen door (van grof naar fijn):

1. Gebruik te maken van een default waarde met gebruik van de vergelijking:

$$\sigma'_{vy} = \sigma'_{vi} + \text{POP} \quad (\text{Rijkswaterstaat, 2016, p. 58})$$

Hierin is:

σ'_{vi} in situ effectieve verticale spanning (kN/m²)

POP Pre overburden pressure (kN/m²)

De POP wordt dan uit tabel 7.3 van de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016, p. 58) gehaald. De variatiecoëfficiënt voor de POP is voor

Hollandveen en dijksmateriaal 0,45, voor overige afzettingen 0,30.

2. Via het afleiden van de ongedraineerde schuifsterkte uit sonderingen:
Wanneer s_u uit sonderingen is afgeleid en S en m uit laboratoriumonderzoek of verstekwaarden bepaald is, kan hiermee de grensspanning berekend worden.
 S_u wordt op de volgende manier uit de sondering bepaald:

$$s_u = q_{\text{net}} / N_{\text{kt}} \quad (\text{Rijkswaterstaat, 2016, p. 59})$$

Hierin is:

s_u	Ongedraineerde schuifsterkte (kN/m ²).
q_{net}	Voor waterspanningseffecten en totaalspanning gecorrigeerde sondeerweerstand van de piëzoconus (kN/m ²).
N_{kt}	Empirisch bepaalde conusfactor (-).

" $N_{\text{kt}} = 20$ met variatiecoëfficiënt 0,25 is voor verzadigde grond een veilige gemiddelde waarde voor het afleiden van de ongedraineerde schuifsterkte s_u uit de gecorrigeerde sondeerweerstand q_{net} op basis van een CPTu met meting van de waterspanning u_2 . Voor onverzadigde grond wordt $N_{\text{kt}} = 60$ toegepast. Voor CPT's zonder meting van de waterspanning dient bij verzadigde grond een conusfactor $N_c = 25$ te worden toegepast op de gemeten sondeerweerstand q_c . De gecorrigeerde sondeerweerstand q_{net} en de afleiding van de grensspanning σ'_{vy} uit de sondeerweerstand q_{net} worden verder toegelicht in bijlage H.

Een nauwkeuriger waarde voor de conusfactor N_{kt} voor een SOS-eenheid volgt uit het correleren van lokale gegevens. N_{kt} is dan de lokale verhouding van de ongedraineerde schuifsterkte s_u en de gecorrigeerde sondeerweerstand q_{net} van de piëzoconus (zie bijlage I), beide gemeten aan de betreffende SOS-eenheid" (Rijkswaterstaat, 2016, p. 59).

Uit s_u kan dan de grensspanning worden berekend:

$$\sigma'_{vy} = \sigma'_{vi} \cdot \text{OCR waarbij OCR} = (s_u / (\sigma'_{vi} S))^{1/m} \quad (\text{Rijkswaterstaat, 2016, p. 59})$$

Hierin is:

"OCR	Overconsolidatieratio (-).
s_u	Ongedraineerde schuifsterkte afgeleid uit de sondeerweerstand (kN/m ²).
σ'_{vi}	In situ effectieve verticale spanning (kN/m ²).
S	Normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio (-).
m	Sterkte toename exponent (-).
σ'_{vy}	Grensspanning (kN/m ²).

De bepaling van S en m uit laboratoriumproeven voor de betreffende SOS-eenheid is behandeld in paragraaf 7.6 en 7.7.

De standaardafwijking van de grensspanning σ'_{vy} [kN/m²] bedraagt 0,21 maal de verwachtingswaarde van de grensspanning $\sigma'_{vy, \text{gem}}$. In bijlage K wordt dit verder toegelicht.

Het is van belang de op deze wijze bepaalde waarde van de grensspanning op enkele locaties te verifiëren met direct bepaalde waarden van de grensspanning uit samendrukkingsproeven of constant rate of strain proeven. Door deze controle ontstaat een samenhangende consistente set van parameterwaarden voor de grensspanning σ'_{vy} , ongedraineerde schuifsterkte s_u , normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio S , sterkte toename exponent m en conusfactor N_{kt} (Rijkswaterstaat, 2016, p. 59).

3. Bepalen uit een CRS- of samendrukkingsproef.

Hiervoor moeten boringen met monsternamen uitgevoerd worden, waarna op deze monsters CRS- of samendrukkingsproeven worden uitgevoerd. In bijlage E van de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016) is het benodigde protocol te vinden.

In het uitvoeren van de glijvlakanalyse moet de waarde van de grensspanning in het veld op dezelfde positie zijn genomen, als waar het in het dwarsprofiel wordt aangegeven.

Voor het bepalen van de grensspanning moet zoveel mogelijk lokale informatie worden gebruikt.

Let op:

- De grensspanning moet altijd groter of gelijk zijn aan de effectieve verticale spanning.
- Bij voorkeur geen waarde van de grensspanning nabij het freatisch vlak aangeven.

3.7.7 Verwerken parameters in D-Soil Model en RisKeer

De benodigde waarden van de parameters worden ingevoerd in D-Soil Model, waarna deze gegevens in RisKeer kunnen worden ingelezen. Daarnaast kunnen de ondergrondgegevens vanuit D-Soil Model ingelezen worden in D-Geo Stability. In D-Geo Stability kan de stabiliteit met de nieuwe parameters bepaald worden met de methode “ s_u -calculated with yield stress”.

Voor de semi-probabilistische analyse worden de karakteristieke waarde en rekenwaarde van de parameters bepaald door RisKeer. De materiaalfactoren waarmee RisKeer de rekenwaarden bepaald staan in onderstaande Figuur 3.8 (Rijkswaterstaat, 2016).

Parameter	Materiaalfactor (-)
Ongedraineerde schuifsterkte ratio S (-)	1,0
Sterkte toename exponent m (-)	1,0
Grensspanning σ'_{vy} (kPa)	1,0
Ongedraineerde schuifsterkte s_u (kPa)	1,0
Hoek van inwendige wrijving ϕ (°)	1,0

Figuur 3.8. Materiaalfactoren in RisKeer (Rijkswaterstaat, 2016, p. 19).

Deze materiaalfactoren zijn afgeleid door uit te gaan van de variatiecoëfficiënten uit hoofdstuk 7 van de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016). In de probabilistische analyse worden de verwachtingswaarden en standaardafwijkingen uit D-Soil Model gebruikt in RisKeer. In Tabel 3.3 (Rijkswaterstaat, 2016) zijn de relevante parameters weergegeven waar onzekerheid in rekening moet worden gebracht. Een probabilistische analyse wordt aangeraden wanneer de werkelijke variatiecoëfficiënten hiervan afwijken.

Tabel 3.3. Relevante parameters en de manier waarop onzekerheid over de waarde van deze parameters in een vak in rekening moet worden gebracht (Rijkswaterstaat, 2016, p. 18).

Parameter	Symbol	representatief profiel	Stochast	Scenario
Geometrie (ingemeten dwarsprofiel, voorland en aanliggend maaiveld)		X		
Laagopbouw ondergrond				X
Opbouw dijklichaam				X
(On)verzadigd volumiek gewicht	$\gamma, \gamma_{sat}, \gamma_{unsat}$		X	
Cohesie	c'		X	
Hoek van inwendige wrijving	ϕ'		X	
Normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio	S		X	
Sterktetoename-exponent	m		X	
Grensspanning	σ'_{vp}		X	
Freatische lijn	h_{water}			X
Polderpeil/ slootpeil		X		
Leklengte buitenwaarts en binnenwaarts	λ		X	
Indringingslengte			X	
Buitenwaterstand	h		X	
Waterstandsverlooplijn	$h(t)$		X	

Voor de parameters zijn in Tabel 3.4 (Rijkswaterstaat, 2016) de toe te passen waarden en variatiecoëfficiënten aangegeven voor invoer in D-Soil Model en RisKeer. Ook is aangegeven met welk type waarde in de semi-probabilistische gedetailleerde toets wordt gerekend. Voor berekeningen buiten RisKeer dient de gebruiker zelf de rekenwaarde te bepalen gebruikmakend van de materiaalfactoren in deze schematiseringshandleiding.

Tabel 3.4. Parameters met de toe te passen waarden en het type waarde in een semi-probabilistische toets (Rijkswaterstaat, 2016, p. 19).

Parameter	Toe te passen waarden*	Gemiddelde of boven/ondergrens waarde voor semi probabilistische toets
(On)verzadigd volumiek gewicht <i>$\gamma, \gamma_{sat}, \gamma_{unsat}$</i>	Waarde moet worden bepaald op basis van de lokale situatie, zie par. 7.2. Wordt toegepast als deterministische waarde (of desgewenst als scenario).	Gemiddelde waarde
Cohesie c'	Speelt in huidige beoordelingsronde (WBI 2017) nog geen rol)	
Hoek van inwendige wrijving ϕ'	Zie par 7.5 in SH Macrostabiliteit.	5% ondergrens**
Normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio S	Zie par 7.6 in SH Macrostabiliteit.	5% ondergrens**
Sterktetoename-exponent m	Verwachtingswaarde 0,9 met variatiecoëfficiënt 0,03	5% ondergrens**
Grensspanning σ'_{vy}	Wordt berekend en is afhankelijk van de lokale effectieve spanning en POP. Startwaarden POP zie par 7.8 in SH macrostabiliteit. Variatiecoëfficiënt POP en grensspanning voor Hollandveen en dijksmateriaal 0,45 en voor overige grondsoorten 0,30.	5% ondergrens**
Freatische lijn	Bepaling met Waternet Creator op basis van dijktype. Wordt toegepast als deterministische waarde of indien relevant als scenario.	Gemiddelde waarde
Polderpeil	Deze waarde moet worden bepaald op basis van de lokale situatie, zie par. 7.11. Wordt toegepast als deterministische waarde of indien relevant als scenario.	Gemiddelde waarde
Leklengte buitenwaarts en binnenwaarts λ	De Waternet Creator kent vier leklengtes die afhankelijk van de situatie moeten worden toegepast: voor een watervoerende zandlaag binnen- of buitenwaarts, of een tussenzandlaag binnen- of buitenwaarts. Zie par. 7.12	Gemiddelde waarde
Indringingslengte	Bepaling conform par 7.13 in SH macrostabiliteit.	Gemiddelde waarde

* Met deze waarden kan verantwoord de gedetailleerde toets worden uitgevoerd. Wanneer de beheerder de beschikking heeft over aantoonbaar betere waarden kan hij deze gebruiken.

** Voor berekeningen buiten Ringtoets dient deze waarde nog omgerekend te worden naar een rekenwaarde met behulp van de materiaalfactoren in de onderstaande tabellen in de schematiseringshandleiding.

3.8 Afleiden ongedraineerde schuifsterkte uit conusfactor

Voor afleiden van de ongedraineerde schuifsterkte uit de sondeerweerstand wordt de conusfactor N_{kt} gebruikt.

3.8.1 Bepalen conusfactor N_{kt}

$$N_{kt} = q_{net} / s_u \quad (\text{Rijkswaterstaat, 2016, p. 155})$$

Hierin is:

q_{net} Voor waterspanningseffecten en totaalspanning gecorrigeerde sondeerweerstand van de piëzoconus" (Rijkswaterstaat, 2016, p. 59).

s_u Ongedraineerde schuifsterkte uit triaxiaal- of direct simple shear proeven geconsolideerd bij de in situ verticale spanning.

De N_{kt} waarde moet voor elke grondlaag (WTI-SOS eenheid) bepaald worden. Hierin moet ook onderscheid worden gemaakt in de N_{kt} tussen een eventuele verzadigde en onverzadigde zone in de laag. Bij het opstellen van de correlatie moet voor iedere grondlaag één proeftype uitgevoerd worden.

Per grondsoort wordt voor alle locaties de complete dataset gebruikt om via lineaire regressie de waarde van N_{kt} te bepalen. De afleiding van N_{kt} uit veld- en laboratoriumonderzoek moet met een spreadsheet worden uitgevoerd. Zie voor beschrijving en verdere uitleg verdere uitleg bijlage I van de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016). In het Protocol sonderen voor S_u -bepaling (Stoevelaar, 2015) worden de eisen voor een klasse 1+ sondering voor de bepaling van de ongedraineerde schuifsterkte beschreven.

De afgeleide N_{kt} kan voor andere sonderingen worden gebruikt om de ongedraineerde schuifsterkte af te leiden. Hierbij moeten de geologische afzettingen wel overeenkomen.

3.9 Stappen voor sonderen van grof naar fijn voor bepalen van de ongedraineerde schuifsterkte en de grensspanning:

3.9.1 Gebruik van standaardwaarden voor N_{kt} met een variatiecoëfficiënt.

1 Gemeten sondeerweerstand corrigeren voor de gemeten waterspanning u_2 en de totaalspanning σ_{vi}

Correctie gemeten sondeerweerstand q_{net} :

$$q_{net} = q_t - \sigma_{vi} \text{ en } q_t = q_c + u_2 (1 - a).$$

Hierin is:

- q_{net} Voor de waterspanning en totaalspanning gecorrigeerde sondeerweerstand van de piëzoconus (kN/m^2).
- q_t Voor de waterspanning gecorrigeerde sondeerweerstand van de piëzoconus (kN/m^2).
- q_c Gemeten conusweerstand (kN/m^2).
- u_2 Met piëzoconus gemeten waterspanning (kN/m^2).
- a Relatieve oppervlakte van de spleet bij het waterspanningsfilter (-).
- σ_{vi} In situ verticale totaalspanning (kN/m^2).

2 Verwachtingswaarde van de ongedraineerde schuifsterkte s_u berekenen uit de gecorrigeerde sondeerweerstand q_{net}

Berekenen verwachtingswaarde s_u :

$$s_u = q_{net} / N_{kt}$$

Hierin is:

- s_u Ongedraineerde schuifsterkte (kN/m^2).
- q_{net} Voor de waterspanning en totaalspanning gecorrigeerde sondeerweerstand van de piëzoconus (kN/m^2).
- N_{kt} Empirisch bepaalde conusfactor (-).
 - Verzadigde grond: $N_{kt} = 20$
 - Onverzadigde grond: $N_{kt} = 60$

CPT zonder meting van de waterspanning u_2 : conusfactor $N_c = 25$ gebruiken op de gemeten sondeerweerstand q_c . De stationaire waterspanning u_0 gebruiken voor de correctie.

Bij slecht doorlatend dijksmateriaal drie zones (Rijkswaterstaat, 2016, p. 158):

- “Boven het freatisch vlak bij hoge buitenwaterstand: de grond is onder normale dagelijkse omstandigheden onverzadigd en ook bij een hoge buitenwaterstand is de grond onverzadigd. In deze zone wordt de gedraineerde schuifsterkte toegepast met een hoek van inwendige wrijving.
- Boven het freatisch vlak bij normale dagelijkse waterstand en beneden het freatisch vlak bij hoge buitenwaterstand: de grond is onder normale dagelijkse omstandigheden onverzadigd, maar bij een hoge buitenwaterstand is de grond verzadigd. In deze zone wordt de ongedraineerde schuifsterkte toegepast, waarbij de ongedraineerde schuifsterkte wordt afgeleid uit de sondeerweerstand op basis van $N_{kt} = 60$.
- Beneden het freatisch vlak bij normale dagelijkse waterstand: de grond is onder normale dagelijkse omstandigheden en bij een hoge buitenwaterstand verzadigd. In deze zone wordt de ongedraineerde schuifsterkte toegepast, waarbij de ongedraineerde schuifsterkte wordt afgeleid uit de sondeerweerstand op basis van $N_{kt} = 20$.

Bij het toepassen van de hogere conusfactor op de schuifsterkte van onverzadigde grond moet op het volgende worden gelet:

- De rekenwaarde van de ongedraineerde schuifsterkte dient kleiner te zijn of gelijk aan de effectieve verticale spanning ($s_{u,d} \leq \sigma'_{vi}$).
- De ongedraineerde schuifsterkte in de onverzadigde grond moet niet lager zijn dan de ongedraineerde schuifsterkte in de onderliggende verzadigde grond (in het geval dit dezelfde grondsoort is)”.

3 Verwachtingswaarde van de grensspanning berekenen.

Bepalen verwachtingswaarde grensspanning (Rijkswaterstaat, 2016, p. 59):

$$\sigma'_{vy} = \sigma'_{vi} \text{ OCR}$$

$$\text{OCR} = (s_u / (\sigma'_{vi} S))^{1/m}$$

Hierin is:

OCR	Overconsolidatieratio (-).
s_u	Ongedraineerde schuifsterkte afgeleid uit de sondeerweerstand (kN/m^2).
σ'_{vi}	In situ effectieve verticale spanning (kN/m^2).
S	Normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio (-).
m	Sterkte toename exponent (-).
σ'_{vy}	Grensspanning (kN/m^2)”.

Van S en m worden in deze stap de verwachtingswaarden gebruikt.

4 Standaardafwijking en karakteristieke waarde van de grensspanning uitrekenen.

Onderstaande is van toepassing wanneer berekeningen buiten WBI software wordt uitgevoerd. Berekenen karakteristieke waarde grensspanning (logaritmisch verdeeld):

$$X_{\text{gem, kar}} = \exp [\mu_M - t_{n-1} \cdot \sigma_M]$$

$$\sigma_M^2 = \ln \{1 + (\sigma_X / \mu_X)^2\}$$

$$\mu_M = \ln \mu_X - \frac{1}{2} \times \sigma_M^2$$

Hierin is:

$X_{\text{gem, kar}}$ karakteristieke waarde van het gemiddelde van een steekproef.

μ_M Gemiddelde waarde van de logaritme van een steekproef.

t_{n-1} Student t-factor, behorende bij de 5 % karakteristieke ondergrenswaarde en aantal vrijheidsgraden n-1.

σ_M Standaardafwijking van de logaritme van de steekproef.

σ_X Standaardafwijking van de steekproef.

μ_X Gemiddelde waarde van een steekproef" (Rijkswaterstaat, 2016, p. 159).

Invoer voor RisKeer zijn de verwachtingswaarde, een standaardafwijking (variatiecoëfficiënt) en een karakteristieke waarde van de grensspanning per grondlaag.

Bepalen karakteristieke waarde ongedraineerde schuifsterkte $s_{u, \text{kar}}$:

$$s_{u, \text{kar}} = 0,64 \times \text{verwachtingswaarde van de ongedraineerde schuifsterkte } s_u.$$

Standaard variatiecoëfficiënten:

$$V_{c, s_u} = 0,25$$

$$V_{c, N_{kt}} = 0,25$$

$$V_{c, \sigma'_{vy}} = 0,21$$

Indien grondlagen niet in WTI-SOS zijn opgenomen, kunnen met behulp van Bijlage I van de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016, p. 163 e.v.) de onzekerheden voor de correlaties (variatiecoëfficiënt etc.) berekend worden.

3.9.2 N_{kt} optimaliseren door correlatie tussen sondeerweerstand en laboratorium testen.

Uitgevoerd als bij stap 1, maar hierin wordt de N_{kt} geoptimaliseerd op basis van de correlatie tussen de sondeerweerstand en de laboratorium testen. Waarna de grensspanning met deze correlaties wordt afgeleid. Voor deze stap moet voldoende laboratoriumonderzoek beschikbaar zijn om nauwkeurige correlaties te kunnen leggen. Het gaat hier om 50 triaxiaal- of direct simple shear proeven per grondlaag (WTI-SOS-eenheid) uit ongeveer 10 boringen. Daarnaast nog minimaal 25 CRS- of samendrukkingsproeven. Voor de eisen aan sonderingen zie paragraaf 3.5.1 van dit document en bijlage G van de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016).

In de schematiseringshandleiding macrostabiliteit staan de onderstaande aandachtspunten voor het bepalen van de N_{kt} (Rijkswaterstaat, 2016 , p. 160 - 161).

- “Zorgvuldige registratie van de diepte van monsterbussen en individuele monsters is nodig om een goede correlatie met de sondeerweerstand te kunnen maken. In de praktijk gaat dit gemakkelijk mis. Het gaat hier nadrukkelijk ook om de diepte van een grondmonster binnen een monsterbus.
- Monsters voor laboratoriumproeven moeten niet te dicht bij grondlaagscheidingen worden gekozen; ten minste 10 cm en indien mogelijk 20 cm afstand houden, omdat een sondeerconus een grondlaagscheiding al voelt voordat de conus bij de grondlaagscheiding is aangekomen. Dit kan een hoge variatiecoëfficiënt bij N_{kt} veroorzaken.
- Bij een hoge berekende variatiecoëfficiënt van N_{kt} overwegen een tweede CPT op de ijklocaties uit te voeren. Door de afstand tussen boringen en CPT's ontstaat ruis in N_{kt} als gevolg van heterogeniteit van de grond. Twee CPT's naast een boring geven een goed beeld van deze mogelijke ruis. Eventueel overwegen de tweede CPT met een hogere sondeerklasse uit te voeren.
- Bij een hoge variatiecoëfficiënt van N_{kt} kan ook worden overwogen extra laboratorium testen op de ijklocaties te doen. Grond is heterogeen. N_{kt} kan bij onvoldoende laboratorium testen worden gedomineerd door toevalligheden.
- Mogelijke oorzaken van ruis zijn sterkere en zwakkere zones in grondlagen en zones met iets meer of minder lokale drainage rondom de sondeerconus. Een extra CPT of extra laboratorium testen op de ijklocaties helpen om meer inzicht te krijgen in de spreiding die hierdoor ontstaat.
- Wanneer met ongedraineerde schuifsterkte ratio S , sterkte toename exponent m en grensspanning σ'_{vy} wordt gewerkt, is het verstandig om te controleren op consistente samenhang van de parameterwaarden voor de grensspanning σ'_{vy} , ongedraineerde schuifsterkte s_u , normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio S , sterkte toename exponent m en conusfactor N_{kt} ”.

3.9.3 Door de waterspanning te meten, onderscheid maken tussen goed doorlatende en matig tot slecht doorlatende grondlagen.

Sondeerresultaten met meting van de waterspanning (CPTu) kunnen gebruikt worden om onderscheid te maken tussen goed doorlatende en matig tot slecht doorlatende grondlagen.

Wanneer aan een of meerdere van de onderstaande voorwaarden wordt voldaan kan een grondlaag als goed doorlatend worden beoordeeld.

- $R_f < 1,5\%$
- $B_q < 0,05$ à $0,10$
- $((u_2 - u_0) / \sigma'_{vi}) < 0,5$ à $1,0$
- $I_c < 2,4$

Deze criteria zijn alleen van toepassing op verzadigde grond” (Rijkswaterstaat, 2016, p. 161). Bij voorkeur moet de grondlaag aan meerdere van de bovenstaande criteria voldoen om als goed doorlatend te worden beoordeeld. Bij twijfel moet met ongedraineerd gedrag gerekend worden (Rijkswaterstaat, 2016).

R_f is het wrijvingsgetal volgens Begemann (1965):

$$R_f = f_s / q_c \times 100\%$$

B_q is de genormaliseerde waterspanning:

$$B_q = (u_2 - u_0) / (q_t - \sigma'_{vi})$$

De berekening $((u_2 - u_0) / \sigma'_{vi})$ is een alternatieve manier om tijdens het sonderen de gemeten waterspanning te normaliseren (Schneider, 2008).

I_c is een index voor classificatie van de grondsoort. " I_c wordt volgens Been en Jefferies (1992) als volgt berekend:

$$I_c = ((3 - \log (Q_t (1 - B_q) + 1))^2 + (1,5 + 1,3 \cdot \log (F_r))^2)^{1/2}$$

In deze definities zijn de volgende parameters van belang (Rijkswaterstaat, 2016, p. 161):

a	Relatieve oppervlakte van de spleet bij het waterspanningsfilter [-] (Zie NEN-EN-ISO22476-1)
B_q	Genormaliseerde dimensieloze wateroverspanning [-].
F_r	Genormaliseerde wrijvingsratio $F_r = [f_s / (q_t - \sigma_{vi})] \times 100\%$ (%).
f_s	Gemeten wrijvingsweerstand [MPa].
q_c	Gemeten conusweerstand [MPa].
q_t	Voor waterspanningseffecten gecorrigeerde sondeerweerstand van de piëzoconus $q_t = q_c + u_2 (1 - a)$ [MPa].
Q_t	Genormaliseerde dimensieloze sondeerweerstand $Q_t = (q_t - \sigma_{vi}) / \sigma'_{vi}$ [-].
R_f	Wrijvingsgetal volgens Begemann $R_f = f_s / q_c \times 100\%$ [%].
u_0	In situ stationaire waterspanning [MPa].
u_2	Met de piëzoconus gemeten waterspanning (waterspanningsopnemer achter de conuspunt) [MPa].
σ_{vi}	In situ verticale totaalspanning [MPa].
σ'_{vi}	In situ verticale effectieve spanning [MPa]".

3.10 Bronnenlijst

Boeken

Annual book of ASTM Standards (2008). 4186 – 06 Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Controlled-Strain Loading. ASTM D 4186 – 06. American Society for the Testing of Materials. Vol. 04.08.

Figuren

Figuur 3.1. Grafiek van de pieksterkte en critical state sterkte van grond met verschillende relatieve dichtheid. Bewerkt overgenomen van Meij, z.d. [PowerPointpresentatie].

Figuur 3.2. Gedraineerd en ongedraineerd spanningspad. Bewerkt overgenomen van Meij, z.d. [PowerPointpresentatie].

Figuur 3.3. Voorbeeld van een glijvlak volgens Spencer – Van der Meij. Bewerkt overgenomen uit “Schematiseringshandleiding macrostabiliteit” van Rijkswaterstaat, 2016 (p. 98). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 3.4. Vigerende Nederlandse normen en aanbevelingen en internationale documenten. Bewerkt overgenomen uit “Schematiseringshandleiding macrostabiliteit” van Rijkswaterstaat, 2016 (p. 128). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 3.5. Verband tussen de OCR en de K₀-factor. Bewerkt overgenomen uit “Schematiseringshandleiding macrostabiliteit” van Rijkswaterstaat, 2016 (p. 132). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 3.6. Spanning-rek diagram van een CRS-proef. Grensspanning bij A en de bovengrens van de grensspanning bij B. Bewerkt overgenomen uit “Schematiseringshandleiding macrostabiliteit” van Rijkswaterstaat, 2016 (p. 134). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 3.7. Spanning-rek diagram van een CRS-proef. Rekniveau bij σ'_{vi} is de waarde van de horizontale lijn bij A. Grensspanning bij A en de bovengrens van de grensspanning bij B. Bewerkt overgenomen uit “Schematiseringshandleiding macrostabiliteit” van Rijkswaterstaat, 2016 (p. 53). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 3.8. Materiaalfactoren in RisKeer. Bewerkt overgenomen uit “Schematiseringshandleiding macrostabiliteit” van Rijkswaterstaat, 2016 (p.19). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Internet

Encyclo.nl (z.d.). *Overconsolidatie*. Geraadpleegd op 10 mei 2017, van <http://www.encyclo.nl/begrip/overconsolidatie>.

Wiertsema & Partners (z.d.-a). *Direct Simple Shear (DSS) proef*. Geraadpleegd op 28 mei 2017, van <http://www.wiertsema.nl/?module=webshop&cid=3&sid=11&pid=90&lang=nl>

Wiertsema & Partners (z.d.-b). *Triaxiaalproef*. Geraadpleegd op 28 mei 2017, van <http://www.wiertsema.nl/?module=webshop&cid=3&sid=11&pid=51&lang=nl>

Presentaties

Meij, van der R. (z.d.). *Ongedraineerd rekenen in D-Geo Stability*. [PowerPointpresentatie]. Delft: Deltares.

Rapporten

Been, K., and Jefferies, M.G. 1992. *Towards systematic CPT interpretation*. In Proceedings of the Wroth Symposium, Oxford, U.K. p. 44, 55.

Begemann, H.K. (1965). *The Friction Jacket Cone as an Aide in Determining the Soil Profile*. Proc. 6th. Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Montreal. Vol. 1, p. 17-20.

CUR-aanbeveling 101 (2005). *Uitvoering en interpretatie samendrukkingsproef*. Geraadpleegd op 2 juni 2017, van <http://www.sbrcur.net/producten/curaanbevelingen/aanbeveling-101>

ENW (2012). *Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken*. Geraadpleegd op 29 mei 2017, van <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:bd8f4337-6519-474d-abb6-236c8574f19f?collection=research>

Greeuw, G.; Adel, H. den; Schapers, A.L.; Haan, E.J. den (2001). *Reduction of Axial Resistance due to membrane and side drains in the triaxial test*. In: J.L. Hanson and R.J. Termaat (eds), Proceedings Soft Ground Technology Conference, Noordwijkerhout 2000, ASCE.

Rijkswaterstaat (2016). *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit, WBI2017*. Geraadpleegd op 8 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Rijkswaterstaat (2017). *Handreiking ontwerpen met overstromingskansen (OI2014v4)*. Geraadpleegd op 29 mei 2017, van <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/ontwerpen-beheer/>

Schneider, J.A., Randolph, M.F., Mayne, P.W. and Ramsey, N.R. (2008). *Analysis of factors influencing soil classification using normalized piezocone tip resistance and pore pressure*.

Stoevelaar, R., Van Duinen, A. (2015). *Protocol sonderen voor S_u -bepaling*. Geraadpleegd op 2 juni 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

TAW (2001). *Technisch rapport waterkerende grondconstructies*. Geraadpleegd op 16 mei 2017, van <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:e9533009-c1e1-4f06-bd19-d79538822fbc?collection=research>

Van Duinen, A. (2014). *Handreiking voor het bepalen van schuifsterkteparameters*. Geraadpleegd op 8 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/vragen/macrostabieliteit/macrostabieliteit/welke-situatie/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/vragen/macrostabieliteit/macrostabieliteit/welke-situatie/)

Van Duinen, T.A. et al (2008). *Grensverleggend onderzoek macrostabieliteit bij opdrijven - Fase 2.C. Rapportnummer 419230-0040 v02*.

Zwanenburg, C. (2014). *Dijken op Veen II - DoV werkwijze voor bepaling Macrostabieliteit Markermeerdijk*. Deltares rapport 1208254-032-GEO-0001, Versie 2, 13 oktober 2014, definitief concept.

Zwanenburg, C. et al (2013). *Technisch rapport macrostabieliteit*. Geraadpleegd op 19 maart 2017, van <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Ae2653e5d-f068-46e7-b2c7-b9e14a003782>

Tabellen

Tabel 3.1. CSSM modelfactoren voor macrostabieliteit. Bewerkt overgenomen uit “Schematiseringshandleiding macrostabieliteit” van Rijkswaterstaat, 2016 (p. 20). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Tabel 3.2. Spanningsniveau per belastingstap. Bewerkt overgenomen uit “Schematiseringshandleiding macrostabieliteit” van Rijkswaterstaat, 2016 (p. 138). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Tabel 3.3. Relevante parameters en de manier waarop onzekerheid over de waarde van deze parameters in een vak in rekening moet worden gebracht. Bewerkt overgenomen uit “Schematiseringshandleiding macrostabieliteit” van Rijkswaterstaat, 2016 (p. 18). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Tabel 3.4. Parameters met de toe te passen waarden en het type waarde in een semi-probabilistische toets. Bewerkt overgenomen uit “Schematiseringshandleiding macrostabieliteit” van Rijkswaterstaat, 2016 (p. 19). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Bijlage 4: Stochastische Ondergrond Schematisatie

In deze bijlage wordt ingegaan op de schematisatie van de ondergrond van een dijklichaam. In het WBI2017 moet gebruik worden gemaakt van een Stochastische Ondergrond Schematisatie (WTI-SOS). Eerst wordt beschreven wat WTI-SOS is, daarna wordt ingegaan op de praktische uitvoering in het algemeen door de te volgen stappen te bespreken. Tenslotte wordt in detail de schematisatie van de ondergrond voor specifiek macrostabiliteit toegelicht. Voor een goede schematisatie in de praktijk zal de 'Handleiding lokaal schematiseren met WTI-SOS' (Kruse, 2015) als leidraad moeten worden gebruikt.

Wat is Stochastische Ondergrond Schematisatie (WTI-SOS)

Voor de introductie van het WBI2017 werd een dijkvak deterministisch getoetst met een bepaald maatgevend scenario voor de grondopbouw. Aan de hand van beschikbare sonderingen en boringen werd het maatgevend scenario bepaald. De afstand tussen de sonderingen en boringen was vaak te groot om deterministisch mee te kunnen toetsen. Daarnaast werd hiermee geen rekening gehouden met variatie in de ondergrond. De kans op falen van een waterkering door macrostabiliteit wordt voor een groot deel bepaald door de ondergrond van de kering. In de presentatie "WTI ondergrondschematisatie" (Hijma, z.d.) wordt vermeld dat het effect van lokale variatie in de ondergrond equivalent is aan meer dan enige decimeters MHW in faalkans. In het WBI2017 moeten keringen probabilistisch getoetst kunnen worden voor alle relevante faalmechanismen.

Een probabilistische toets houdt rekening met de onzekerheid over de variatie van de ondergrond door de spreiding van de parameters in rekening te brengen. De spreiding wordt gerealiseerd door gebruik te maken van een gemiddelde waarde per parameter met daarbij een standaardafwijking. Voor dit probabilistische toetsen van dijken is een globale Stochastische Ondergrond Schematisatie (WTI-SOS) ontwikkeld voor de binnentoe van dijken. Hierin wordt variatie in de ondergrond meegenomen in scenario's met kans van voorkomen per scenario: de ondergrondscenario's. Deze kans kan soms op basis van onderzoek bepaald worden, maar meestal is dit gebaseerd op een inschatting. De ondergrondscenario's van WTI-SOS worden in D-Soil Model weergegeven. Hierin worden grondsoorten met een bepaalde code weergegeven: de WTI-SOS eenheden. In bijlage 1 Hijma, 2015) zijn de WTI-SOS eenheden weergegeven met toelichting op het systeem waarop de eenheden zijn gebaseerd. WTI-SOS is toepassingsonafhankelijk, maar kan na lokale specificatie gebruikt worden voor het toetsen van de verschillende faalmechanismen (Hijma, 2015). Om lokale schematisaties te genereren kunnen de segmenten in D-Soil Model worden bewerkt; segmenten kunnen worden opgeknipt, scenario's kunnen worden verwijderd of aangepast en scenariokansen kunnen worden aangepast (Drost, 2016).

Voor het realiseren van WTI-SOS zijn onder andere de DINO-database met boringen en sonderingen en het Boorarchief van de Universiteit Utrecht gebruikt (Hijma, z.d.). Daarnaast wordt voor de grondwatermodellering de iMOD software van Deltares gebruikt. Met iMOD worden de segmentgrenzen in een kering bepaald. Per segment worden de ondergrondscenario's met kans van aantreffen bepaald. Elk segment kan één tot zestien ondergrondscenario's bevatten (Drost, 2016). De segmenten zijn gemiddeld 3 km lang met een variatie van enkele honderden meters tot 15 km (Drost, 2016). De functie van WTI-SOS hiervoor is het leveren van informatie over de opbouw van de ondergrond en het identificeren van relevante grondlagen. De opbouw van het dijklichaam zelf wordt niet in WTI-SOS geschematiseerd, dit wordt gedaan in D-Geo Stability. WTI-SOS is daarnaast de basis voor toewijzing van waarden voor de grondparameters (Kruse, 2015). Met WTI-SOS wordt voorkomen dat voor een bepaald faalmechanisme relevante verschijnselen over het hoofd worden gezien (Rijkswaterstaat, 2016).

Samengevat levert WTI-SOS (Hijma, z.d.):

- Een globale stochastische schematisatie per dijksegment gebaseerd op globale informatie, welke in D-Soil Model te gebruiken is.
- Beschrijvingen van alle gebruikte grondeenheden (WTI-SOS eenheden). Hierdoor kunnen ze in sonderingen en boringen herkend worden, zodat parameterwaarden toegewezen kunnen worden.
- Een handleiding om voor elk faalmechanisme een lokale ondergrond schematisatie te realiseren.

Voor ieder scenario is voor de laagscheidingen een representatieve diepte gegeven met daarbij de minimale en maximale waarden. Deze representatieve (meest voorkomende) diepte hoeft niet in het midden van de minimale en de maximale waarde te liggen (Drost, 2016). In Figuur 4.1 (Hijma, 2015) zijn voor een segment de scenario's weergegeven, waarin de weergave van de minimale en maximale waarde van de representatieve diepte is te zien.



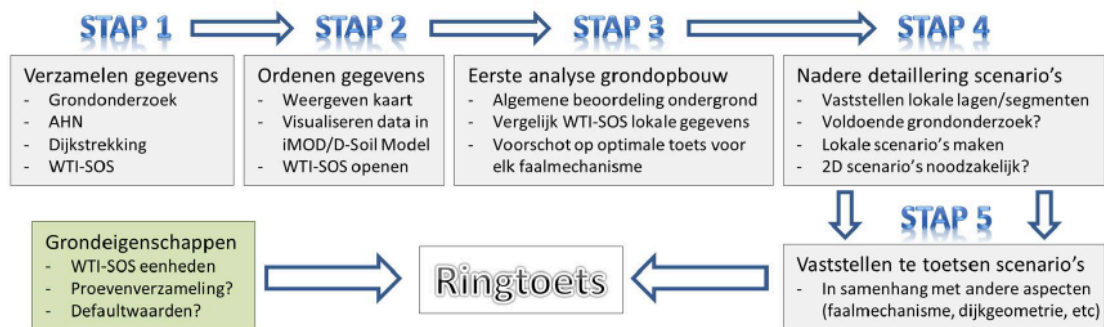
Figuur 4.1. WTI-SOS segment met scenario's met bijbehorende kansen(p) van voorkomen (Hijma, 2015, p.26 figuur 4.6).

Hoe wordt vanuit WTI-SOS de schematisatie uitgevoerd?

Globaal zijn vijf stappen benodigd om tot schematisatie van de grondopbouw te komen. In het rapport "WTI2017: Handleiding lokaal schematiseren met WTI-SOS" (Kruse, 2015, p. 11-12) van Deltares staan de onderstaande stappen beschreven:

- "Stap 1: Verzamelen gegevens.
- Stap 2: Ordenen gegevens.
- Stap 3: Eerste analyse van de grondopbouw met WTI-SOS.
- Stap 4: Nadere detaillering van de WTI-SOS scenario's.
- Stap 5: Vaststellen te toetsen scenario's".

De stappen 1 en 2 worden hieronder kort toegelicht. De stappen 3 tot en met 5 worden daarna uitgewerkt. In Figuur 4.2 (Kruse, 2015) is een overzicht weergegeven van de stappen.



Figuur 4.2. Overzicht van de te nemen stappen voor het lokaal schematiseren van de ondergrond. N.b. Naam Ringtoets is veranderd in RisKeer (Kruse, 2015- p. 13, figuur 3.1)

Stap 1: Verzamelen gegevens.

Voor de schematisering van de ondergrond moet eerst globaal een beeld van de opbouw van de ondergrond en de geohydrologie in de omgeving van de dijk vastgelegd worden (Rijkswaterstaat, 2016). Een globaal beeld van de omgeving is van belang om relevante verschijnselen voor een specifiek faalmechanisme niet te missen.

De volgende gegevens moeten worden verzameld (Kruse, 2015):

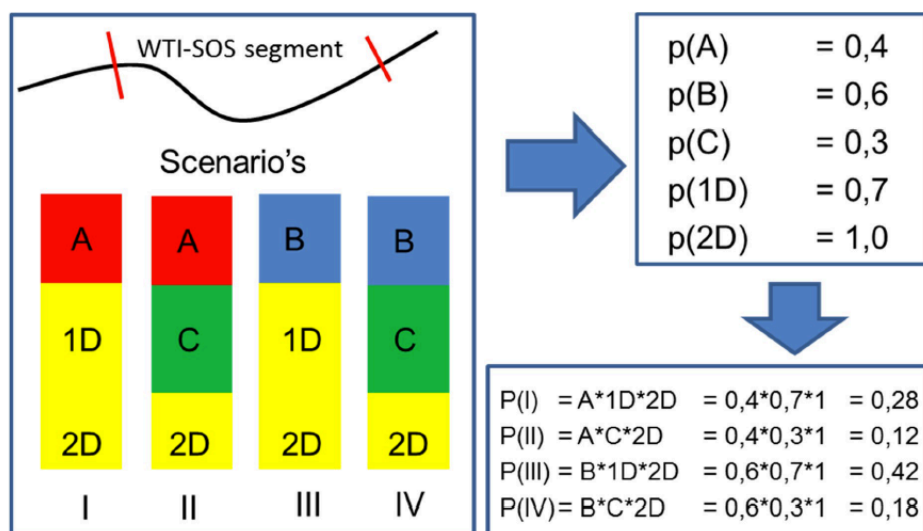
- Gegevens over de lengte van het dijktraject.
- De Algemene Hoogtekaart Nederland (AHN).
- Eventueel andere LIDAR (Laser Imaging Detection And Ranging) gegevens.
- Grondonderzoek.
- WTI-SOS
- Eventueel nog geologische kaarten / GeoTop gegevens.

In Hijma (2015) staat een overzicht van de gebruikte data.

Stap 2: Ordenen gegevens

In het rapport “WTI2017: Handleiding lokaal schematiseren met WTI-SOS” (Kruse, 2015, p. 11) van Deltares staan onderstaande mogelijke stappen beschreven:

- “1. Weergeven van het kaartaanzicht van de te onderzoeken dijkstrekking (in GIS of op papier), bij voorkeur in relatie tot de omgeving (via Google Earth of AHN).
2. Weergeven boor- en sondeerstaten van de strekking op een lengteprofiel (beeldscherm (D-Soil Model, iMOD) of papier).
3. Eventueel weergeven van geologische kaarten, boringen en dergelijke informatie in GIS en van diepteprofielen, op papier of digitaal”.



Figuur 4.3. Kansenbepaling van scenario's in een segment (Hijma, 2015, p. 27)

Stap 3: Analyse van de grondopbouw met WTI-SOS.

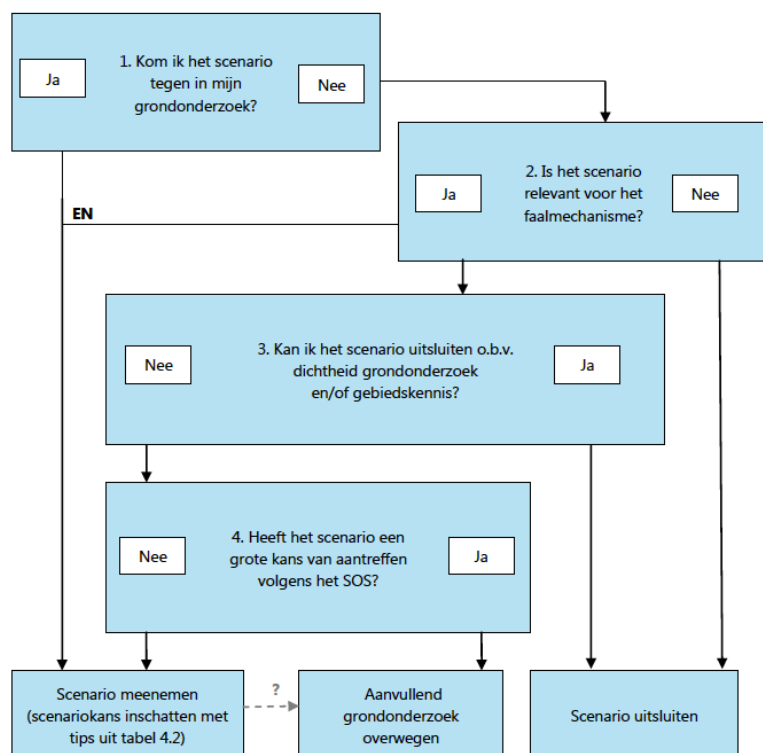
Deze analyse is voor een algemene beoordeling van de eigenschappen van de ondergrond. In het rapport "WTI2017: Handleiding lokaal schematiseren met WTI-SOS" (Kruse, 2015, p. 14-16) van Deltares staan onderstaande te volgen stappen beschreven:

1. Vaststellen van de ligging van de te onderzoeken strekking t.o.v. WTI-SOS segmenten.
2. Vaststellen van de WTI-SOS scenario's en van de WTI-SOS eenheden.
3. Vaststellen hoe de WTI-SOS eenheden eruit zien in de ondergrondgegevens.
4. Vaststellen van de hoogte- en diepteligging van de WTI-SOS eenheden voor de locatie.
5. Vaststellen of er WTI-SOS scenario's zijn die zodanig zettingsgevoelig zijn dat er 2D dwarsprofielen voor gemaakt moeten worden.
6. Vaststellen of er een systematisch verschil is tussen binnen- en buitendijkse maaiveldhoogten.
7. Vaststellen en aangeven waar een systematisch verschil in maaiveldligging relevant is in verband met de aard van de grondopbouw.
8. Vaststellen van de noodzaak van een 2D profiel in verband met relevante verschillen in binnen- en buitendijkse opbouw.
9. Eventueel een eerste kwantitatieve analyse van de effecten van de ondergrondopbouw op de dijkveiligheid.
10. Vastleggen van de bevindingen".

De som van de kansen op voorkomen van alle mogelijke scenario's per dwarsprofiel moet 1,0 zijn. In Figuur 4.3 (Hijma, 2015) is de kansenbepaling van scenario's in een segment geïllustreerd.

Stap 4: Detaillering van de WTI-SOS scenario's.

Voor de geotechnische analyses moet de grondopbouw gedetailleerd worden met behulp van lokaal onderzoek. Dit kan onder andere door het invoeren van parameterwaarden uit laboratoriumonderzoek en aanpassing van de diepte en uitgestrektheid van de lagen (Rijkswaterstaat, 2016). Daarnaast kunnen scenario's worden uitgesloten omdat ze niet worden aangetroffen of voor een bepaald faalmechanisme niet relevant zijn (Rijkswaterstaat, 2016). In Figuur 4.4 (Drost, 2016) is het processchema weergegeven voor het selecteren van de relevante scenario's. Daaronder is in Figuur 4.5 (Drost, 2016) toegelicht hoe scenario's via het praktijkschema kunnen worden uitgesloten en worden in Figuur 4.6 (Drost, 2016) de toegekende kansen per scenario weergegeven.



Figuur 4.4. Praktijkschema WTI-SOS-scenario's (Drost, 2016, p. 11)

Scenario	Stap 1 & stap 2: 1. Kom ik het scenario tegen? 2. Is het scenario relevant?	Stap 3: Kan ik het scenario uitsluiten o.b.v. grondonderzoek?	Stap 4: Heeft het scenario een grote kans?	Conclusie
macrostabiliteit				
1D1	scenario komt niet voor binnen dijkvak, maar is mogelijk wel relevant voor macrostabiliteit	ja, dergelijke grote zandduinen kunnen niet voorkomen tussen de puntwaarnemingen	n.v.t.	uitsluiten
1D2	scenario komt niet voor binnen dijkvak, maar is mogelijk wel relevant voor macrostabiliteit	nee, mogelijk kunnen kleine zandduinen voorkomen tussen de puntwaarnemingen	nee, geen grote kans van aantreffen: 10,5 %	meenemen in beoordeling
1D3	scenario komt niet voor binnen dijkvak, maar is mogelijk wel relevant voor macrostabiliteit	nee, mogelijk kunnen kleine zandduinen voorkomen tussen de puntwaarnemingen	nee, geen grote kans van aantreffen: 4,5 %	omdat dit scenario vergelijkbaar is met 1D2 niet meenemen: dikkere veenlaag is maatgevender
1D4	scenario komt voor binnen dijkvak, maar is waarschijnlijk niet relevant voor macrostabiliteit	n.v.t.	n.v.t.	niet meenemen in beoordeling, waarschijnlijk niet maatgevend. Tijdens/na beoordeling is een check benodigd op deze aanname ¹
1D5	scenario komt voor binnen dijkvak en is relevant voor macrostabiliteit	n.v.t.	n.v.t.	meenemen in beoordeling: basisschematisatie

Figuur 4.5. Uitsluiten scenario's op basis van het praktijkschema (Drost, 2016, p. 25).

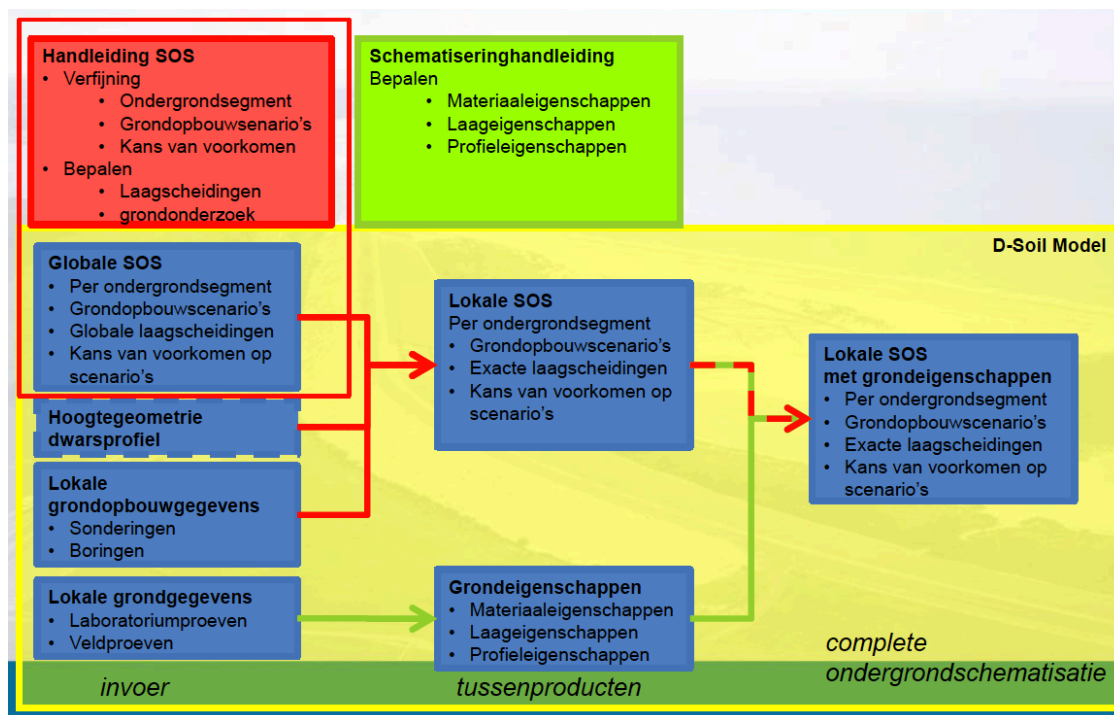
Scenario	Kans	Toelichting
1D1	0 %	uitgesloten
1D2	5 %	maatgevende bodemopbouw met een kleine kans van aantreffen
1D3	0 %	niet maatgevend
1D4	0 %	niet maatgevend
1D5-1	95 %	maatgevende bodemopbouw die is aangetroffen

Figuur 4.6. Scenario's met bijbehorende kans (Drost, 2016, p. 29)

In het rapport “WTI2017: Handleiding lokaal schematiseren met WTI-SOS” (Kruse, 2015, p. 17-19) van Deltares staan onderstaande stappen beschreven:

- “1. Vaststellen of WTI-SOS scenario's niet voorkomen in de ondergrondgegevens om de noodzaak voor aanvullende informatie na te gaan.
2. Onderscheiden en identificeren van lokale lagen. Eventueel toekennen van grondeigenschappen aan de lokale lagen.
3. Vaststellen waar de grondopbouw verandert in de beschouwde strekking.
4. Toekennen van parameterwaarden aan lokale lagen.
5. Vaststellen of het beschikbare grondonderzoek voldoende is om met voldoende zekerheid de scenario's voor elk van de faalmechanismen vast te stellen (5). Indien extra gegevens worden verzameld kunnen stappen 1 tot en met 3 herhaald worden.
6. Lokale laagindeling en grondopbouwscenario's vaststellen voor het lokale segment
7. Mogelijk een kwantitatieve analyse van de effecten grondopbouw op de dijkveiligheid om zo vast te stellen of de grondopbouw in één of meer scenario's mogelijk voor een mechanisme kritieke lagen of laagdieptes bevat.
8. Eventueel een 2D profiel opstellen in verband met compactheid van grond onder de dijk
9. Eventueel een 2D profiel opstellen in verband met verschillen in grondopbouwscenario's in het dwarsprofiel van de dijk.
10. Vastleggen van bevindingen”.

In Figuur 4.7 (Hijma, 2015) is in een werkschema geïllustreerd welke stappen in het lokaal schematiseren genomen moeten worden.



Figuur 4.7. Werkschema voor lokaal schematiseren (Hijma, 2015, p. 3)

Stap 5: Vaststellen te toetsen scenario's

In deze stap worden de scenario's bepaald die in RisKeer worden gebruikt voor de analyse. Hier kan ook de conclusie worden getrokken dat nog extra grondonderzoek nodig is. De gegevens van dit grondonderzoek worden dan weer in stap 4 gebruikt.

De scenario('s) van D-Soil Model worden ingevoerd in RisKeer. Ieder scenario wordt doorgerekend met een glijvlakanalyse. Met deze glijvlakanalyses worden de stabiliteitsfactor en de faalkans voor alle combinaties van dijkprofiel en scenario's berekend (Rijkswaterstaat, 2016). De waarde van alle berekende faalkansen bij elkaar opgeteld moet kleiner zijn dan de faalkanseis. Deze waarde wordt berekend in RisKeer. Voor elk scenario wordt een aparte stabiliteitsberekening in RisKeer uitgevoerd. Wanneer de uitkomst van de berekening(en) van de faalkans in RisKeer niet voldoet, kan de schematisatie in D-Soil Model geoptimaliseerd worden, met aanvullende gegevens. In Figuur 4.8 (Drost, 2016) zijn voor de verschillende toetsen aangegeven hoe de schematisatie geoptimaliseerd kan worden. Eventueel kunnen aanvullende scenario's in D-Soil Model ingevoerd worden (Rijkswaterstaat, 2016, p.40). Deze optimalisatie wordt dan weer ingevoerd in RisKeer voor een nieuwe berekening (Rijkswaterstaat, 2016). Bij meer scenario's dan RisKeer kan berekenen, moet een voorselectie op basis van glijvlakberekening uitgevoerd worden (Rijkswaterstaat, 2016).

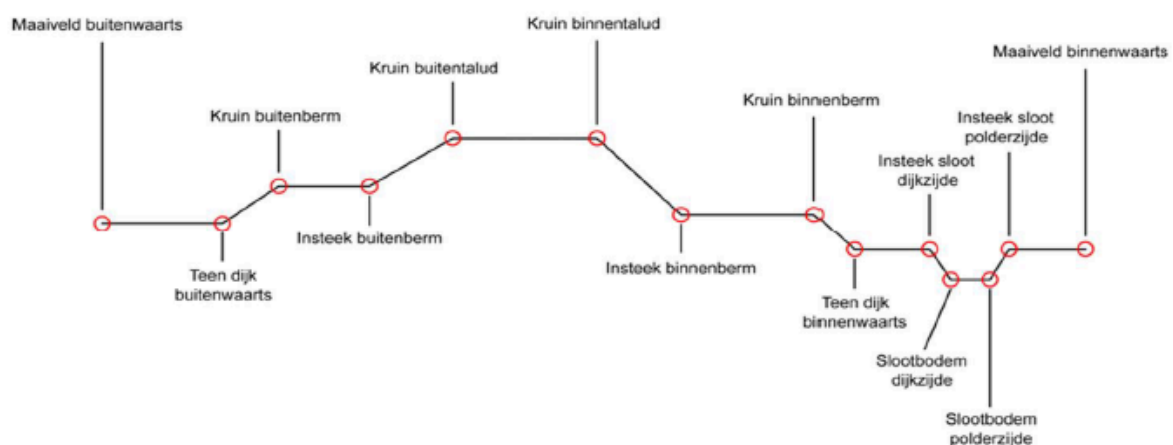
Beoordeling	Hoe het SOS te gebruiken?
eenvoudige beoordeling	- dikte deklaag - maximum (macrostabiliteit) of minimum (piping) dikte uit SOS-scenario's gebruiken
gedetailleerde beoordeling per vak - semi-probabilistisch of probabilistisch	- onzekerheden in de ondergrond neem je mee door middel van ondergrondscenario's uit het SOS - lokale schematisaties stel je op aan de hand van het SOS en beschikbare lokale gegevens - grondparameters bepaal je uit grondonderzoek of je hanteert default waarden die bij de SOS eenheden horen: - semi-probabilistisch: karakteristieke waarden - probabilistisch: stochasten - de berekende faalkans is de gewogen faalkans op basis van de ondergrondscenario's
gedetailleerde beoordeling per traject – probabilistisch	- de ondergrondscenario's en de lokale schematisatie wijzigen niet ten opzichte van de beoordeling per vak gedetailleerde beoordeling - je rekent per definitie met stochastische grondparameters (uit grondonderzoek of default waarden die bij de SOS eenheden horen) - in Ringtoets wordt de faalkans op trajectniveau bepaald: sterke vakken compenseren zwakke vakken
toets op maat / beheerdersoordeel	- het SOS kan als achtergrondinformatie worden gebruikt om te ondersteunen bij de toets op maat / beheerdersoordeel. - bij de toets op maat wordt op lokale schaal specifieke gebiedskennis gebruikt

Figuur 4.8. Beoordelen van grof naar fijn voor WTI-SOS (Drost, 2016, p. 6)

Ondergrond schematisatie voor macrostabiliteit

Geometrie

De analyse op macrostabiliteit wordt uitgevoerd op basis van de uitwendige geometrie. De geometrie van de situatie wordt ingemeten, waarna deze geometrie geïmporteerd wordt in D-Soil Model. Hiervoor moeten de voor macrostabiliteit maatgevende dwarsprofielen geselecteerd worden (Rijkswaterstaat, 2016). In het dwarsprofiel moeten karakteristieke punten aangewezen worden. In Figuur 4.9 (Hijma, 2015) is een dwarsdoorsnede van een geometrie weergegeven met daarin aangegeven de karakteristieke punten. Deze punten zijn nodig voor bepaling van het zoekgebied voor de glijvlakken en het bepalen van de waterspanningen in D-Soil Model (Rijkswaterstaat, 2016). Voor de berekening in RisKeer worden de karakteristieke punten niet gebruikt, maar wordt het volledige dwarsprofiel gebruikt (Rijkswaterstaat, 2016).



Figuur 4.9. Dwarsdoorsnede geometrie met aangegeven karakteristieke punten (Rijkswaterstaat, 2016, p. 37)

Schematisatie voor de toets op macrostabiliteit binnenwaarts.

Voor het schematiseren van de ondergrond voor de toets op macrostabiliteit binnenwaarts moeten globaal vier stappen worden doorlopen (Rijkswaterstaat, 2016):

- Karakteriseren van de opbouw van de ondergrond in de omgeving van de te toetsen dijk.
- Geohydrologische karakterisering.
- Geotechnische schematisering.
- Kiezen van maatgevend dwarsprofiel (vakindeling).

Karakteriseren van de opbouw van de ondergrond in de omgeving van de te toetsen dijk.

Voor het schematiseren wordt begonnen met de Stochastische Ondergrond Schematisatie. In de lokale ondergrond schematisatie voor macrostabiliteit moet een verticale laagscheiding ter plaatse van de teen van de dijk getrokken worden. Deze splitsing is nodig om het verschil in de waarde van de POP en OCR onder de dijk en naast de dijk goed in de berekening te laten meetellen. Bij hoog water kunnen deze waarden aan de binnenkant van de dijk toenemen.

Met de beschikbare informatie in het WTI-SOS wordt de schematisatie gedetailleerd met parameters uit geotechnisch laboratoriumonderzoek en door de diepteligging en uitgestrektheid van de lagen aan te geven. Hierna vindt de schematisatie plaats in D-Soil Model door de ingemeten geometrie in D-Soil Model te importeren (Rijkswaterstaat, 2016). De uitvoer van D-Soil Model is de invoer voor RisKeer. In RisKeer wordt dan de analyse op macrostabiliteit uitgevoerd.

Voor macrostabiliteit zijn potentiële glijvlakken met een lengte vanaf 50 meter van belang (Drost, 2016) en een breedte van enkele tot 10 meter (Hijma, 2015). Wanneer de afstand van de sonderingen 100 meter is, kan het al beschikbare grondonderzoek gebruikt worden. Het WTI-SOS kan dan als controlemiddel gebruikt worden; Geen maatgevende grondopbouw kan gemist worden en de dikte van de slappe laag kan dikker zijn (Drost, 2016). Wanneer de afstand tussen de sonderingen meer dan 100 meter is, dan is het beter WTI-SOS als uitgangspunt voor de ondergrond schematisatie te nemen.

Geohydrologische karakterisering.

Verschillende scenario's leiden tot een verschillende schematisering van de waterspanning in de ondergrond. De waterspanningen worden geschematiseerd in de Waternet Creator in RisKeer. In de Waternet Creator worden voor de ondergrond vier typen onderscheiden. Dit zijn een zanddijk op een cohesieve ondergrond, een zanddijk op een zandondergrond, een kleidijk op een cohesieve ondergrond en een kleidijk op een zandondergrond (Rijkswaterstaat, 2016). Dit moet aangegeven worden in RisKeer. De schematisatie van de waterspanningen is nodig voor beide typen gedetailleerde toets (Rijkswaterstaat, 2016).

De invoer voor de Waternet Creator is (Rijkswaterstaat, 2016):

- Type ondergrond.
- Het polderpeil.
- Buitenwaterstand bij de norm en de gemiddelde buitenwaterstand.
- De leklengte.
- De indringingslengte.
- Het freatisch vlak ter plaatse van de buitenkruin, de binnenkruin, de binnenteen en bij de schouder van een eventueel aanwezige berm.

Voor het bepalen van de leklengte en de indringingslengte is een grondwaterstromingsmodel nodig (Rijkswaterstaat, 2016). Voor het in rekening brengen van het tijdsafhankelijke karakter van de grondwaterstroming bij maatgevende belasting moet het Technisch rapport waterspanningen geraadpleegd worden (Barends, 2004). Hierin moet voor aanpassing van de leklengte bijlage 3 en 4, voor aanpassing van het freatische vlak bijlage b1.3.3 en voor aanpassing van de indringingslengte bijlage b4.3 geraadpleegd worden. Voor het bepalen van de freatische lijn wordt extreme neerslag niet meegenomen. Ook voor de schematisering van de waterspanning kunnen scenario's die niet in WTI-SOS staan relevant zijn (Rijkswaterstaat, 2016, p. 41-42).

Geotechnische schematisering.

Aan de eenheden in WTI-SOS moeten in D-Soil Model nog parameterwaarden worden toegevoegd. Per grondlaag of per WTI-SOS eenheid zijn de volgende gegevens nodig (Rijkswaterstaat, 2016):

- Volumiek gewicht γ .
- De hoek van inwendige wrijving voor goed doorlatende lagen Φ' .
- De ongedraineerde schuifsterkte ratio S .
- De sterkte-toename-exponent m .
- De grensspanning σ'_{vy} (niet aan WTI-SOS eenheid gekoppeld).

De input voor D-Soil Model zijn de verwachtingswaarde, de standaardafwijking, het type verdeling en het aantal metingen.

Voor het volumiek gewicht gaat de voorkeur uit naar lokale gegevens en bij voorkeur geen regionale proefverzamelings data, omdat het volumiek een belangrijke parameter in de stabiliteitsanalyse is. Voor een toelichting hierop zie de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016, p. 47).

De parameters Φ' , S en m kunnen worden gekoppeld aan grondsoorten of WTI-SOS-eenheden. Deze parameters zijn onafhankelijk van het spanningsniveau of de toestand van de grond en zijn daarom gelijk voor een heel dijktraject of beheersgebied (Rijkswaterstaat, 2016).

De grensspanning kan sterk variëren en wordt per dwarsprofiel op basis van lokale gegevens bepaald. Deze gegevens worden afgeleid uit lokale sonderingen of samendrukkingsproeven (Rijkswaterstaat, 2016). De grensspanning is een parameter die afhankelijk is van de toestand waarin de grond zich bevindt. De grensspanning hangt af van de consolidatie van de grond. De consolidatie wordt bepaald door de belasting geschiedenis van de grond en door het afzettingsmilieu waarin de grondlaag is gevormd. Minimaal twee verticalen met waarden van de grensspanning moeten worden bepaald. Hiervan moet één in de kruin van de dijk en moet één in het achterland van de dijk bepaald worden. Indien bebouwing of een berm aanwezig is, moet ook nog een verticaal op het erf of in de berm worden bepaald. In de verticalen moet voor alle grondlagen een waarde van de grensspanning gegeven worden. De grensspanning kan ook gebruikt worden om dijkvakgrenzen te kiezen en de maatgevende dwarsprofielen te bepalen (Alles Rijkswaterstaat, 2016).

Voor een semi-probabilistische analyse worden de rekenwaarden van de schuifsterkte eigenschappen van de geotechnische parameters gebruikt. De rekenwaarde wordt bepaald door de karakteristieke waarde te delen door een materiaalfactor (Rijkswaterstaat, 2016). Deze materiaalfactoren liggen in RisKeer vast. Deze materiaalfactoren zijn weergegeven in Figuur 4.10 (Rijkswaterstaat, 2016). De karakteristieke waarde wordt door RisKeer berekend. In een probabilistische analyse wordt de stochast met verdelingsfunctie van de parameters gebruikt (Rijkswaterstaat, 2016)

Parameter	Materiaalfactor (-)
Ongedraineerde schuifsterkte ratio S (-)	1,0
Sterkte toename exponent m (-)	1,0
Grensspanning σ'_{vy} (kPa)	1,0
Ongedraineerde schuifsterkte s_u (kPa)	1,0
Hoek van inwendige wrijving ϕ (°)	1,0

Figuur 4.10. Materiaalfactoren in RisKeer (Rijkswaterstaat, 2016, p. 19)

Kiezen van maatgevend dwarsprofiel (vakindeling).

Op basis van de geometrie en de ondergrond worden door de beheerder de dijktrajecten in dijkvakken opgedeeld. In de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016, p. 44) worden de volgende overwegingen voor het leggen van vakgrenzen genoemd:

- “Waar de waterkering van type verandert; types waterkering zijn dijk, dam, duin, kunstwerk of aansluiting tussen twee types waterkering; ook de overgang naar hoge gronden is logischerwijze een vakgrens.
- Bij een overgang van een norm naar een andere norm.
- Bij duidelijke verschillen in hydraulische belasting. Dit kan het geval zijn bij een rivier met een sterk verhang zoals op de Maas in Limburg of de bovenloop van de IJssel.
- Bij duidelijke veranderingen in geometrie.
- Bij duidelijke veranderingen in ondergrond (SOS segment) en/of sterkte-eigenschappen”.

Eén situatie moet kenmerkend zijn voor de strekking van het dijkvak. De macrostabiliteit wordt voor deze kenmerkende situatie geanalyseerd. Over de gehele strekking moet het dijkvak “homogeen” zijn; de belasting, de geometrie, de grondopbouw en cetera zijn ongeveer gelijk. Per faalmechanisme kunnen hierdoor verschillende dijkvakindelingen gemaakt worden.

In de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (Rijkswaterstaat, 2016, p. 44) staan de volgende factoren vermeld die een rol kunnen spelen bij de vakindeling:

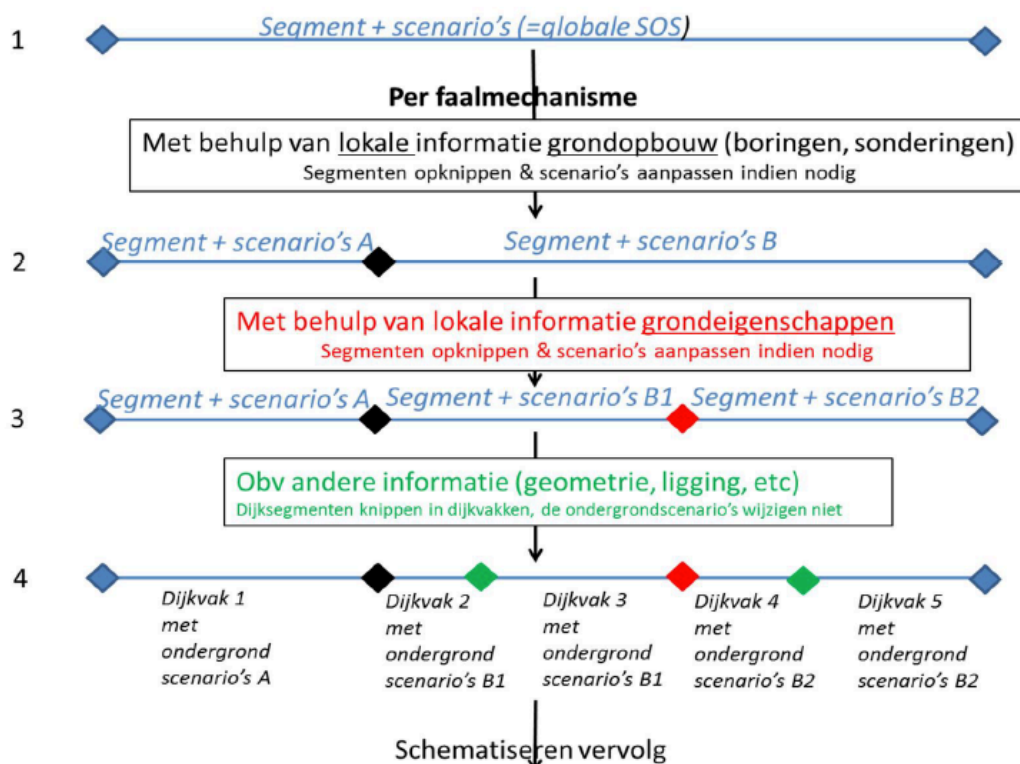
- “Geometrie, met duidelijke wijzigingen in:
 - Dijkhoogte.
 - Dijkbreedte.
 - Afmetingen berm.
 - Steilheid taluds.
 - Maaiveldhoogte.
 - Aanwezigheid sloten/watergangen.
- Grondopbouw, bijvoorbeeld bij:

Een segmentgrens in de globale stochastische ondergrondschematisatie (SOS) en bij beschikbaar lokaal grondonderzoek:

- (Grote) veranderingen in dikte aanwezige klei- en veenlagen.
 - Aanwezigheid van geulen of tussenzandlagen.
- Aanwezigheid voorland (in verband met ontwikkeling van de stijghoogte in het dijklichaam bij hoog buitenwater).
- Opbouw van het dijklichaam, met onderscheid tussen oude en recentere delen van het dijklichaam of onderscheid tussen kleidijk en aanvulling in zand.
- Aanwezigheid van bijzondere constructies (drainage, damwanden, diepwanden et cetera)”.

Omdat relatief kleine verschillen in de waterstand bij de norm en/of in de geometrie van de dijk tot relevante verschillen in de stabiliteitsfactor of faalkans kan leiden, kunnen in RisKeer meerder

dwarsprofielen per vak doorgerekend worden. Het maatgevende dwarsprofiel wordt dan representatief voor het dijkvak (Rijkswaterstaat, 2016).



In DsoilModel – Hoe? In SOS-H
Ringtoets – Hoe? In SH

Figuur 4.11. Werkschema voor schematiseren van de ondergrond (Rijkswaterstaat, 2016, p. 45)

De indeling / onderverdeling van een dijkvak is een iteratief proces. In Figuur 4.11 (Rijkswaterstaat, 2016, p. 45) is het werkschema voor het schematiseren en indelen van de ondergrond en de dijkvakken weergegeven. Naar aanleiding van de uitkomst van de toets kan de indeling aangepast worden. Hierdoor kan het maatgevende dwarsprofiel gunstiger uitvallen, waardoor dat deel van het dijkvak goedgekeurd kan worden (Rijkswaterstaat, 2016).

Bronnenlijst

Figuren

Figuur 4.1. WTI-SOS segment met scenario's met bijbehorende kansen(p) van voorkomen. Bewerkt overgenomen uit "Globale stochastische ondergrondschematisatie (WTI-SOS) voor de primaire waterkeringen" van Hijma, 2015 (p. 26, figuur 4.6).

([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 4.2. Overzicht van de te nemen stappen voor het lokaal schematiseren van de ondergrond. Bewerkt overgenomen uit "WTI2017: Handleiding lokaal schematiseren met WTI-SOS" van Kruse, 2015 (p. 13, figuur 3.1).

([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 4.3. Kansenbepaling van scenario's in een segment. Bewerkt overgenomen uit "Globale stochastische ondergrondschematisatie (WTI-SOS) voor de primaire waterkeringen" van Hijma, 2015 (p. 27). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 4.4. Praktijkschema WTI-SOS-scenario's. Bewerkt overgenomen uit "Instructie SOS, praktisch toepassen SOS binnen het WBI2017" van Drost, 2016 (p. 11).

([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 4.5. Uitsluiten scenario's op basis van het praktijkschema. Bewerkt overgenomen "Instructie SOS, praktisch toepassen SOS binnen het WBI2017" van Drost, 2016 (p. 25).

([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 4.6. Scenario's met bijbehorende kans. Bewerkt overgenomen "Instructie SOS, praktisch toepassen SOS binnen het WBI2017" van Drost, 2016 (p. 29).

([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 4.7. Werkschema voor lokaal schematiseren. Bewerkt overgenomen uit "Globale stochastische ondergrondschematisatie (WTI-SOS) voor de primaire waterkeringen" van Hijma, 2015 (p. 3). ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 4.8. Beoordelen van grof naar fijn voor WTI-SOS. Bewerkt overgenomen "Instructie SOS, praktisch toepassen SOS binnen het WBI2017" van Drost, 2016 (p. 6).

([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 4.9. Dwarsdoorsnede geometrie met aangegeven karakteristieke punten. Bewerkt overgenomen uit "Globale stochastische ondergrondschematisatie (WTI-SOS) voor de primaire

waterkeringen” van Hijma, 2015.

([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 4.10. Materiaalfactoren in RisKeer. Bewerkt overgenomen uit “Schematiseringshandleiding macrostabiliteit” van Rijkswaterstaat, 2016.

([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 4.11. Werkschema voor schematiseren van de ondergrond. Bewerkt overgenomen uit “Globale stochastische ondergrondschematisatie (WTI-SOS) voor de primaire waterkeringen” van Hijma, 2015. ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Presentatie

Hijma, M. (z.d.). *WTI ondergrondschematisatie, wat doe en kun je ermee?* [PowerPointpresentatie].

Delft: Deltares. Geraadpleegd op 21 april 2017, van

https://www.google.nl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwid_oTOhbXTAhUJEIAKHQW2AVsQFggkMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.helpdeskwater.nl%2Fpublish%2Fpages%2F36271%2F7_de_wbi_undergrondschematisatie_wat_doe_en_kun_je_ermee_1.pdf&usg=AFQjCNFdC3UtGR-RB2ZD8UMxVrNGHaPy2

Rapporten

Barends, F.B.J. (2004). *Technisch rapport waterspanningen bij dijken*. Technische Adviescommissie voor de waterkeringen. Geraadpleegd op 16 maart 2017, van

<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Abf74eeaf-dc41-43fc-9c94-acd70f4a8340>

Drost, M. L., Bus, C. A. (2016). *Instructie SOS, praktisch toepassen SOS binnen het WBI2017*.

Witteveen & Bos, Deventer. Geraadpleegd op 21 maart 2017, van

[https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Hijma, M., Lam, K. S. (2015). *Globale stochastische ondergrondschematisatie (WTI-SOS) voor de primaire waterkeringen*. Deltares. Geraadpleegd op 21 maart 2017, van

[https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Kruse, G., Hijma, M. (2015). *WTI2017: Handleiding lokaal schematiseren met WTI-SOS*. Deltares.

Geraadpleegd op 21 maart 2017, van

[https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Rijkswaterstaat (2016). *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit*. Geraadpleegd op 8 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Bijlage 5 WTI-SOS eenheden

In onderstaande Figuur 5.1 (Hijma, 2015) zijn de codes voor kenmerken van de grondsoorten met hun betekenissen weergegeven. Op deze codes zijn de WTI-SOS eenheden gebaseerd. In Figuur 5.2 (Hijma, 2015) zijn de subtypes van Figuur 4.1 van een omschrijving voorzien en In Figuur 5.3 (Hijma, 2015) is versie 2 van de WTI-SOS eenheden weergegeven.

Code	Betekenis	Code	Betekenis	Code	Betekenis	Code	Betekenis
H	Holoceen	M	Marien	g	Geul	zg	Zeer en uiterst grof zand
				kw	Kwelder	zm	Matig fijn tot zeer grof zand
		E	Estuarien	l	Lagune	zf	Uiterst fijn tot matig fijn zand
				p	Getijdenplaat	z&s	Afwisseling zand/silt lagen
				r	Restgeul	z&k	Afwisseling zand/klei lagen
		R	Rivier	k	Komgebied	zs	Siltig zand
				o	Oeverwal/crevasse	zk	Kleiig zand
				bk	Beek	s	Silt
		V	Veen	bv	Basisveen	kz	Zandige klei
				hv	Hollandveen	k&s	Afwisseling klei en silt lagen
P	Pleistoceen en ouder	W	Wind	dz	Dekzand	k	Klei
				ls	Löss	ko	Organische klei
				rd	Rivierduin	k&v	Afwisseling klei en veenlagen
		G	Glaciaal	gs	Gestuwd	vk	Kleiig veen
				Kl	Keileem	v	Veen
				sh	Smeltwater en helling	o&z	Afwisseling organische klei/zandlagen
		O	Overig	m	Meer	sd	Slecht doorlatend
				v	Variabel	ht	Antropogeen: heterogeen
		A	Aangebracht	a	Aangebracht		

Figuur 5.1. Systeem waarop de WTI-SOS eenheden zijn gebaseerd (Hijma, 2015, p. 18)

Code	Betekenis	Omschrijving
G	Geul	Grotendeels met zand opgevulde rivier-, estuariene of getijdengeul. Bevat in het estuariene en getijdengebied ook veel kleilaagjes.
kw	Kwelder	Gebied achter in een getijdenbekken dat alleen bij springtij nog onder water staat. In het gebied komen relatief veel kleine getijdengeultjes voor.
l	Lagune	Zeer ondiep brak- of zoutwatergebied. Valt bij eb niet droog.
p	Getijdenplaat	Delen van getijdenbekkens die elke vloed onderlopen. Staan ook bekend als slik of wad. Kunnen uit vrij schoon zand bestaan, maar ook sterk kleiig zijn.
r	Restgeul	Bestond uit het watervoerende deel van een geulsysteem ten tijde van het verlaten van het geulsysteem. De opvulling kan sterk wisselend zijn, maar bestaat vaak uit een afwisseling van organische lagen en meer klastische (zand/klei) lagen.
k	Komgebied	Laaggelegen gebied langs de rivier dat bij hoogwater overstroomt. Daarbij wordt vooral klei afgezet. In de diepere delen van een komgebied staat dermate lang water dat er ook organische afzettingen vormen.
o	Oeverwal/crevasse	Een oeverwal is een relatief hooggelegen strook pal langs de rivier, ontstaan door opslibbing met zand en klei tijdens overstromingen van de rivier. Langs een rivier wordt een oeverwal op meerdere plaatsen doorbroken door kleine zijriviertjes, crevassegeulen, die achter de oeverwal zand en klei afzetten.
bk	Beek	Feitelijk een kleine rivier.
bv	Basisveen	Deze compacte veenlaag ligt meestal direct op het Pleistocene zand en vormt vaak de basis van het Holoceen. De veenlaag is ontstaan door snelle zeespiegelstijging die leidde tot een stijging van het grondwater. Bij de toekenning van dit subtype aan eenheden in de ondergrond is niet volgens de strikte lithostratigrafische regels gewerkt, maar is uitgegaan van hoe dit subtype in de geotechnische praktijk gebruikt wordt, namelijk als een compacte veenlaag op het Pleistoceen.
hv	Hollandveen	Het Hollandveen omvat veenlagen die verspreid door de Holoceen afzettingen voorkomen en is veel slapper dan het basisveen. Het omvat veel verschillende soorten veen.
dz	Dekzand	Zand dat door wind is afgezet tijdens een ijstijd in een poolwoestijnklimaat. De korrelgrootte is behoorlijk constant, gemiddeld 150-210 μm . Komt in grote delen van Nederland voor.
ls	Löss	Ook löss is door de wind afgezet tijdens ijstijden, maar bestaat voornamelijk uit silt. Komt vooral in Zuid-Limburg veel voor.
rd	Rivierduin	Uit een drooggevalen riviervlakte of rivieroever opgestoven duin.
gs	Gestuwd	Afzettingen die door ijs zijn gestuwd, waarbij de oorspronkelijk grotendeels horizontale lagen scheef zijn komen te staan en in meer of mindere mate vervormd zijn. Hebben hierdoor regelmatig een complexe opbouw.
kl	Keileem	(Zandige) leem vermengd met door landijs aangevoerd gesteentegruis en stenen, afgezet onder de ijskap.
s	Smeltwaterafzetting	Afzettingen gevormd door smeltwater afkomstig van de ijskappen. Bestaan meestal uit slecht gesorteerd en grof zand.
m	Meer	Hier worden de meerafzettingen van de Peelo-formatie mee bedoeld (o.a. potklei)
v	Variabel	Een restgroep
a	Aangebracht	Door de mens aangebrachte laag.

Figuur 5.2. Omschrijving van de subtypes uit figuur 5.1 (Hijma, 2015, p. 19)

WTI-SOS code	Omschrijving	Kenmerken (geldend voor het vrije veld, op enige meters diep)	Formatie
H_Mg_zm	Matig fijn tot zeer grof getijdengeulzand	Zand, fijn en middel, kleig (met NEN soms zandige klei), met mm - cm dunne smalle (<~1 m) klei/siltlaagjes, gehalte fijne laagjes klei zeer variabel, met variatie tussen ca. 10 - 30 % met uitschieters tot 40 %, in 0.5 - 2 m dikke sublagen minder dan 30 m breed binnen één pakket, zeer los tot los, kleef ~ 0.5 - 1.5 %, conus 1 - ~20 MPa met fluctuaties over 1 - 2 m van 2 - 5 MPa	Naaldwijk
H_Mg_zf	Uiterst fijn tot matig fijn getijdengeulzand	Getijdengeul. Zand, fijn, kleig, mm - cm dunne smalle (<~1 m) klei/siltlaagjes, gehalte fijne laagjes klei zeer variabel, met variatie tussen ca. 5 - 15 % met uitschieters tot 30 %, in 0.5 - 2 m dikke sublagen minder dan 30 m breed binnen één pakket, zeer los tot los, kleef ~ 1 - 2 %, conus 1 - 10 MPa met fluctuaties over 1 - 2 m van 1 - 2 MPa en met uitschieters naar 15 MPa	Naaldwijk
H_Mg_zk	Uiterst fijn tot matig fijn getijdengeulzand met dunne klei- en silt laagjes.	Getijdengeul. Zand, fijn, kleig, mm - cm dunne smalle (<~1 m) klei/siltlaagjes, gehalte fijne laagjes klei zeer variabel, met variatie tussen ca. 10 - 30 % met uitschieters tot 40 %, in 0.5 - 2 m dikke sublagen minder dan 30 m breed binnen één pakket, zeer los tot los, kleef ~ 1 - 2 %, conus 1 - 10 MPa met fluctuaties over 1 - 2 m van 1 - 3 MPa en met uitschieters naar 15 MPa	Naaldwijk
H_Mp_zf	Zandige getijdenplaatafzettingen	Zand, fijn met zeer weinig dunne klei/silt laagjes, bestaat uit relatief schoon zand. Los tot dicht gepakt. Kleef ca. 0.5-1.5%, conus 2-10 MPa	Naaldwijk
H_Mr_kz	Getijdenrestgeulopvulling	Afwisseling van zand en kleilagen met regelmatig organische klei- en veenlagen. De afzetting kent een grote variatie, kleef ca. 1-4% met uitschieters naar 6%, conus 1-5 MPa met soms uitschieters tot 10 MPa.	Naaldwijk
H_Mkw_z&k	Afzettingen van kleine getijdenplaat- en kweldergeulen	Klei, geen - weinig mm tot cm dikke zand/siltlaagjes, meest matig stevig, weinig plantenresten, kleef ca. 1.5 - 4 %, conus <~2 MPa, getijdeplaat afzetting, pakket wordt gekenmerkt door meerdere lagen met verschil in gehalte aan zandlaagjes	Naaldwijk
H_Mp_k	Kleiige getijdenplaat- en kwelderafzettingen	Klei, zacht tot matig stevig, vaak zandig, kleef ca. 2 - 5 %, conus <~1 MPa, plaatselijk tot 2 MPa, pakket bestaat soms uit lagen met meer en minder plantenresten	Naaldwijk
H_Mp_ko	Organisch rijke getijdenplaat- en kwelderafzettingen	Organische klei met regelmatig veenlagen. Zacht met veenlagen van 0.1- 0.4 m dik, fs 4-8% met uitschieters naar 10%. qc meestal < 1 MPa.	Naaldwijk
H_Ml_ko	Lagunaire afzetting	Organische klei, zeer zacht. Kleef 2-4% met uitschieters naar 6%, qc meestal <1 MPa en vaak rond de 0.5 MPa.	Naaldwijk
H_Eg_zm	Matig fijn tot zeer grof estuarien getijden-geulzand	Zand en klei, met weinig fijne (cm) en soms dikkere (0.5 m) kleilaagjes. Verticaal komen er binnen 1-2 m en over afstanden van 2-20 m grote variaties voor in de hoeveelheid kleilagen en kleilaagjes, plaatselijk met organisch materiaal, qc tussen 5-15 MPa met uitschieters tot 20 MPa, fs= 0.5-2 %	Naaldwijk
H_Eg_z&k	Uiterst fijn tot matig fijn estuarien getijden-geulzand	Zand en klei, met meest fijne (cm) en soms dikkere (0.5 m) kleilaagjes. Verticaal komen er binnen 1-2 m en over afstanden van 2-20 m grote variaties voor in de hoeveelheid kleilagen en kleilaagjes, plaatselijk met organisch materiaal, qc tussen 1-5 MPa met uitschieters tot 10 MPa, fs= 0.5-2 %	Naaldwijk
H_Rg_zg	Zeer grof tot uiterst grof rivierbeddingszand	Zand, middel to grof, regelmatig met grindinsluitingen en fijne zandinsluitingen, conus >20 MPa. Is opgebouwd uit sublagen met grote verschillen in sondeerwaarden en korrelgrootte: Fluctuaties van > 5 MPa over 1-2 m hoogte en over afstanden van 5-20 m.	Echteld
H_Rg_zm	Matig fijn tot zeer grof rivierbeddingszand	Zand, middel, soms met grindinsluitingen en regelmatig fijne zandlagen, los tot matig dicht, conus ~10-20 MPa met uitschieters naar 30 MPa. Is opgebouwd uit sublagen met grote verschillen in sondeerwaarden en korrelgrootte: Fluctuaties van > 5 MPa over 1-2 m hoogte en over afstanden van 5-20 m.	Echteld
H_Rg_zf	Uiterst fijn tot matig fijn zand rivierbeddingszand	Zand, fijn -middel, weinig zeer grof zandinsluitingen met soms wat grind, los tot matig dicht, conus ~3-15 met uitschieters naar 20 MPa. Is opgebouwd uit sublagen met verschillen in sondeerwaarden en korrelgrootte: Fluctuaties van 1-5 MPa over 1-2 m hoogte en over afstanden van 5-20 m.	Echteld
H_Rr_o&z	Rivierrestgeulopvulling	Afwisselende lagen van voornamelijk organische klei, regelmatig veen, vooral aan de bovenkant van de laag, en soms zandlagen van 0.2-1 m dik	Echteld

H_Ro_z&k	Oever-, crevasse- en dijkdoorbraakafzettingen	Klei- en zandlagen van meest 0.1-0.2 m dik, zeer lokaal dikkere zandlagen van 1-3 m dik en over 5-50 m lengte. Conusweerstand 2-5 MPa, zeer variabel met de diepte, wrijvingsgetal 1-4%	Echteld
H_Rk_k	Hogere komafzettingen	Klei met silt, met soms geïsoleerde zand en veenlaagjes van 0.1-0.3 m dik, wrijvingsgetal 2-4%, conus <1 MPa	Echteld
H_Rk_k&v	Lagere komafzettingen met afwisseling van klei- en veenlagen	Afwisseling van veenlagen en kleilagen van 5-30 m lengte van decimeters dikte. Fs=3-7%, conus < 1.2 MPa	Echteld
H_Rk_ko	Lagere komafzettingen met organische klei	Organische klei, met plantenresten, bevat soms veenlagen van enige decimeters dikte, wrijvingsgetal 3-7%, conus < 1.2 MPa	Echteld
H_Rk_vk	Lagere komafzetting van kleilig veen	Kleilig veen, fs 4-8% met variaties van 4% over 0.5-1 m. diepte qc<1 MPa	Echteld
H_Vhv_v	Veen	Veen, slap, kleeft variabel meest > 5 %, conus < 1MPa	Nieuwkoop
H_Vbv_v	Gecompecteerd veen	Veen, in dunne laag (0.15 - 1 m), onderste 0.3 m zeer compact en vaak met wat klei, matig stevig, slecht doorlatend. Fs vaak >7%	Nieuwkoop
H_Ova_zm	Matig fijn tot zeer grof zand	Zand, middel tot grof en soms zeer grof, zeer weinig kleilagen, vast gepakt, bevat vaak schelpenresten. Fs=<1 en qc=5-30 met variaties van 5 MPa over 1 m. Zelden dikker dan 2 m.	Variabel
H_Ova_zf	Uiterst fijn tot matig fijn zand	Zand, fijn en middel, zeer weinig kleilagen, bevat schelpenresten. Fs=<1 en qc=5-15 met variaties van 5 MPa over 1 m. Homogeen zand in lagen met sterk wisselende dikte.	Variabel
H_Aa_ht	Aangebracht materiaal	Zand en klei, sterk wisselende samenstelling, aangebrachte grond	Geen
P_Mg_zm	Matig fijn tot zeer grof getijdengeulzand	Zand, fijn en middel, kleilig (met NEN soms zandige klei) , met mm - cm dunne smalle (<~1 m) klei/siltlaagjes, gehalte fijne laagjes klei zeer variabel, met variatie tussen ca. 10 - 30 % met uitschieters tot 40 %, in 0.5 - 2 m dikke sublagen minder dan 30 m breed binnen één pakket, zeer los tot los, kleeft ~ 0.5 - 1.5 %, conus 2 - ~20 MPa met fluctuaties over 1 - 2 m van 2 - 5 MPa	Eem
P_Mg_zk	Uiterst fijn tot matig fijn getijdengeulzand met dunne klei en silt laagjes.	Getijdengeul. Zand, fijn, kleilig , mm - cm dunne smalle (<~1 m) klei/siltlaagjes, gehalte fijne laagjes klei zeer variabel, met variatie tussen ca. 10 - 30 % met uitschieters tot 40 %, in 0.5 - 2 m dikke sublagen minder dan 30 m breed binnen één pakket, zeer los tot los, kleeft ~ 1 - 2 %, conus 1 - 10 MPa met fluctuaties over 1 - 2 m van 1-3 MPa en met uitschieters naar 15 MPa	Eem
P_Mp_k	Kleiige getijdenplaat- en kwelderafzettingen	Klei, matig stevig, met plantenresten, kleeft ca. 2 - 5 %, conus <~1-2 MPa, getijdenplaat afzetting, pakket bestaat soms uit lagen met meer en minder plantenresten	Eem
P_Rg_zg	Zeer grof tot uiterst grof rivierbeddingszand	Zand, middel tot grof, meestal met grindinsluitingen, conus >20 MPa. Is opgebouwd uit sublagen met grote verschillen in sondeerwaarden en korrelgrootte: Fluctuaties van > 5 MPa over 1-2 m hoogte en over afstanden van 5-20 m. In Zuid-Nederland komen grofgrind pakketten voor.	Kreftenheye; Beegden; Urk; Sterksel; Waalre
P_Rg_zm	Matig fijn tot zeer grof rivierbeddingszand	Zand, middel, soms met grindinsluitingen en regelmatig fijne zandlagen, los tot matig dicht, conus ~10-30 MPa met uitschieters naar 45 MPa. Is opgebouwd uit sublagen met grote verschillen in sondeerwaarden en korrelgrootte: Fluctuaties van > 5 MPa over 1-2 m hoogte en over afstanden van 5-20 m.	Kreftenheye; Beegden; Urk; Sterksel; Waalre
P_Rg_zf	Uiterst fijn tot matig fijn zand rivierbeddingszand	Zand, fijn -middel, weinig zeer grof zandinsluitingen met soms wat grind, los tot matig dicht, conus ~3-20 met uitschieters naar 30 MPa. Is opgebouwd uit sublagen met verschillen in sondeerwaarden en korrelgrootte: Fluctuaties van 1-5 MPa over 1-2 m hoogte en over afstanden van 5-20 m.	Kreftenheye; Beegden; Urk; Sterksel; Waalre
P_Rk_k&s	Kleiige en siltige komafzetting	Klei, vaak zandig, met zandinsluitingen tot 1.5 m. Wrijvingsgetal 2-4%, conus 1-4 MPa. Zeer stevig en ondoorlatend	Kreftenheye, Laag van Wijchen
P_Rbk_zm	Zeer fijn tot zeer grofzandige beekafzetting	Afwisselende lagen van matig grof tot grindig zand van 1-2 m dikte over lengtes van 10-30 m, qc > 25 MPa	Boxtel

P_Rbk_z&s	Heterogene beekafzetting met zand en siltlagen	Fijn zand en siltlagen van 0.5-3 m dikte over lengtes van voornamelijk >100 m. Sterk wisselende conusweerstand, 2-10 met uitschieters tot 30 MPa. Wrijvingsgetal 2-5%	Boxtel
P_Wrd_zm	Matig fijn tot matig grofzandige windafzetting (rivierduin)	Zand, matig fijn tot matig grof, kleef < 1%, qc 8-20 MPa. Vaak gelegen op P_Rk_K&s	Boxtel, Laagpakket van Delwijnen
P_Wdz_zf	Matig fijnzandige windafzetting (dekzand)	Zand, fijn, los tot matig dicht, kleef < 1%, conus ~ 5-15 MPa, met uitschieters naar 20 MPa. Meest als een 1-3 m dikke laag met over afstanden van meer dan 200 m weinig variatie in korrelgrootte en meestal een geringe variatie in dikte	Boxtel, Laagpakket van Wierden; Drachten
P_Wls_s	Siltige windafzetting (löss)	Silt, los tot matig dicht, kleef < 3%, conus ~3-12 MPa. Komt veel in Zuid-Nederland voor	Boxtel, Laagpakket van Liempde en Schimmert
P_Gs_zg	Matig grof tot uiterst grof smeltwaterzand en hellingafzettingen	Zand, middel en grof, soms veel grind en bevat lokaal stenen, kleef < 1%, conus > 15 MPa regelmatig >~ 30 MPa	Drente; Boxtel
P_Ggs_zg	Gestuwde afzetting	Veelal gestuwde rivierafzettingen. Afwisselend gelaagde afzettingen in pakketten van 1-10 m dik. Vaak grof zand, maar ook kleilagen. De lagen staan onder een steile helling van 10-45 graden. Sondeerstaten vertonen over afstanden van 5-20 m zeer grote variatie.	Drente
P_Gkl_kz	Keileem	Klei tot zand met stenen, zeer stevig, kleef ca. 2 - 4 % vaak gelijkmatig, conus 2-5 MPa, vaak een minder cohesieve toplaag van 1-2 m dikte	Drente, Laagpakket van Gieten
P_Om_zf	Fijnzandige en compacte meerafzetting	Zand, fijn, dicht gepakt. Qc tot 40 MPa, fs 1-3%	Peelo
P_Om_k	Kleiige en compacte meerafzetting (potklei)	Klei, zeer stevig, soms met zandige insluitingen 0.5 - 2 m dik, kleef 3 - 8 % , conus 0.5 - 2.5 MP, regelmatig zeer geleidelijke toename met diepte	Peelo, Laagpakket van Nieuwolda
P_Ova_sd	Slecht doorlatend	Zeer slecht doorlatend zandige en klei afzettingen met vaak zandinsluitingen van beperkte uitbreiding van 10-50 m, soms veen of weinig materiaal bevattend, stevig. Niet nader omschreven, slecht doorlatend materiaal	Variabel, o.a. Eem; Urk, Sterksel; Waalre en Tertiaire formaties

Figuur 5.3. WTI-SOS eenheden, versie 2 (Hijma 2015, c-3 - c-5)

Bronnenlijst

Figuren

Figuur 5.1. Systeem waarop de WTI-SOS eenheden zijn gebaseerd. Bewerkt overgenomen uit “Globale stochastische ondergrondschematisatie (WTI-SOS) voor de primaire waterkeringen” van Hijma, 2015 (p.18)

([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 5.2. Omschrijving van de subtypes uit figuur 5.1. Bewerkt overgenomen “Globale stochastische ondergrondschematisatie (WTI-SOS) voor de primaire waterkeringen” van Hijma, 2015 (p.19) ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Figuur 5.3. WTI-SOS eenheden, versie 2. Bewerkt overgenomen “Globale stochastische ondergrondschematisatie (WTI-SOS) voor de primaire waterkeringen” van Hijma 2015 (p. 20) ([https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/))

Rapport

Hijma, M., Lam, K. S. (2015). *Globale stochastische ondergrondschematisatie (WTI-SOS) voor de primaire waterkeringen*. Deltares. Geraadpleegd op 21 maart 2017, van [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/producten-wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/producten-wbi/)

Lijst met afkortingen

AHN	Actueel Hoogtebestand Nederland
ASTM	American Society for Testing and Materials
a_1	Mechanismegevoelige fractie van de trajectlengte van de dijk (-)
AHN	Actueel Hoogtebestand Nederland
As-built	Revisietekening/Bouwttekening van de huidige/ aanwezige situatie
b_1	Lengtemaat die de intensiteit van het lengte-effect weergeeft in de mechanismegevoelige lengte van het traject (m)
CPT	Conus penetration test
CPT _u	Cone penetration test met piezocone
CS	Critical state
CSSM	Critical State Soil Mechanics
C_v	Consolidatiecoëfficiënt
D	Dikte cohesieve lagenpakket vanaf maaiveld bij de binnenteen [m]
DGStab	D-Geo Stability
DSS	Direct Simple Shear
EEM	Eindige elementen methode
FV	Faalkans verwaarloosbaar
$F_{d,i}$	berekende stabiliteitsfactor voor scenario i (-)
FLI-MAP	Fast Laser Imaging- Mapping Airborn Platform
GIS	Geografisch informatiesysteem
h_d	Dijkhoogte t.o.v. maaiveld bij de binnenteen [m]
H_w	Buitenwaterstand bij de norm boven het maaiveld binnendijs [m]
kN	KiloNewton
LIDAR	Laser Imaging Detection And Ranging
L_{traject}	Lengte van het dijktraject (m)
m	Sterktetoename-exponent
MHW	Maatgevende hoogwaterstand
MPa	Megapascal

N.A.P	Normaal Amsterdams Peil
NC	Normaal geconsolideerd
N_{dsn}	Lengte-effect factor voor een doorsnede
N_{kt}	Empirisch bepaalde conusfactor [-]
OCR	Overconsolidatieratio
P_{eis}	Norm (faalkanseis) van het dijktraject (1/jaar)
$P_{eis;dsn}$	Faalkanseis macrostabiliteit per doorsnede (per jaar)
POP	Pre-overburden pressure
$P_{f,i}$	Faalkans van scenario i (1/jaar)
$P_{f,dsn}$	Faalkans per doorsnede (1/jaar)
$P(s_i)$	Kans van voorkomen van scenario i (-)
$P_{eis;sig}$	Faalkanseis per doorsnede uitgaande van de signaalwaarde
$P_{eis;ond}$	Ondergrenswaarde van het dijktraject
$P_{traject;tsp}$	Faalkans traject voor een toetsspoor
$P_{traject}$	Faalkans traject
q_{net}	Voor waterspanningseffecten en totaalspanning gecorrigeerde sondeerweerstand
S_u	Ongedraineerde schuifsterkte
S	Normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio
s'	Gemiddelde hoofdspinning (kN/m ²).
SHANSEP	Stress History And Normalized Soil Engineering Properties
SOS	Stochastische ondergrondschematisatie
STBI	Macrostabiliteit binnenwaarts
s_u	Ongedraineerde schuifsterkte afgeleid uit de sondeerweerstand [kN/m ²]
t_{max}	Maximaal mobiliseerbare schuifsterkte (kN/m ²).
TX	Triaxiaalproef
U_2	Waterspanning [MPa}
VNK2	Veiligheid Nederland in kaart
VTV2006	Voorschrift toetsen op veiligheid 2006
W	Kruinbreedte [m]
WBI2017	Wettelijk beoordelingsinstrumentarium 2017

WBI-SOS	Wettelijk toetsinstrumentarium Stochastische ondergrondschematisatie
WTI2011	Wettelijk toetsinstrumentarium 2011
W&P	Wiertsema & Partners
σ'_{vi}	In situ effectieve verticale spanning [kN/m ²]
σ'_{vy}	Grensspanning
$\sigma'_{vy,gem}$	Verwachtingswaarde van de grensspanning
γ	Volumiek gewicht
φ'	Hoek van inwendige wrijving voor goed doorlatende grondlagen
ω	Faalkansruimtefactor
$\beta_{eis,dsn}$	Betrouwbaarheidsindex voor de doorsnede (-)
Φ	Standaard (cumulatieve) normale verdeling (-)
φ'	Hoek van inwendige wrijving voor goed doorlatende grondlagen
φ'_{cs}	Hoek van inwendige wrijving (°).
γ_n	Schadefactor voor macrostabiliteit (-)
γ_d	Modelfactor (-)

Begrippenlijst

Afschuiving

Verplaatsen van een deel van een grondlichaam of bekleding door overschrijding van het evenwichtsdraagvermogen.

Aquifer

Grondlagen waarbinnen de relatief (ten opzichte van de omgeving) hoge doorlatendheid aanzienlijk transport van grondwater mogelijk maakt.

Belastingmodel

Beschrijving van de manier waarop voor een watersysteem de vertaling van de basisstochasten naar de hydraulische belasting op de waterkering plaats moet vinden.

Cohesieve laag

Ondoorlatende of slecht doorlatende laag op het zandpakket aan de binnendijkse zijde, bestaande uit klei of veen.

Consolidatie

Afname van de waterspanning in de grond door wegstromen van water onder invloed van een belasting.

Constant Rate of Strain proef

Samendrukkingsproef waarmee de grensspanning of overconsolidatiegraad kan worden. Deze proef wordt onder gecontroleerde omstandigheden uitgevoerd en is vooral geschikt voor beproeving van slappe, cohesieve materialen zoals klei en veen.

Conusfactor

Correlatiefactor om de verwachtingswaarde van de ongedraineerde schuifsterkte uit de gecorrigeerde sondeerweerstand te berekenen.

Critical State Soil Mechanics

Materiaalmodel dat de mogelijkheid biedt om met de ongedraineerde schuifsterkte te rekenen in de beoordeling van klei- en veendijken. Daarvoor moet rekening gehouden worden met cohesieve lagen in en onder de waterkeringen.

Deklaag

Een slecht doorlatende laag waarmee het geheel van oudere afzettingen aan het maaiveld wordt afgedekt.

Dijktraject

Gedeelte van een primaire waterkering dat afzonderlijk genomineerd is.

Dijkvak

Een deel van een waterkering (dijk) met uniforme eigenschappen en belastingen.

Direct Simple Shear proef

Laboratoriumproef om de schuifsterkte en het vervormingsgedrag van de grond te kunnen bepalen. Deze proef is vooral interessant voor onderzoek naar slap materiaal (klei en veen) in gebieden waar het risico van afschuiven moet worden beoordeeld.

D-Soil Model

Softwareprogramma waarmee de ondergrond geschematiseerd kan worden voor de toetssporen macrostabiliteit en piping. De ondergrondschematisering wordt in D-Soil Model compleet opgesteld met sterkteparameters per materiaal.

Dualem

Methode om ondergrondscans te maken door middel van elektromagnetische starling. Met deze techniek kan inzicht verkregen worden in de samenstelling van de bodem. Met de gegevens uit deze techniek kunnen op een relatief eenvoudige en invasieve manier lengteprofielen, dwarsprofielen en 3-D profielen van dijken gegenereerd worden.

Eindige elementen model

Rekenmethode waarmee partiële differentiaalvergelijkingen integraalvergelijkingen en partiële differentiaalvergelijkingen kunnen worden opgelost. Met deze methode kunnen bijvoorbeeld sterkte-eigenschappen van ingewikkelde constructies berekend worden.

Eurocodes

Europese normen voor het toetsen van de constructieve veiligheid van bouwconstructies.

Faaldefinitie

Afspraak over wat in het WBI 2017 als falen wordt beschouwd. De faaldefinitie beschrijft de situatie die in de gedetailleerde toets voor falen van de waterkering wordt aangehouden.

Faalkans

Kans op overschrijden van de uiterste grenstoestand van een waterkering of een onderdeel daarvan. De faaldefinitie legt de uiterste grenstoestand vast.

Faalkansbegroting

Verdeling van de toegestane faalkans over de faalmechanismen. Wordt toegepast in de gedetailleerde toets per vak waarbij een faalkansbegroting wordt voorgeschreven. De faalkansbegroting wordt in de gedetailleerde toets per traject losgelaten.

Faalkanseis per traject

Toelaatbare faalkans voor een dijktraject voor een toetsspoor of combinatie van toetssporen voor een faalkansbegroting afgeleid uit de norm.

Faalkans per vak

Toelaatbare faalkans voor een vak voor een toetsspoor voor een faalkansbegroting en lengte-effect afgeleid uit de norm.

Faalkansruimtefactor

Percentage van de toegestane bijdrage van een bepaald faalmechanisme aan de overstromingskans.

Faalmechanisme

Opeenvolging van gebeurtenissen die leidt tot falen

Freatische lijn

Niveau van de grondwaterspiegel.

Gedetailleerde toets

Toets in de toetsprocedure die uitgaat van een voorgeschreven faaldefinitie en bijbehorend generiek rekenmodel.

Gedetailleerde toets per traject

Toets gebaseerd op modelmatige analyses en generieke rekenregels voor het gehele traject. In deze toets wordt de vaste faalkansverdeling losgelaten.

Gedetailleerde toets per vak

Toets gebaseerd op modelmatige analyses en generieke rekenregels met vaste faalkansverdeling per vak.

Glijvlak

Vlak waarlangs een afschuivende grondmoot afschuift over het stabiele deel van een grondlichaam en waarlangs door de grond schuifsterkte wordt gemobiliseerd.

Glijvlakmodel

Rekenmodel waarmee de weerstand van een grondmoot tegen afschuiven langs een schuifvlak wordt berekend

Grensspanning

Hoogste spanning waaraan de grond in situ (op het terrein) onderworpen is geweest.

Hydraulische belasting

Belasting op de waterkering als gevolg van de lokale waterstand en bijbehorende golven.

Indringingslengte

Verticale afstand aan de onderzijde van de slecht doorlatende deklaag waarover de waterspanning in de deklaag verandert bij waterspanningsvariaties in de watervoerende zandlaag.

Intredepunt

(Theoretisch) punt waar het buitenwater tot de aquifer toetreedt, als gevolg van het verval over de waterkering.

Karakteristieke waarde

Waarde met een voorgeschreven onder- of overschrijdingskans, bepaald op grond van een statische analyse van beschikbare gegevens.

Klasse 1+ sondering

Sonderingen met zeer hoog kwaliteitsniveau. Kwaliteitsniveau van de waarnemingen ligt boven klasse 1 sonderingen.

Korrelverdeling

Verdeling van de korrels naar afmeting in de diverse fracties binnen een korrelgroep.

Kruinhoogte

Hoogte van de waterkering

Legger

Een bij besluit van de waterbeheerder vastgesteld register van waterstaatswerken met daarin per waterstaatswerk de vereiste afmetingen, de onderhoudsplichtigen en onderhoudsverplichtingen.

Leklengte

Lengte waarover een stijghoogteverschil binnen een watervoerende laag halveert als gevolg van stroming naar een relatief slecht doorlatende deklaag.

Lengte-effect

Invloed van variaties van dijk- en ondergrondeigenschappen binnen een dijktraject op de faalkans van dat dijktraject. Deze is gelijk aan de verhouding tussen de faalkans van een “uniform” dijksegment en de faalkans van een dwarsdoorsnede uit datzelfde segment.

LiftVan

Methode waarmee een glijvlakanalyse voor een kering uitgevoerd kan worden waarmee een veiligheidsfactor wordt bepaald. Deze methode gaat uit van een cirkelvormig glijvlak met daartussen een horizontale grondmoot. Voor het cirkelvormige deel wordt het momentenevenwicht geanalyseerd. Voor het rechte (horizontale) deel wordt het horizontale evenwicht beoordeeld. Met dit model kunnen horizontale en cirkelvormige glijvlakken berekend worden (Rijkswaterstaat, 2016).

Macro-instabiliteit

Afschuiven van grote delen van het dijklichaam langs rechte of gebogen glijvlakken, of het verliezen van evenwicht als gevolg van het ontstaan van grote plastische zones.

Macrostabiliteit

Weerstand tegen het optreden van een glijvlak in het talud en de ondergrond.

Macrostabiliteit binnenwaarts

Weerstand tegen het optreden van een glijvlak in het talud en de ondergrond aan de zijde van het achterland.

Materiaalfactor

Partiële factor, die op de karakteristieke materiaalparameter wordt toegepast om onzekerheden in de grondeigenschappen te verdisconteren.

Materiaalmodel

Model voor het karakteriseren van het gedrag van grond.

Modelfactor

Partiële factor waarin onzekerheden in de berekeningsmethodes wordt verdisconteerd.

Norm

Toelaatbare overstromingskans van een dijktraject. Deze wordt uitgedrukt in een ondergrens of een signaleringswaarde.

Normaal geconsolideerde schuifsterkteratio

Wrijvingsparameter voor het karakteriseren van de ongedraineerde schuifsterkte van grond onder normaal geconsolideerde condities. Normaal geconsolideerde grond kenmerkt zich door een grensspanning die gelijk is aan de actuele effectieve verticale spanning. De overconsolidatieratio is 1,0 (Duinen, 2014).

Ondergrenswaarde

Waarde van de overstromingskans van een dijktraject die hoort bij het minimale beschermingsniveau dat de dijk moet bieden.

Ondergrondscenario

Verzameling van WTI-SOS eenheden die binnen segmenten kunnen voorkomen. Per locatie langs een dijk kunnen meerdere scenario's voorkomen. Elk scenario wordt gekoppeld aan een kans op voorkomen van het specifieke scenario op de locatie. Tijdens het beoordelen worden de scenario's verfijnd tot locatie specifieke scenario's.

Ongedraineerde schuifsterkte

Waarde van de schuifsterkte die afhankelijk is van diverse factoren, waaronder de belastinggeschiedenis en de belastingcondities van de grond tijdens ongedraineerde condities. Bij ongedraineerde condities worden waterspanningen in de grond gegenereerd wanneer de schuifweerstand van de grond wordt gemobiliseerd. De door de grond gegenereerde waterspanningen reduceren de schuifsterkte van de grond (Duinen, 2014).

Ongeroerde monsters

Monsters verkregen door boringen waarbij de grond niet omgewoeld is.

Overgeconsolideerd

Verschijnsel dat de grond ooit is geconsolideerd bij een hogere spanning dan de in situ aanwezige spanning.

Overschijdingskans

Kans dat in een bepaalde tijd een bepaald verschijnsel een bepaalde waarde bereikt of overschrijdt.

Overstromingskans

Kans op verlies van het waterkerend vermogen van een dijktraject.

Partiële veiligheidsfactor

Factor die in de berekening van de beoordeling van de veiligheid van de waterkering leidt tot een strengere betrouwbaarheidseis.

Peildatum

Datum waarop het veiligheidsoordeel van de primaire waterkering betrekking heeft.

Pre-overburden pressure

Hoogte druk die door bovenliggende lagen op de grond in situ extra aanwezig is geweest ten opzichte van de huidige situatie.

Primaire waterkering

Waterkering welke beschermt tegen overstroming. Deze kering behoort tot een dijktraject waarvoor een norm is opgenomen in de Waterwet.

Probabilistische toets

Toets waarin de faalkans van een kering wordt bepaald, waarin rekening wordt gehouden met alle ter zake doende onzekerheden.

Proevenverzameling

Verzameling/steekproef van bepaalde gemeten waarden van grondeigenschappen ingedeeld naar geologische/geotechnische formatie.

Raai

Denkbeeldige lijn over water en-of land (rivier, dijk), uitgezet t.b.v. het verrichten van lodingen, metingen, monsternemingen.

RisKeer

Rekenprogramma waarmee, na invoering van de schematisering van een waterkering, met het faalmechanismemodel een analyse van de sterkte van de keringen ten opzicht van de belastingen kan worden uitgevoerd.

Samendrukkingsproef

Laboratoriumproef waarin de consolidatie-eigenschappen van een grondmonster worden bepaald door de verticale belasting op een grondmonster in een aantal stappen te verhogen. Het zettingsverloop in het monster wordt continu geregistreerd. Met de informatie uit deze proef kan de samendrukkingsconstante (C-waarde) en de consolidatiecoëfficiënt (Cv) van het monster worden bepaald.

Scenario

Alle onzekerheden die niet als nette/continue kansverdeling zijn weer te geven, kunnen in de beoordeling als scenario's worden weergegeven, daarbij kan gedacht worden aan onzekerheden in ondergrond en dijkopbouw met de al dan niet daaraan gerelateerde waterspanningen

Schadefactor

Partiële veiligheidsfactor die verband houdt met schade. Deze factor brengt de mate waarin de vereiste betrouwbaarheid afwijkt van het basisbetrouwbaarheidsniveau in rekening

Schematiseringshandleiding

Handleiding waarin voor een of meer toetssporen staat hoe de relevante aspecten geschematiseerd moeten worden om de kering te kunnen beoordelen.

Schuifsterkte

De mobiliseerbare sterkte van de grond langs het schuifvlak.

Schuifsterkteparameters

Parameters benodigd voor het uitvoeren van schuifsterkte analyses (glijvlakanalyse) van een waterkering. Dit zijn: Cohesie c' en hoek van inwendige wrijving φ' (voor gedraineerde schuifsterkte analyses) en de normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkteratio S , de overgeconsolideerde ongedraineerde schuifsterkteratio s_u / σ'_{vd} , de grensspanning s'_{vy} , de overconsolidatieratio OCR en de sterkte toename exponent m (voor ongedraineerde analyses).

Segmentgrens

Grens tussen twee volgens het WTI-SOS opgedeelde segmenten. Elk segment heeft zijn eigen scenario's van mogelijke soorten van grondopbouw.

Semi-probabilistische toets

Toets om te analyseren of de kering voldoet aan de betrouwbaarheidseis op basis van karakteristieke waarden en veiligheidsfactoren.

Signaleringswaarde

Overstromingskans van het dijktraject waarvan overschrijding gemeld moet worden aan de Minister van I en M.

Stabiliteitsfactor

Door een glijvlakanalyse berekende waarde. De stabiliteitsfactor wordt gebruikt om de faalkans van een kering te berekenen.

Standaardafwijking

Maat voor de variatie van de waarde van een stochastische variabele.

Sterktetoename-exponent

Schuifsterkte parameter voor de ongedraineerde schuifsterkte analyse. De sterkte toename exponent bepaalt de mate waarin het effect van de belastinggeschiedenis doorwerkt in de ongedraineerde schuifsterkte (Duinen, 2014).

Stochastische ondergrondschematisatie

Bij de opbouw van de ondergrond is variabel. Deze variabele wordt in WTI-SOS weergegeven in verschillende scenario's met kansen van aantreffen van ieder scenario.

Toets

Onderdeel van de toetsprocedure waarmee bepaald wordt of een vak of een traject voldoet aan de eisen.

Toetsoordeel

Resultaat van een eenvoudige toets, gedetailleerde toets of een toets op maat.

Toetsoordeel per vak

Resultaat van een toetsspoor per vak.

Toetsoordeel per traject

Resultaat van een toetsspoor of combinatie van toetssporen voor een dijktraject.

Toets op maat

Toets op basis van een analyse/analyses die in een specifieke situatie beter aansluiten bij de lokale situatie.

Toetsspoor

De wijze waarop een mechanisme of een onderdeel van de waterkering wordt beoordeeld.

Toetsvoorschrift

Beschrijving van de manier voor het bepalen van een toetsoordeel. De voorschriften bevatten de beoordeling per toetsspoor.

Toplaag

Buitenste verdedigingslaag van een taludbekleding

Triaxiaalproef

Laboratoriumproef waarmee de schuifsterkte en het vervormingsgedrag van grondmonsters wordt bepaald.

Vak

Dijkdoorsnede, duinenraai of kunstwerk.

Variatiecoëfficiënt

Quotiënt van de standaarddeviatie en de verwachtingswaarde

Veiligheidsoordeel

Oordeel over de veiligheid tegen overstromen van het dijktraject

Verwachtingswaarde

Verwachte uitkomst van het gemiddelde.

Waternet Creator

Onderdeel van het rekenprogramma RisKeer voor het uniform schematiseren van waterspanningen.

Waterspanning

Druk van het grondwater in de grond.

Waterstand bij de norm

Maatgevende waterstand met een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de overstromingskans.

Waterstandsverlooplijn

Lijn welke het verloop van de waterstand in de tijd weergeeft.

Watersysteem

Het geheel aan dijken, gemalen, rivieren, sloten en kanalen dat ons beschermt tegen overstromingen en dat zorgt voor de gewenste aan- en afvoer van water.