

Primaire veiligheid voor regionale waterkeringen



Een onderzoek naar de toepassing van het WBI2017 op regionale waterkeringen

Mike van Heukelum | Sander Ottevanger

RPS advies- en ingenieursbureau bv



TITELBLAD

Titel	<i>Primaire veiligheid voor regionale waterkeringen</i>
Ondertitel	<i>Een onderzoek naar de toepassing van het WBI2017 op regionale waterkeringen</i>
Auteurs	<i>M.L. (Mike) van Heukelum</i> <i>2088292</i> <i>Civil Technisch Ontwerpen</i> <i>ml.vanheukelum@student.avans.nl</i> <i>S. (Sander) Ottevanger</i> <i>2090063</i> <i>Civil Technische Bedrijfskunde</i> <i>ottevangersander@gmail.com</i>
Afstudeerperiode	<i>februari 2018 – juni 2018</i>
Opdrachtgever	<i>RPS advies- en ingenieursbureau bv</i>
Bedrijfsbegeleider	<i>Ing. S. Essink</i>
Plaats	<i>Delft</i>
Onderwijsinstelling	<i>Avans Hogeschool</i>
1^e beoordelaar	<i>Ing. A. Scheepers</i>
2^e beoordelaar	<i>Ir. R.J.G. Vincken</i>
Opleiding	<i>Civiele Techniek</i>
Afstudeeratelier	<i>CT Waterbouw</i>
Plaats	<i>'s-Hertogenbosch</i>
Datum	<i>14 juni 2018</i>
Versienummer	<i>1.0</i>
Status	<i>Definitief</i>
Plaats	<i>Delft</i>

I. SAMENVATTING

De inhoud van het rapport 'Primaire veiligheid voor regionale waterkeringen' betreft een onderzoek naar de toepassing van het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017 (WBI) op de toetsing van regionale waterkeringen, conform de Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen 2015 (LTVRW). Het WBI is het instrumentarium dat wordt gebruikt voor het beoordelen van primaire waterkeringen. De LTVRW is de leidraad die wordt gebruikt voor de beoordeling van regionale waterkeringen. Elementen uit het WBI kunnen van toegevoegde waarde zijn, omdat het WBI voorziet in de nieuwste ontwikkelingen. De LTVRW is grotendeels gebaseerd op verouderde inzichten en voorziet daarom niet in de nieuwste ontwikkelingen. De hoofdvraag van dit adviesrapport luidt:

Welke elementen uit het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017 kunnen geïmplementeerd worden in de toetsing van regionale waterkeringen?

De regionale waterkeringen zijn voorzien van een veiligheidsnorm die uitgedrukt wordt in een overschrijdingskans. Dit is de kans op overstromen door het overschrijden van een bepaalde waterstand. De toetsing in de LTVRW is opgebouwd uit een eenvoudige beoordeling, een gedetailleerde beoordeling en een geavanceerde beoordeling. Daarnaast wordt er een beheerdersoordeel opgesteld. Hierin maakt de beheerder een inschatting van de veiligheidstoestand van de waterkering, op basis van praktijkervaringen. Aan de hand van deze beoordelingen wordt vervolgens bepaald of de regionale waterkering het veiligheidsoordeel 'voldoet' of 'voldoet niet' krijgt. Voor alle relevante faalmechanismen wordt de toetsing uitgevoerd.

Primaire waterkeringen zijn onderverdeeld in trajecten. Voor deze trajecten is een overstromingskans bepaald. De overstromingskans is de kans op doorbraak van een waterkering die leidt tot daadwerkelijke overstroming van het achterliggende gebied. Het beoordelingsproces in het WBI bestaat uit een algemeen filter, een eenvoudige toets, een gedetailleerde toets en een toets op maat. Ieder faalmechanisme wordt beoordeeld. Uiteindelijk wordt er een eindoordeel gegeven met behulp van categorieën. De categorieën geven aan in welke veiligheidstoestand de waterkering zich bevindt.

De volgende verschillen, tussen het WBI en de LTVRW, zijn nuttig voor implementatie: de normering, de toetssporen voor alle faalmechanismen en de eindbeoordeling. Bij de toetssporen voor alle faalmechanismen behoort ook de schematisering, inclusief bodemopbouw, van de waterkering die nodig is voor het uitvoeren van de toetsing. Dit onderzoek gaat in op de toetssporen piping, macrostabiliteit binnenwaarts en macrostabiliteit buitenwaarts. Deze toetssporen zijn gekozen, omdat de veiligheid van een waterkering vooral door deze faalmechanismen wordt beïnvloed. Voor deze toetssporen, inclusief de normering, schematisering en de eindbeoordeling, zijn op detailniveau verschillen bepaald. Hieruit zijn 16 elementen tot stand gekomen, die mogelijk in de LTVRW geïmplementeerd kunnen worden.

De elementen zijn gerangschikt met behulp van een multicriteria analyse (MCA). De MCA is opgebouwd uit vier criteria met een weging, namelijk: effectief (50%), tijdbesparend (10%), invloed implementatie (15%) en toekomstgericht (25%). De 8 elementen die hoog eindigen in de rangschikking zijn getest in een casestudy. Dit zijn de elementen: eindbeoordeling, toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts, toetsspoor macrostabiliteit buitenwaarts, toetsspoor piping en bodemopbouw. De toetssporen bestaan uit twee delen: een eenvoudige en een gedetailleerde beoordeling. De implementatie van de 8 elementen wordt in de volgende paragrafen toegelicht.

De wijze om te komen tot een eindbeoordeling, zoals in het WBI, is eenvoudig te implementeren in de LTVRW. Het samenvoegen van de toetsresultaten, om te komen tot een eindbeoordeling,

wordt assembleren genoemd. Het effect van de implementatie is dat er direct kan worden geconstateerd in hoeverre de waterkering wel of niet voldoet. Het toetsresultaat wordt hierdoor effectiever, omdat er meer informatie gekoppeld is aan het eindoordeel. Om het element volledig te benutten, dienen de faalkansbegroting, het lengte-effect en de overstromingskansbenadering toegepast te worden. Het gevolg hiervan is dat er een nauwkeurigere categorie-indeling ontstaat en er op efficiëntere manieren gecombineerd kan worden.

Het toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts bestaat uit twee elementen, namelijk de eenvoudige en de gedetailleerde toets. De eenvoudige toets kan resulteren in het verder beoordelen met andere toetssporen in het WBI. Deze zijn opgesteld voor specifieke situaties, wat betekent dat er efficiënter getoetst kan worden. De implementatie van de gedetailleerde toets levert een realistischere benadering op doordat het lengte-effect wordt toegepast. Ook de faalkansbegroting heeft een positief effect. De faalkansbegroting zorgt voor een economisch beheersbaardere toetsing. Echter zijn de parameters van het lengte-effect en de faalkansbegroting uit het WBI, niet zonder meer over te nemen voor regionale waterkeringen.

Het toetsspoor macrostabiliteit buitenwaarts komt in het WBI overeen met het toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts. De effecten van de implementatie zijn daarom hetzelfde. Echter wordt in het WBI rekening gehouden met het feit dat macrostabiliteit buitenwaarts een indirect faalmechanisme is, waardoor de eis minder streng wordt. Dit levert een realistischere beoordeling op en is daarom van toegevoegde waarde voor de LTVRW. De eenvoudige toets uit het WBI heeft geen toegevoegde waarde, omdat de LTVRW al passende criteria bevat.

Het toetsspoor piping bevat ook twee elementen, namelijk de eenvoudige toets en de gedetailleerde toets. De eenvoudige toets in het WBI bestaat uit eenvoudige beslisregels, waardoor de toets makkelijk uit te voeren is. Echter wordt hierdoor sneller naar de gedetailleerde toets overgegaan. De gedetailleerde toets bevat, net als bij macrostabiliteit, het lengte-effect en de faalkansbegroting. Dit brengt dezelfde effecten met zich mee. Verder wordt per deelfaalmechanisme een stabiliteitsfactor bepaald met behulp van formules. Deze zijn ontwikkeld voor primaire waterkeringen. Daarom kunnen deze niet zonder meer worden toegepast in de LTVRW. Wel zijn in de berekeningen van de deelfaalmechanismen nieuwe ontwikkelingen toegepast, die zorgen voor een betrouwbaardere toetsing.

Het element bodemopbouw houdt in dat er met WTI-SOS wordt gewerkt. Dit is een methode om de ondergrond te schematiseren aan de hand van scenario's. Hierdoor worden onzekerheden weggenomen, omdat er rekening wordt gehouden met elk scenario. Doordat onzekerheden worden weggenomen, ontstaat er een betrouwbaardere toetsing. In de LTVRW worden deze schematiseringonzekerheden opgenomen in de schematiseringsfactor. Deze hoeft daarom ook niet meer berekend te worden. De SOS-systematiek kan er ook voor dienen om ondergrondgegevens op te slaan. Hierbij wordt data gekoppeld aan een bepaald stuk van een waterkering. Bij iedere nieuwe toetsronde kunnen deze gegevens worden gebruikt.

De acht elementen die onderzocht zijn in de casestudy, kunnen geïmplementeerd worden in de toetsing van regionale waterkeringen. Daarnaast wordt verwacht dat de acht elementen die niet nader onderzocht zijn in de casestudy, ook van toegevoegde waarde zijn voor de toetsing.

II. VOORWOORD

Het voorliggend document betreft de afstudeerscriptie van Mike van Heukelum en Sander Ottevanger. Het onderzoek wat beschreven staat in dit adviesrapport, is uitgevoerd in opdracht van RPS advies- en ingenieursbureau bv. Met dit onderzoek ronden wij de opleiding Civiele Techniek aan de Avans Hogeschool af. In de periode februari tot juli 2018 hebben wij gewerkt aan het onderzoek en het schrijven van deze scriptie.

Samen met onze bedrijfsbegeleider, Sake Essink, is de onderzoeksvraag voor deze scriptie geformuleerd. De onderzoeksvraag gaf ons de ruimte om onze eigen richting aan het onderzoek te geven. Door het uitvoeren van een gedegen literatuuronderzoek hebben we een goede basis gevormd voor het beantwoorden van de hoofdvraag. Samen met de vooraf bepaalde onderzoeksmethodiek heeft dit geleid tot het resultaat wat in deze scriptie beschreven staat. Het literatuuronderzoek en de onderzoeksmethodiek zijn van grote waarde geweest gedurende het onderzoek.

Vanaf deze plaats willen wij alle personen bedanken die ons, in wat voor mate dan ook, geholpen hebben met het bereiken van voorliggend resultaat. In de eerste plaats bedanken wij onze bedrijfsbegeleider Sake Essink, die ons gedurende het onderzoek op een goede manier begeleid heeft. Hij heeft ons geholpen en gestuurd in het gehele proces, waardoor de focus steeds lag op de belangrijkste onderdelen van het onderzoek. Daarnaast bedanken wij onze eerste begeleider Anco Scheepers voor de begeleiding vanuit school en het geven van opbouwende feedback. Datzelfde geldt voor de tweede begeleider René Vincken.

Tevens willen wij de collega's van RPS Delft bedanken voor de fijne samenwerking. Wanneer wij hulp of uitleg nodig hadden, wilden zij ons altijd voorzien van de benodigde informatie. In de laatste plaats bedanken wij onze familie en vrienden voor de praktische en morele ondersteuning gedurende de afstudeerperiode.

Wij wensen u veel leesplezier!

*Mike van Heukelum
Sander Ottevanger*

Delft, 14 juni 2018

INHOUDSOPGAVE

I.	SAMENVATTING.....	3
II.	VOORWOORD.....	5
	FIGUREN- EN TABELLENLIJST.....	7
	BEGRIPPENLIJST.....	8
1.	INLEIDING	10
2.	ONDERZOEKSMETHODE	11
2.1	DOEL VAN HET ONDERZOEK.....	11
2.2	METHODE VAN ONDERZOEK.....	11
2.3	DOELGROEP.....	13
3.	REGIONALE WATERKERINGEN.....	14
3.1	ALGEMEEN	14
3.2	LEIDRAAD TOETSEN OP VEILIGHEID REGIONALE WATERKERINGEN 2015.....	15
3.3	TOETSPROCEDURE	16
3.4	PRAKTIJKSTUDIE	18
4.	PRIMAIRE WATERKERINGEN.....	22
4.1	ALGEMEEN	22
4.2	WETTELIJK BEOORDELINGSINSTRUMENTARIUM 2017.....	23
4.3	BEOORDELINGSPROCEDURE.....	24
4.4	PRAKTIJKSTUDIE	27
5.	VERSCHILLEN TUSSEN REGIONALE EN PRIMAIRE WATERKERINGEN	31
5.1	VERGELIJKING	31
5.2	VERSCHILANALYSE.....	31
5.3	TOEKOMSTBEELD REGIONALE WATERKERINGEN.....	34
6.	BEPALEN VAN WBI-ELEMENTEN	36
6.1	AFWEGINGSPROCES	36
6.2	RESULTATEN BEPALING ELEMENTEN	37
6.3	MULTICRITERIA ANALYSE.....	37
6.4	INNOVATIEVE TOETSINGSMETHODE	40
7.	IMPLEMENTATIE WBI-ELEMENTEN	45
7.1	ELEMENT 16 – EINDBEOORDELING.....	45
7.2	ELEMENT 11 & 12 – TOETSSPOOR MACROSTABILITEIT BINNENWAARTS	47
7.3	ELEMENT 13 & 14 – TOETSSPOOR MACROSTABILITEIT BUITENWAARTS.....	51
7.4	ELEMENT 9 & 10 – TOETSSPOOR PIPING	51
7.5	ELEMENT 4 – BODEMOPBOUW.....	54
8.	CONCLUSIE.....	59
8.1	DEELVRAGEN	59
8.2	HOOFDVRAAG	60
8.3	VERDERGAANDE CONCLUSIES	61
9.	DISCUSSIE & AANBEVELINGEN	62
9.1	DISCUSSIE EN AANBEVELING NADER ONDERZOEK.....	62
9.2	AANBEVELING AAN RPS	63
	BIBLIOGRAFIE	65
	BIJLAGEN.....	66

FIGUREN- EN TABELLENLIJST

Figuur 2-1 Schematisatie methodisch onderzoek.....	12
Figuur 3-1 Tijdlijn regionale waterkeringen over de periode 1993-heden.....	15
Figuur 3-2 Schematisatie algemene beoordelingswijze.....	17
Figuur 3-3 Mogelijkheden afweging beoordelingen.....	18
Figuur 3-4 Eindbeoordeling waarbij alle toetssporen voldoen.....	18
Figuur 3-5 Ligging polder Broekerveer.....	19
Figuur 4-1 Signaleringswaarde en ondergrens.....	23
Figuur 4-2 Beoordelingsproces op hoofdlijnen.....	24
Figuur 4-3 Voorbeeld faalkansbegroting.....	26
Figuur 4-4 Principe lengte-effect.....	26
Figuur 4-5 Assembleren.....	27
Figuur 4-6 Traject 14-2 Delflandsedijk.....	28
Figuur 6-1 Afwegingsproces.....	36
Figuur 7-1 Stappenplan casestudy eindbeoordeling.....	45
Figuur 7-2 Stappenplan casestudy toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts.....	48
Figuur 7-3 Stappenplan toetsspoor piping.....	51
Figuur 7-4 Stappenplan casestudy implementatie element 4.....	54
Figuur 7-5 Locaties veldonderzoek.....	55
Figuur 7-6 SOS-segment en scenario's.....	56
Tabel 3-1 Normering regionale waterkeringen.....	16
Tabel 3-2 Eindoordeel per sectie.....	21
Tabel 4-1 Faalkansbegroting.....	26
Tabel 4-2 Faalkans per toetsspoor.....	29
Tabel 4-3 Faalkans per toetsspoor.....	30
Tabel 4-4 Bepaling categorieën.....	30
Tabel 4-5 Uitkomst stap 3.....	30
Tabel 5-1 Opzet vergelijkingstabel.....	31
Tabel 6-1 Resultaten bepaling elementen.....	37
Tabel 6-2 Weging per criterium.....	39
Tabel 6-3 Niveaus score toekenning.....	39
Tabel 6-4 Uitkomst MCA.....	39
Tabel 6-5 Rangschikking elementen.....	40
Tabel 6-6 Categorieën van het veiligheidsoordeel.....	41
Tabel 7-1 Implementatiemodel eindbeoordeling.....	45
Tabel 7-2 Categoriewaarden voor Sectie BR_01 t/m BR_04 en BR_05 t/m BR_10.....	46
Tabel 7-3 Resultaten na toepassen element 16.....	46
Tabel 7-4 Eenvoudige toets macrostabiliteit binnenwaarts.....	48
Tabel 7-5 Lengte-effectfactor (N) macrostabiliteit binnenwaarts.....	48
Tabel 7-6 Faalkanseis (P _{eis}) macrostabiliteit binnenwaarts.....	49
Tabel 7-7 Vereiste stabiliteitsfactoren macrostabiliteit binnenwaarts.....	49
Tabel 7-8 Gedetailleerde toets macrostabiliteit binnenwaarts.....	49
Tabel 7-9 Eenvoudige toets piping.....	52
Tabel 7-10 Lengte-effectfactor (N) piping.....	52
Tabel 7-11 Faalkanseis (P _{eis}) piping.....	52
Tabel 7-12 Gedetailleerde toets piping.....	53
Tabel 7-13 Kans van voorkomen grondsoorten.....	56
Tabel 7-14 Kans van voorkomen per scenario.....	57

BEGRIPPENLIJST

Begrip	Uitleg
<i>Assembleren</i>	Het (verstandig) combineren van de toetsoordelen waaruit een veiligheidsoordeel tot stand komt.
<i>Belastingmodel</i>	De manier waarop rivieraafvoer, getijden, wind, meerpeil en toestand van de waterkering worden omgezet naar een hydraulische belasting.
<i>Belastingparameter DGRW</i>	Duur, richting en hoogte van combinaties van waterstanden en golven. Directoraat-Generaal Ruimte en Water
<i>Droogtegevoeligheid</i>	Een laag veen of sterk humeuze klei is gevoelig voor verdrogen tijdens een langdurige droogte.
<i>Faalkans</i>	Kans op overschrijden van de grenstoestand van een waterkering.
<i>Faalkanseis</i>	Toelaatbare faalkans voor een dijktraject of dijkvak.
<i>Faalmechanisme</i>	Een mechanisme waardoor een waterkering kan falen.
<i>Freatische lijn</i>	Niveau van de grondwaterspiegel in een grondlichaam.
<i>GEKB</i>	Toetsspoor grasbekleding kruin en binnentalud
<i>HHNK</i>	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.
<i>HT</i>	Toetsspoor hoogte
<i>Hydraulische belasting</i>	Belasting op de waterkering als gevolg van de lokale waterstand en bijbehorende golven.
<i>ILT</i>	Inspectie Leefomgeving en Transport
<i>Indringingslengte</i>	De verticale lengte waarover de waterspanningsvariaties in het watervoerend pakket van betekenis zijn voor de waterspanningen in het samendrukbare pakket.
<i>IPO</i>	Interprovinciaal Overleg
<i>Leklengte</i>	Lengte waarover een stijghoogteverschil binnen een watervoerende laag halveert als gevolg van stroming naar een relatief slecht doorlatende deklaag (piping en stabiliteit toplaag steenzettingen).
<i>Lengte-effect</i>	Lengte-effect houdt rekening met het feit dat de kans dat het ergens in een dijktraject misgaat, groter is dan de kans dat het op één specifieke plek misgaat. Dit komt omdat de sterkte van de dijk onzeker is en ruimtelijk variabel.
<i>LTVRW</i>	Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen
<i>Modelfactor</i>	Partiële factor waarin onzekerheden in de berekeningsmethodes zijn verdisconteerd.
<i>Partiële factor</i>	Factor waarmee een representatieve waarde vermenigvuldigd (of gedeeld) wordt ter verkrijging van de rekenwaarde. De partiële factoren dienen om onzekerheden in belastingen, materiaaleigenschappen, rekenmethodes, gevolgen van falen en de overschrijdingskans van grenstoestanden in rekening te brengen.
<i>Schadefactor</i>	Partiële materiaalfactor die verband houdt met schade, die in rekening brengt in welke mate de vereiste betrouwbaarheid afwijkt van het basisbetrouwbaarheidsniveau.
<i>Schematiseringsfactor</i>	Partiële veiligheidsfactor die de onzekerheden in de schematisering van een waterkering verdisconteert en terugbrengt naar een gewenst of vereist veiligheidsniveau.

<i>Stabiliteitsfactor</i>	De verhouding tussen sterkte en belasting (veelal in een stabiliteitsberekening van een waterkering).
<i>STBI</i>	Toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts
<i>STBK</i>	Toetsspoor stabiliteit bekleding
<i>STBU</i>	Toetsspoor macrostabiliteit buitenwaarts
<i>STMI</i>	Toetsspoor microstabiliteit
<i>STOWA</i>	Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kenniscentrum van regionale waterbeheerders.
<i>STPH</i>	Toetsspoor piping
<i>STVL</i>	Toetsspoor stabiliteit voorland
<i>Toetsspoor</i>	De wijze waarop een mechanisme of een onderdeel van de waterkering wordt beoordeeld.
<i>VLAF</i>	Toetsspoor afschuiving voorland
<i>VTV</i>	Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006
<i>WTI</i>	Wettelijk Toetsinstrumentarium
<i>WTI-SOS</i>	WTI-Stochastische Ondergrond Schematisatie

1. INLEIDING

‘Stilstand is achteruitgang’. Een bekende uitdrukking die gebruikt wordt om aan te geven dat blijven ontwikkelen essentieel is om de concurrentie voor te blijven. Gebruik maken van de laatste ontwikkelingen is daarbij van groot belang. Het toetsingssysteem van regionale waterkeringen bevindt zich in dezelfde situatie: de kennisontwikkeling rondom de toetsing van primaire waterkeringen gaat razendsnel, maar het toetsingssysteem van regionale waterkeringen blijft daarbij achter. Deze situatie wordt erkend door beheerders van regionale waterkeringen: ‘Het is goed om de toetsingsmethodiek van het regionale systeem tegen het licht te houden’ (STOWA, 2017).

Het onderzoek, wat beschreven staat in de hiernavolgende hoofdstukken, is uitgevoerd in opdracht van RPS advies- en ingenieursbureau bv. Binnen de afdeling Waterbouw en Waterveiligheid worden toetsingen uitgevoerd van zowel primaire als regionale waterkeringen. Sinds 2017 worden de primaire waterkeringen getoetst conform het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI). Naast deze primaire waterkeringen zijn er ook regionale waterkeringen. Deze worden getoetst conform de Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen 2015 (LTVRW).

De ontwikkeling van het WBI heeft jaren geduurd en daarbij zijn veel grote onderzoeken uitgevoerd. De invulling van deze toetsing is daarom gebaseerd op de laatste inzichten en onderzoeken. De LTVRW is grotendeels gebaseerd op verouderde inzichten en benaderingen. In de dagelijkse praktijk voldoet deze toetsing wel, maar door de verouderde opzet van de toetsing bestaat de kans dat de toetsingsmethodiek verbeterd kan worden. Op grotere schaal is het doel om de waterveiligheid in Nederland te verbeteren. Voor RPS is het doel om inzicht te krijgen in de mogelijkheden om innovatief om te gaan met de beschikbare kennis uit het WBI. Deze innovatieve toepassing richt zich op elementen die geïmplementeerd kunnen worden in de toetsing van de regionale waterkeringen. De hoofdvraag van dit onderzoek luidt daarom als volgt:

Welke elementen uit het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017 kunnen geïmplementeerd worden in de toetsing van regionale waterkeringen?

Het antwoord op de hoofdvraag wordt gevonden door zeven deelvragen te beantwoorden. Deze deelvragen staan beschreven in hoofdstuk 2, waar de onderzoeksmethode wordt besproken. Daarnaast wordt in het hoofdstuk het doel en de doelgroep van het onderzoek toegelicht. In de hoofdstukken 3 en 4 wordt achtergrondinformatie gegeven van de regionale en primaire waterkeringen. Deze achtergrondinformatie richt zich op algemene zaken en de methode van toetsen. Daarnaast bevatten de hoofdstukken een praktijkstudie om op een praktische wijze weer te geven hoe de toetsing van een waterkering in zijn werk gaat. In hoofdstuk 5 worden de verschillen bepaald tussen de regionale en primaire waterkeringen. Deze verschillen worden bepaald aan de hand van overzichtelijke vergelijkingstabellen. Vervolgens worden de verschillen kort toegelicht. Als laatste wordt in het hoofdstuk het toekomstbeeld geschetst van de regionale waterkeringen. Hoofdstuk 6 gaat verder in op de verschillen in toetsingsmethode tussen de regionale en primaire waterkeringen. In het hoofdstuk worden de elementen bepaald en afgewogen met behulp van een multicriteria analyse. De elementen met de meeste toegevoegde waarde worden daarna verder uitgewerkt. In hoofdstuk 7 worden de uitgewerkte elementen geïmplementeerd in de toetsingsmethode van de regionale waterkeringen. Om de effecten te bepalen, wordt er gebruik gemaakt van een casestudy. Op basis van de casestudy en de beschreven effecten, is onderzocht of er sprake is van trendbreuk. Het adviesrapport sluit af met de conclusie en de aanbevelingen.

2. ONDERZOEKSMETHODE

In dit hoofdstuk worden de onderzoeksmethoden voor de verschillende deelvragen toegelicht. Deze deelvragen zijn opgesteld om een goed antwoord te formuleren op de hoofdvraag. De eerste paragraaf geeft het doel van het gehele onderzoek weer, waarmee ook de basis gelegd wordt voor de onderzoeksrichting. Vervolgens wordt de methode van onderzoek toegelicht. Hierbij komt de hoofdvraag aan de orde, de deelvragen worden weergegeven en als laatste wordt de onderzoeksmethode per deelvraag toegelicht. In de derde paragraaf wordt de doelgroep van dit adviesrapport beschreven.

2.1 Doel van het onderzoek

Het uiteindelijke doel van het onderzoek is om te achterhalen welke elementen uit het WBI toegepast kunnen worden in de toetsing van regionale waterkeringen. De elementen uit het WBI kunnen namelijk van toegevoegde waarde zijn voor de toetsing van regionale waterkeringen. Enerzijds omdat het WBI een nieuw ontwikkelde toetsing is, anderzijds omdat de LTVRW verouderd is en daarom ook (mogelijk) gebaseerd is op verouderde inzichten. De toetsing van regionale waterkeringen kan door de implementatie verbeterd worden, waardoor de waterkeringbeheerder beter inzicht heeft in de veiligheid van de waterkering.

RPS heeft hier in het bijzonder baat bij, omdat zij toetsingen uitvoeren voor diverse waterschappen die regionale waterkeringen in het beheer hebben. Door de kennisontwikkeling, wat centraal staat in dit onderzoek, kan RPS hun opdrachtgevers adviseren over een innovatieve, verbeterde toetsingsmethode.

2.2 Methode van onderzoek

2.2.1 Hoofdvraag

Het onderzoek is met behulp van verschillende onderzoeksmethoden uitgewerkt. Deze methoden dragen er aan bij om de hoofdvraag op een zo goed mogelijk wijze te beantwoorden. De hoofdvraag luidt:

Welke elementen uit het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017 kunnen geïmplementeerd worden in de toetsing van regionale waterkeringen?

2.2.2 Deelvragen

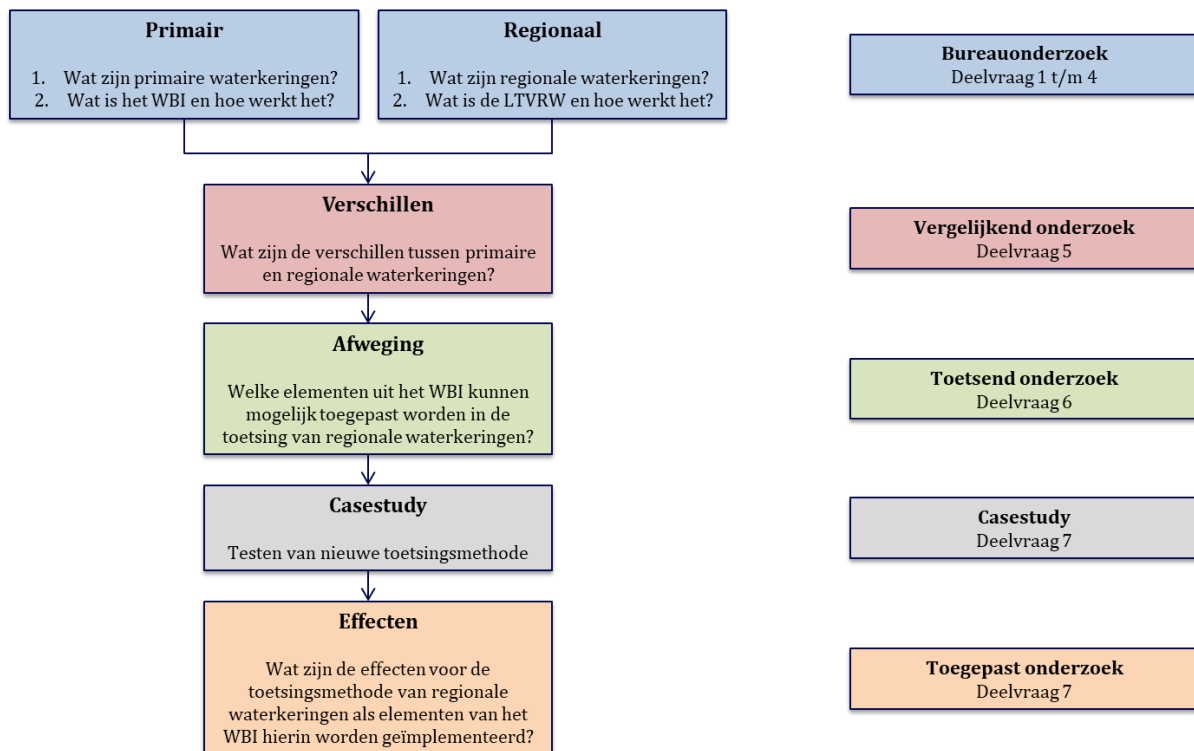
Voorafgaand aan het onderzoek zijn er deelvragen opgesteld, waarmee de hoofdvraag beantwoord kan worden. Alle deelvragen hebben direct betrekking op de hoofdvraag. De deelvragen zijn:

1. Wat zijn primaire waterkeringen?
2. Wat zijn regionale waterkeringen?
3. Wat is het WBI en hoe werkt het?
4. Wat is de LTVRW en hoe werkt het?
5. Wat zijn de verschillen tussen primaire en regionale waterkeringen?
6. Welke elementen uit het WBI kunnen mogelijk toegepast worden in de toetsing van regionale waterkeringen?
7. Wat zijn de effecten voor de toetsingsmethode van regionale waterkeringen als elementen van het WBI hierin worden geïmplementeerd?

2.2.3 Onderzoeksmethode per deelvraag

De deelvragen zijn uitgewerkt met behulp van verschillende onderzoeksmethoden. Deze methoden hebben elk hun eigen karakter en doel, waardoor de hoofdvraag op de juiste manier beantwoord kan worden. Per deelvraag is er een onderzoeksmethode toegepast die geschikt is voor het uitwerken van de deelvraag. Dit proces kan het beste weergegeven worden met het

schema dat is opgenomen in Figuur 2-1. Vervolgens worden de verschillende onderzoeksmethoden kort toegelicht.



Figuur 2-1 Schematisatie methodisch onderzoek

Deelvraag 1 t/m 4

De eerste vier deelvragen worden beantwoord met behulp van het bureauonderzoek. Dit is een vorm van onderzoek waarbij informatie verzameld wordt die al door anderen is gegenereerd. Dit kan informatie zijn uit literatuur, onderzoeken of databases. Deze vorm van onderzoek heeft ook relatie met fundamenteel onderzoek, waarbij het doel is om zoveel mogelijk kennis op te doen van een bepaald onderwerp.

Het resultaat van het bureauonderzoek is het literatuuronderzoek dat in bijlage 1 is opgenomen. Dit literatuuronderzoek geeft een zeer uitgebreide beschrijving van de antwoorden op de deelvragen 1 t/m 4. Dit heeft vervolgens gediend om de hoofdstukken 3 en 4 van dit adviesrapport op te stellen. Als afsluiting van het bureauonderzoek heeft er een praktijkstudie plaatsgevonden. Deze studie is er op gericht om de beschreven theorieën beter te begrijpen.

Deelvraag 5

In deelvraag 5 worden de verschillen tussen de primaire en regionale waterkeringen vastgesteld, met de verschillende toetsingsmethoden. Dit wordt gedaan met behulp van vergelijkend onderzoek. Hierbij 'vergelijk je twee of meer groepen/situaties met elkaar om conclusies te kunnen trekken' (Scribbr).

Om een zo betrouwbaar mogelijke vergelijking te maken, is er gebruik gemaakt van vergelijkingstabellen. Deze tabellen worden beschreven in hoofdstuk 5 van dit adviesrapport. In deze tabellen is de kennis uit het literatuuronderzoek opgenomen en worden de toetsingsmethoden onderling vergeleken.

Deelvraag 6

De afweging die gemaakt wordt voor het beantwoorden van deelvraag 6, is gebaseerd op toetsend onderzoek. Bij dit type onderzoek 'ontstaat op basis van theorieën een bepaalde verwachting' (Scribbr). Deze verwachting wordt vervolgens getoetst door onderzoek te doen.

In hoofdstuk 6 wordt uitgewerkt hoe er invulling gegeven wordt aan dit type onderzoek. Op basis van dit toetsende onderzoek is ook vastgesteld dat de scope verkleind wordt tot drie faalmechanismen, inclusief eindbeoordeling. Deze onderwerpen worden vervolgens gedetailleerd uitgewerkt tot elementen, waarna deze gerangschikt worden met behulp van een multicriteria analyse. Ook zal hierin het aspect duurzaamheid worden meegenomen.

Deelvraag 7

De laatste deelvraag is beantwoord met behulp van toegepast onderzoek en een casestudy. Bij toegepast onderzoek 'doe je onderzoek voor de praktijk' (Scribbr). Dit is tevens de laatste stap om de hoofdvraag te beantwoorden. In deze vorm van onderzoek worden er namelijk ook conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan. Een andere vorm van toegepast onderzoek is het opleveren van een methode die in de praktijk gebruikt kan worden.

Hoofdstuk 7 behandelt deze vorm van onderzoek en geeft daarmee antwoord op deelvraag 7. Vanuit de casestudy wordt de haalbaarheid bepaald van de implementatie van elementen en vervolgens zijn de effecten van deze implementatie bepaald. Vanuit deze effecten zijn conclusies getrokken en aanbevelingen gegeven.

2.3 Doelgroep

Dit adviesrapport is geschreven met redelijke voorkennis over waterkeringen en faalmechanismen. Om dit rapport goed te begrijpen, is kennis over deze onderwerpen daarom noodzakelijk. Het taalgebruik is zo eenvoudig mogelijk gehouden, zodat het rapport gemakkelijk leesbaar is. Daarnaast worden belangrijke begrippen, waar nodig, toegelicht en vermeld in de begrippenlijst. Het publiek, dat voor ogen gehouden is tijdens het schrijven, bestaat uit medestudenten van de opleiding Civiele Techniek.

3. REGIONALE WATERKERINGEN

Dit hoofdstuk bevat een uiteenzetting over regionale waterkeringen en de bijbehorende toetsingsmethode. Voor uitgebreide informatie over de onderwerpen die in dit hoofdstuk beschreven worden, wordt verwezen naar het literatuuronderzoek dat opgenomen is in bijlage 1 – deel B.

In de eerste paragraaf wordt algemene informatie gegeven over regionale waterkeringen, zoals een definitie, de functie én het beheer en toezicht. De tweede paragraaf gaat in op de toetsingsmethode, waarbij ook de normering aan de orde komt. Vervolgens wordt de methode van toetsen, volgens de LTVRW, verder uitgewerkt. De laatste paragraaf bevat een praktijkvoorbeeld, dat als doel heeft om de beschreven theorie te verduidelijken.

3.1 Algemeen

3.1.1 Definitie

Een regionale waterkering is een niet-primaire waterkering, die voorzien is van een veiligheidsnorm en bescherming biedt tegen regionale wateren. Bij regionale wateren kan gedacht worden aan kanalen en boezems.

3.1.2 Functie

De belangrijkste functie van een regionale waterkering is het keren van water uit de binnenwateren. Binnen de verzameling van regionale waterkeringen kan er nog een verdere onderverdeling gemaakt worden naar functie en locatie. Daarin zijn er in hoofdzaak 3 groepen te onderscheiden:

- 1) Keringen die buitenwater keren (bijvoorbeeld: voorlandkeringen en zomerkades)
- 2) Keringen die ander water keren (bijvoorbeeld: boezemkaden en kanaaldijken)
- 3) 'Droge' keringen (bijvoorbeeld: secundaire dijken en compartimenteringsdijken)

Naast de genoemde primaire functie zijn er nog enkele bijkomende functies, die vaak in verband staan met de belangen van een waterschap, provincie of gemeente. Zo zijn er (vaak) wegen op dijken, zijn er aanlegplaatsen voor scheepvaart en is er bebouwing aanwezig. Een regionale waterkering kan daarnaast ook een belangrijke functie hebben tijdens calamiteiten.

3.1.3 Beheer en toezicht

In hoofdzaak zijn er vier partijen die verantwoordelijk zijn voor het beheer en/of toezicht. Deze partijen worden hier kort toegelicht.

Provincie

De provincie heeft verschillende taken rondom de regionale waterkeringen. Allereerst houdt de provincie toezicht op de waterschappen. Daarnaast is de provincie verantwoordelijk voor het aanwijzen van een regionale waterkering en om deze vervolgens te voorzien van een norm.

Waterschap

Het waterschap heeft een belangrijke taak in het beheer van de regionale waterkeringen. De kerntaak van het waterschap is om zorg te dragen voor de kering. Het belangrijkste hiervan is dat de waterkering blijft voldoen aan de vastgestelde norm.

Rijkswaterstaat

De rol van Rijkswaterstaat in het beheer en toezicht is niet groot. Doordat Rijkswaterstaat toeziet op de provincies, houdt ze wel indirect toezicht op het regionale waterkeringbeheer. De rol van Rijkswaterstaat kan ook groter zijn, omdat ze ook enkele regionale waterkeringen in het beheer heeft. Dit zijn voornamelijk keringen langs scheepvaartkanalen.

ILT

De regionale waterkeringen die in het beheer van Rijkswaterstaat zijn, staan onder toezicht van de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT).

3.2 Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen 2015

3.2.1 Aanleiding

Na de intrede van de Wet op de Waterkering in 1996 is de aandacht voor regionale waterkeringen toegenomen. Deze Wet was vooral gericht op de primaire waterkeringen, maar er werd toen ook geconstateerd dat er iets met de regels voor regionale waterkeringen moest gebeuren. Twee jaar later, in 1998, is in de Vierde Nota Waterhuishouding vastgelegd dat provincies, in overleg met waterschappen, normen ontwikkelen voor de veiligheid van de regionale waterkeringen. In 2002 is het rapport 'QuickScan niet-primaire waterkeringen' opgeleverd, waarin het belang van de regionale waterkeringen werd beschreven. Hieruit bleek dat veel aspecten rondom de keringen, zoals normering en beheer, niet duidelijk waren. Dit rapport heeft er mede voor gezorgd dat er een 'Visie op regionale waterkeringen' is ontstaan en er een Ontwikkelingsprogramma Regionale Waterkeringen is opgestart. In dit Ontwikkelingsprogramma is een instrumentarium opgenomen dat het hele proces van normering tot toetsing, faciliteert met leidraden en handreikingen. De eerste LTVRW is in 2007 uitgebracht.

Met deze eerste versie zijn veel regionale waterkeringen getoetst aan de norm. Deze versie, de zogenaamde 'groene versie', is opgesteld op basis van het Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen 2006 (VTV). De toetssporen zijn pragmatisch uitgewerkt, zodat er snel kon worden begonnen met de uitvoering van de toetsing. De kennis rondom de keringen ontwikkelde steeds verder, wat in 2010 resulteerde in een tussenversie van de LTVRW. De laatste versie verscheen in 2015, waarbij er veel aandacht besteed is aan de toetsingssystematiek. De ontwikkelingen rondom de regionale waterkeringen zijn in onderstaande tijdlijn (figuur 3-1) weergegeven.



Figuur 3-1 Tijdlijn regionale waterkeringen over de periode 1993-heden

3.2.2 Normering

Het doel van normeren is om 'duidelijkheid te scheppen voor de burger, de beheerder en de bestuurder' (Werkgroep regionale keringen, 2004, p. 10). De norm wordt bepaald aan de hand van het gewenste beschermingsniveau. Dit niveau moet gekozen worden op het punt dat het risico van overstromen maatschappelijk aanvaardbaar is. Om dit te bepalen is het nodig om inzicht te verkrijgen in de gevolgschade bij het falen van de kering. Bij de bepaalde gevolgschade hoort een norm die vervolgens duidelijkheid geeft voor de toetsing van de kering op veiligheid. Om dit proces te faciliteren zijn er richtlijnen opgesteld om de norm te bepalen. In paragraaf 2.2 van bijlage 1 – deel B staat het proces nader beschreven.

'De veiligheidsnorm wordt uitgedrukt in een overschrijdingsfrequentie van de waterstand bij de kering en geeft het maatschappelijk gewenste beschermingsniveau weer' (Kernteam Regionale Waterkeringen, 2008, p. 3). De overschrijdingsfrequentie van de waterstand is die waterstand die nog nét gekeerd moet kunnen worden. De veiligheidsnorm is gebaseerd op de verwachte

schade door het falen van de kering. Op basis van de veiligheidsnorm wordt een toetspeil bepaald, die gebruikt wordt bij de toetsing van de kering. De normering voor regionale waterkeringen is in vijf klassen onderverdeeld (zie tabel 3-1).

Tabel 3-1 Normering regionale waterkeringen
Overgenomen en bewerkt uit *Richtlijn Normeren Keringen langs regionale rivieren*

Klasse	Veiligheidsnorm (1/jaar)	Gevolgschade voor de klasse (mln. euro)	Frequentie van de maatgevende rivierwaterstand voor bepaling gevolgschade
I	1/10	< 8	1/10
II	1/30	8 - 25	1/30
III	1/100	25 - 80	1/100
IV	1/300	80 - 250	1/300
V	1/1000	> 250	1/1000

3.3 Toetsprocedure

3.3.1 Technisch oordeel

Het beoordelen en toetsen van regionale waterkeringen wordt uitgevoerd conform de LTVRW. Volgens deze Leidraad is de definitie voor het beoordelen van de veiligheid van een regionale waterkering: 'Het zo goed mogelijk bepalen van de verwachte sterkte van een waterkering op de peildatum en het vergelijken daarvan met de optredende belastingen behorende bij de vastgestelde norm' (STOWA, 2015, p. 15).

Faalmechanismen

De kering wordt getoetst op verschillende faalmechanismen. Een faalmechanisme is 'een mechanisme waardoor een kering kan falen' (Rijkswaterstaat (1), 2017, p. 74). Per faalmechanisme is er een toetsspoor opgesteld, dat beschrijft hoe de toetsing uitgevoerd dient te worden. Meer informatie over de verschillende faalmechanismen is opgenomen in bijlage 1 – deel C.

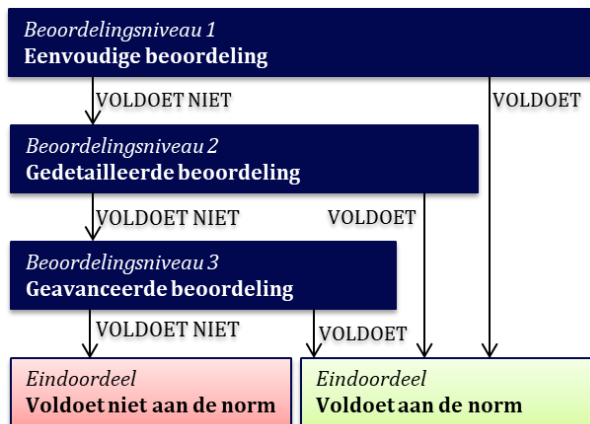
Belastingen

De toetssporen moeten in ieder geval uitgewerkt worden voor de belastingsituatie 'hoogwater'. Bij deze situatie is er een maatgevende hoogwaterstand aanwezig in het watersysteem. Daarnaast kan de belastingsituatie 'droogte' van belang zijn. Deze situatie is van belang op het moment dat de kering droogtegevoelig is en er een hogere buitenwaterstand op kan treden dan het maaiveldniveau in het achterland. Boezemkaden kunnen daarom gevoelig zijn voor droogte.

De faalmechanismen die getoetst worden, hebben elk hun eigen maatgevende hydraulische belasting. Dit zijn 'de eigenschappen van het buitenwater (hoogwaterstand, golven) die de keringen moeten kunnen keren' (Rijkswaterstaat (1), 2017, p. 76). Naast deze belastingen zijn er nog overige belastingen, zoals verkeersbelasting.

Toetsing

Bij de toetsing wordt de waterkering verdeeld in dijkvakken. Per dijkvak wordt vervolgens de berekende sterkte vergeleken met de bijbehorende belasting. Bij het uitvoeren van de technische beoordeling zijn er drie niveaus te onderscheiden. In figuur 3-2 wordt dit weergegeven, waarna de verschillende niveaus kort uitgelegd worden.



Figuur 3-2 Schematisatie algemene beoordelingswijze

Beoordelingsniveau 1 – Eenvoudige beoordeling

In eerste instantie wordt begonnen met een uitwerking op eenvoudig niveau. Hierbij wordt gecontroleerd of het faalmechanisme wel *kán* optreden. Vervolgens wordt op basis van enkele eenvoudige criteria de veiligheid ingeschat. Als de score ‘voldoet’ niet toegekend kan worden, wordt overgegaan tot een gedetailleerde beoordeling.

Beoordelingsniveau 2 – Gedetailleerde beoordeling

De gedetailleerde beoordeling gaat verder door op de eenvoudige beoordeling. Er wordt meer energie gestoken in het beoordelen en het verkrijgen van gegevens. Deze beoordeling wordt daarom vaak door deskundigen uitgevoerd.

Beoordelingsniveau 3 – Geavanceerde beoordeling

Deze beoordeling betreft een verdere uitwerking van de gedetailleerde beoordeling. Specialisten richten zich op de te beoordelen situatie en er mag gebruik gemaakt worden van kennis die nog niet is vastgesteld. Echter moet er wel aangetoond worden dat deze kennis correct is.

3.3.2 Beheerdersoordeel

Naast de technische beoordeling wordt er een beheerdersoordeel opgesteld. De beheerder maakt hierbij een inschatting van de veiligheidstoestand van de waterkering. Dit doet hij per dijkvak en per faalmechanisme, zodat deze vergeleken kan worden met het technisch oordeel. Op basis van praktijkervaring en nieuw ontwikkelde kennis kan de veiligheid van de waterkering worden aangetoond.

3.3.3 Eindbeoordeling

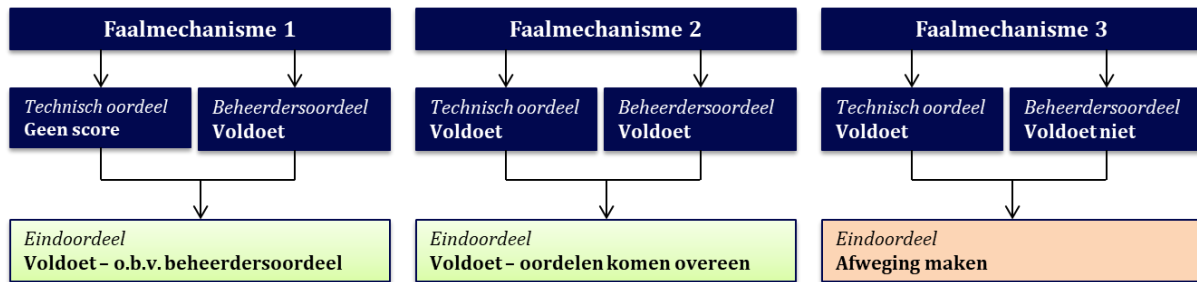
Afweging beoordeling per faalmechanisme

Na het doorlopen van een beoordelingsspoor en het opstellen van het beheerdersoordeel, moet er een eindoordeel opgesteld worden. Dit is een combinatie van het technisch oordeel en het beheerdersoordeel. Er zijn daarbij verschillende mogelijkheden, omdat de uitkomsten van de oordelen kunnen verschillen. De drie mogelijkheden zijn (STOWA, 2015, p. 21):

- Een technisch oordeel is niet toegekend
- De oordelen komen overeen
- De oordelen komen niet overeen

Wanneer er geen technisch oordeel toegekend kan worden, is het beheerdersoordeel doorslaggevend. Dat zal dan ook het eindoordeel zijn voor het betreffende faalmechanisme (zie faalmechanisme 1 in figuur 3-3). Als de oordelen overeenkomen, komt er een gezamenlijk oordeel tot stand (zie faalmechanisme 2 in figuur 3-3). Als de oordelen niet overeenkomen moet er een afweging gemaakt worden. Als het toetspoor geen onvolkomenheden bevat, wordt het technisch oordeel als eindoordeel aangemerkt. Wanneer het beheerdersoordeel waarnemingen, nieuwe inzichten of (nieuwe) kennis bevat die ongunstiger zijn dan het technisch oordeel, is het

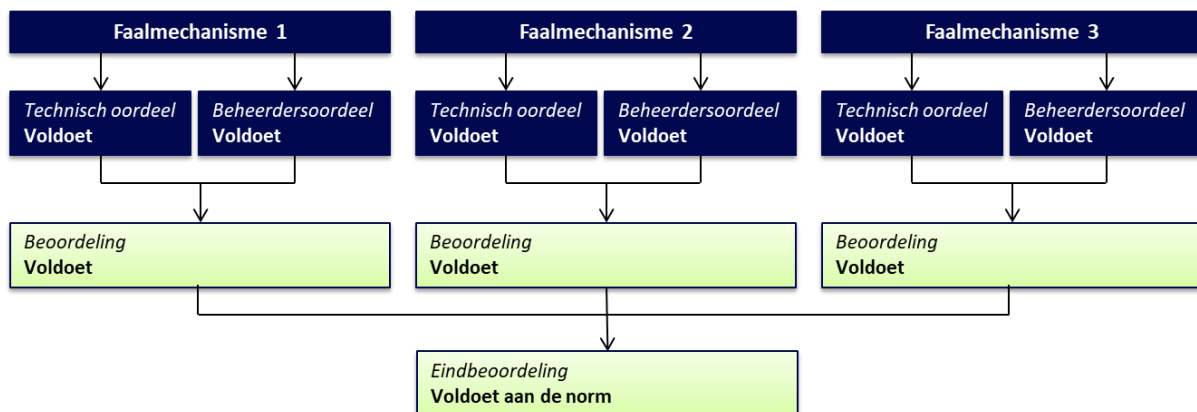
beheerdersoordeel doorslaggevend. Het is echter ook mogelijk om een 'positievere' score van het beheerdersoordeel als eindscore toe te kennen. Ook hierbij geldt dat dit goed onderbouwd dient te worden (zie faalmechanisme 3 in figuur 3-3).



Figuur 3-3 Mogelijkheden afweging beoordelingen

Eindbeoordeling per dijkvak

Om een eindoordeel aan het dijkvak toe te kennen, worden de beoordelingen per faalmechanisme samengevoegd. Het eindoordeel van een dijkvak wordt bepaald door de laagste score van één van de toetssporen. Als de eindscore 'voldoet niet' of 'nader onderzoek' niet voorkomt, voldoet het dijkvak aan de norm. Wanneer één van de bovengenoemde eindscores wel voorkomt, kan er geen garantie gegeven worden dat het dijkvak voldoet aan de norm. Het veiligheidsoordeel is dan 'voldoet niet aan de norm' of 'nader onderzoek'. Als de eindscores 'voldoet niet' en 'nader onderzoek' beiden voorkomen, resulteert dat in het veiligheidsoordeel 'voldoet niet aan de norm'. In figuur 3-4 is het proces weergegeven waarbij alle toetssporen voldoen. In paragraaf 3.14 van bijlage 1 – deel B staat de eindbeoordeling nader beschreven.



Figuur 3-4 Eindbeoordeling waarbij alle toetssporen voldoen

3.4 Praktijkstudie

3.4.1 Projectbeschrijving

Ter verduidelijking van de beschreven theorieën in de voorgaande paragrafen, wordt de 'Technische toetsing boezemkaden polder Broekerveer' (Toes, 2017) gebruikt. Deze toetsing is door RPS uitgevoerd in opdracht van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK). De Broekerveerpolder ligt ten noorden van Amsterdam, in de gemeente Waterland (zie figuur 3-5). Het type regionale kering betreft een boezemkade. In bijlage 7.1 is de toetsing opgenomen.

De toetsing wordt uitgevoerd conform de LTVRW. Daarnaast wordt er door RPS aangesloten op de gebruikelijke manier van toetsen voor het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.



Figuur 3-5 Ligging polder Broekermeer
Overgenomen uit Technische toetsing polder Broekermeer

3.4.2 Uitgangspunten toetsing

Dijkvakindeling

De (voorlopige) dijkvakindeling voor de toetsing is bepaald op basis van verschillende factoren: grondonderzoek, ervaring van de beheerder en uiterlijke kenmerken van de kade. In het rapport wordt veelal gesproken over een 'sectie', maar dit is gelijk aan een dijkvak. De indeling in secties en het opstellen van maatgevende dwarsprofielen, is een vereiste bij de start van de toetsing.

Grondonderzoek

Op basis van het uitgevoerde grondonderzoek zijn de grondeigenschappen en grondopbouw bepaald. De aangetroffen grondsoorten zijn vertaald naar 'hoofdnamen' die vastgesteld zijn in een grote proevenverzameling van het HHNK. Aan de hand van de grondopbouwen op verschillende locaties, is er een lengteprofiel opgesteld. Deze geeft inzicht in de bodemopbouw over de strekking van de waterkering. Daarnaast zijn ook de rekenwaarden en sterkteparameters bepaald voor de verschillende grondsoorten.

IPO-klasse

De IPO-klassen waar de kaden onder vallen, zijn klasse I en II (zie ook tabel 3-1). Het zuidelijke gedeelte heeft een overschrijdingsfrequentie van 1/10 jaar, het noordelijk gedeelte heeft een overschrijdingsfrequentie van 1/30 jaar.

Overige

De schematiseringsfactor is vastgesteld met behulp van het stappenplan, dat voorgeschreven is door Rijkswaterstaat. De hydraulische randvoorwaarden zijn afgeleid uit de monitoring van peilbuizen in het projectgebied en de toetspeilen (maatgevend boezempeil en streefpeil) zijn gebaseerd op de richtlijnen van het HHNK.

3.4.3 Uitvoeren van technische toetsing

'Voorafgaande' beoordelingen

Voor aanvang van de technische beoordeling is gestart met een toets op basis van de geometrische situatie. Daarbij zijn twee secties (BR_05 en BR_06B) al als voldoende beoordeeld op stabiliteit. Deze beoordeling is gebaseerd op het feit dat de achterliggende polder op minimaal hetzelfde niveau ligt als het maatgevend toetspeil.

Vervolgens wordt de hoogte (HT) van de waterkering beoordeeld. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het Actueel Hoogtebestand Nederland om de actuele kruinhoogte van de waterkering te bepalen. De minimaal vereiste kruinhoogte, over 10 jaar, wordt bepaald aan de hand van het maatgevend boezempeil en de waakhoogte. Deze waarden zijn voorgeschreven door het HHNK. Met de genoemde gegevens wordt bepaald wat de toetshoogte is voor de verschillende secties. Deze hoogte wordt vervolgens vergeleken met de verwachte kruinhoogte op de peildatum.

Boezemkades kunnen droogtegevoelig zijn, wat er voor zorgt dat deze belastingsituatie ook meegenomen dient te worden in de toetsing. Om te bepalen of een kade droogtegevoelig is, wordt er gebruik gemaakt van eenvoudige criteria die beschreven staan in de LTVRW.

Als laatste wordt er beoordeeld of er hydraulische kortsluiting plaatsvindt. Wanneer dit het geval is, is er sprake van contact tussen het oppervlaktewater en de (goed) doorlatende grondlagen. Dit contact zorgt er voor dat de waterspanningen toenemen. Dit heeft negatieve gevolgen voor de veiligheid van de waterkering, met name tegen piping en het afschuiven van het binnentalud.

Beoordelingsspoor piping

De beoordeling van de veiligheid op piping (STPH) is uitgevoerd zoals beschreven staat in de LTVRW (zie ook bijlage 1 – deel B, paragraaf 3.5). Als eerste wordt de eenvoudige beoordeling uitgevoerd. Hierbij wordt de waterkering getoetst op vier voorwaarden. Als er aan één van deze voorwaarden wordt voldaan, kan het oordeel 'voldoende' gegeven worden. Uit de eenvoudige beoordeling blijkt dat er aan voorwaarde 2 (intredepunt is afwezig) wordt voldaan, waardoor alle secties voldoen. De gedetailleerde en geavanceerde beoordeling hoeven daarom niet uitgevoerd te worden.

Beoordelingsspoor macrostabiliteit binnenwaarts

De eenvoudige beoordeling wordt overgeslagen, omdat deze niet toepasbaar is in deze situatie. De waterkering is namelijk niet overgedimensioneerd, wat een belangrijke voorwaarde is voor de eenvoudige beoordeling. De beoordeling wordt daarom uitgevoerd met behulp van de gedetailleerde beoordeling. Hierbij wordt gebruik gemaakt van rekenmodellen (Bishop, Uplift-Van en Spencer). De stabiliteitsberekeningen zijn uitgevoerd in D-Geo Stability, voor zowel de belastingsituatie hoogwater als droogte. Uit deze gedetailleerde beoordeling is gebleken dat er 6 secties niet voldoen bij de beoordeling op macrostabiliteit binnenwaarts (STBI). Voor deze secties is de restbreedtebenadering toegepast. Ook met deze rekenmethode kunnen de 6 secties niet als voldoende beoordeeld worden.

Overige beoordelingen

Naast de twee bovengenoemde beoordelingssporen, zijn er nog meer beoordelingen uitgevoerd. Dit betreft de beoordelingen op de volgende onderdelen:

- Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU)
- Microstabiliteit (STMI)
- Stabiliteit bekleding (STBK)
- Stabiliteit voorland (STVL)

De uitkomsten van die beoordelingen zijn ook opgenomen in tabel 3-2.

3.4.4 Toetsresultaat

Technische beoordelingen

Na het uitvoeren van alle beoordelingen is er een totaaloverzicht opgesteld van alle oordelen per sectie. Hiermee is in één oogopslag duidelijk wat het eindoordeel wordt per sectie. In tabel 3-2 is dit weergegeven.

Tabel 3-2 Eindoordeel per sectie

Overgenomen en bewerkt van Technische toetsing boezemkaden polder Broekermeer

Sectie	IPO - klasse	Toetsspoor							Oordeel
		HT	STPH	STBI	STBU	STMI	STBK	STVL	
BR_01	I	V	V	V	V	V	V	V	Voldoende
BR_02	I	V ₁	V	O	V	V	V	V	Onvoldoende
BR_03	I	V ₁	V	O	V	V	V	V	Onvoldoende
BR_04	I	V	V	V	V	V	V	V	Voldoende
BR_05	II	V	V	V	V	V	V	V	Voldoende
BR_06A	II	V	V	V	V ₃	V	V	V	Voldoende
BR_06B	II	GO ₂	V	V	V	V	V	V	Voldoende
BR_07	II	V	V	O	V ₃	V	V	V	Onvoldoende
BR_08A	II	V	V	O	O	V	V	V	Onvoldoende
BR_08B	II	V	V	O	V	V	V	V	Onvoldoende
BR_09A	II	V	V	V	V ₄	V	V	V	Voldoende
BR_09B	II	V	V	O	V ₄	V	V	V	Onvoldoende
BR_10	II	V	V	O	O	V	V	V	Onvoldoende
1. Secties onder voorbehoud goedgekeurd									
2. Geen oordeel									
3. Secties goedgekeurd op basis van gedetailleerde restbreedtebenadering									
4. Secties goedgekeurd op basis van geavanceerde restbreedtebenadering									
Legenda		V	= voldoende		O	= onvoldoende		GO	= geen oordeel

Gevoeligheidsanalyse

Na het bepalen van het eindoordeel per sectie is een gevoeligheidsanalyse opgesteld. De gevoeligheidsanalyse is geen vast onderdeel binnen de LTVRW, maar heeft wel als doel om te onderzoeken of secties mogelijk toch goedgekeurd kunnen worden en/of om inzicht te krijgen in het (extra) benodigd grondonderzoek. Het uitvoeren van de gevoeligheidsanalyse is ook onderdeel van de opdracht die verstrekt is aan RPS. Als de berekende stabiliteitsfactor binnen 10% van de afkeurgrens valt, komt deze in aanmerking voor een gevoeligheidsanalyse. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat twee secties voldoende kunnen worden als er aanvullend grondonderzoek uitgevoerd wordt.

Beheerdersoordeel

Het beheerdersoordeel wordt opgesteld met hulp van een adviseur van de beheerafdeling en de gebiedsbeheerder. De adviseur gaat in op het waarheidsgehalte van de gebruikte parameters, de gebiedsbeheerder beoordeelt op basis van zijn periodieke inspecties. Deze oordelen komen overeen met het technisch oordeel, waardoor het gezamenlijke oordeel (tabel 3-2) tot stand is gekomen.

4. PRIMAIRE WATERKERINGEN

Dit hoofdstuk geeft informatie over primaire waterkeringen. In bijlage 1 – deel A is een volledig literatuuronderzoek opgenomen, waarin uitgebreid wordt ingegaan op primaire waterkeringen. Dit hoofdstuk geeft op hoofdlijnen de kennis die nodig is voor het opstellen van de vergelijking met regionale waterkeringen. Verder wordt het WBI toegelicht. Tot slot wordt ter verduidelijking een praktijkvoorbeeld geanalyseerd, waardoor inzichtelijk wordt hoe het WBI toegepast wordt.

4.1 Algemeen

4.1.1 Definitie

Primaire waterkeringen zijn aangewezen in de Waterwet, waarin ook de norm per traject is opgenomen. In Nederland is er ca. 3400 kilometer aan primaire waterkering die ervoor zorgen dat delen van Nederland beschermd zijn tegen overstromingen door buitenwater. Onder primaire waterkeringen vallen dammen, dijken, duinen, kunstwerken en hoge gronden.

4.1.2 Functie

De belangrijkste functie van een primaire waterkering is het keren van buitenwater. Onder buitenwater vallen de grote rivieren, de grote meren en de Noordzee. Naast de primaire functie zijn er een aantal nevenfuncties, waaronder: het onderdeel zijn van ecologische hoofdstructuur en infrastructuur, het hebben van landschappelijke én cultuurhistorische waarden en het bieden van recreatiemogelijkheden. De nevenfuncties zijn van groot belang bij het ontwerp en/of de beheersmaatregelen van een primaire waterkering.

4.1.3 Beheer en toezicht

Waterwet

In de Waterwet is opgenomen hoe het beheer van primaire waterkeringen geregeld is.

Belangrijke punten hieruit zijn:

- De keringbeheerder is verantwoordelijk voor de kering en houdt deze in stand (actieve zorgplicht).
- Eens in de twaalf jaar wordt een rapport opgeleverd aan de Kamer over de veiligheidstoestand van de waterkering. De eerste beoordelingsronde duurt zes jaar.
- De beoordeling is gebaseerd op de overstromingskans en wordt uitgevoerd met het WBI.
- Wanneer een traject als 'onvoldoende' wordt beoordeeld, moet deze worden aangemeld bij het Hoogwaterbeschermingsprogramma.

Partijen en rollen

De belanghebbende partijen zijn onder te verdelen in beheerders, toezichthouder én rapporteur en procesregisseur (zie ook bijlage 1 – deel A, paragraaf 1.4.2). Onder de beheerders vallen Rijkswaterstaat en de Waterschappen. Een primaire waterkering valt onder het beheer van een waterschap, als de kering in het beheergebied van het waterschap gelegen is. Een uitzondering hierop zijn de primaire waterkeringen die onder het beheer van Rijkswaterstaat vallen. De rol van de beheerder is om de primaire waterkering te beoordelen en de beoordeling te rapporteren aan Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT), een onderdeel van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu. ILT is de toezichthouder én rapporteur en controleert of het oordeel conform het WBI tot stand is gekomen. Directoraat-generaal Ruimte en Water (DGRW) is de procesregisseur en is verantwoordelijk voor het WBI. Rijkswaterstaat (onderdeel Water, Verkeer en Leefomgeving) ondersteunt hierbij. DGRW is onderdeel van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Beoordeling

Begin 2017 is de eerste beoordelingsronde gestart met het WBI. Deze ronde duurt 6 jaar. In deze periode moeten alle trajecten beoordeeld worden. De beoordelingsrondes die daarop volgen hebben een looptijd van 12 jaar, waarin alle trajecten steeds weer beoordeeld moeten worden.

In de eerste beoordelingsronde zijn een aantal tussentijdse evaluaties. Het WBI is een nieuw instrument dat nog ontwikkeling doormaakt. Als de trajecten beoordeeld en gerapporteerd zijn, is het Waterveiligheidsportaal ervoor om documenten te delen en te ontvangen. Het Waterveiligheidsportaal is ontwikkeld voor efficiënte en eenduidige informatie-uitwisseling.

4.2 Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017

4.2.1 Aanleiding

Vanaf 2017 is er een nieuw waterveiligheidsbeleid ingegaan. Het nieuwe waterveiligheidsbeleid formuleert de volgende beleidsdoelen (Most, 2016):

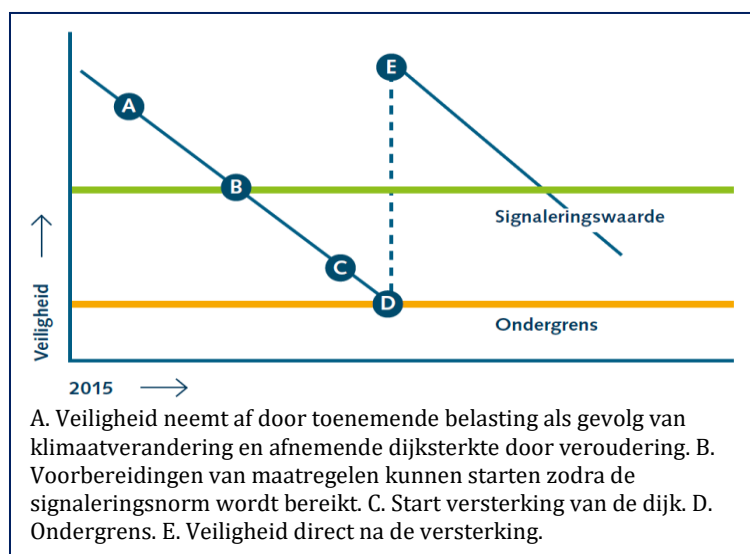
- Elke inwoner van Nederland achter duinen of dijken krijgt tenminste een beschermingsniveau (kans van overlijden t.g.v. een overstroming) van 1/100.000 (1/jaar).
- Meer bescherming wordt geboden op plaatsen waar sprake kan zijn van een grote groep slachtoffers en/of grote economische schade.

In het nieuwe waterveiligheidsbeleid is een nieuwe normering opgesteld op basis van een overstromingskans. Het WBI is opgesteld om een primaire waterkering te toetsen aan de hand van deze overstromingskans. Ten opzichte van het voorgaande toetsinstrumentarium zijn in het WBI de nieuwste inzichten opgenomen.

4.2.2 Normering

Om dijken te normeren, zijn deze opgedeeld in dijktrajecten. De normering voor een bepaald traject hangt af van de economische schade en de slachtoffers voor het achterliggend gebied bij een overstroming. De norm van een dijktraject geeft de maximale overstromingskans aan. De overstromingskans is in de Waterwet gedefinieerd als: 'De kans op verlies van waterkerend vermogen van een dijktraject waardoor het door het dijktraject beschermde gebied zodanig overstroomt dat dodelijke slachtoffers of substantiële economische schade ontstaan' (Rijkswaterstaat (1), 2017, p. 36).

Voor de overstromingskans is een ondergrens en een signaleringswaarde opgezet. De ondergrens staat gelijk aan de maximaal toelaatbare overstromingskans (de norm). De signaleringswaarde is vaak drie keer zo klein als de ondergrens. De signaleringswaarde is opgezet om te constateren wanneer een dijktraject (verbeter)maatregelen moet ondergaan, zodat deze niet onder de ondergrens uitkomt. In figuur 4-1 is de werking van de signaleringswaarde en de ondergrens weergegeven.



Figuur 4-1 Signaleringswaarde en ondergrens
Overgenomen en bewerkt uit Waterveiligheid begrippen begrijpen

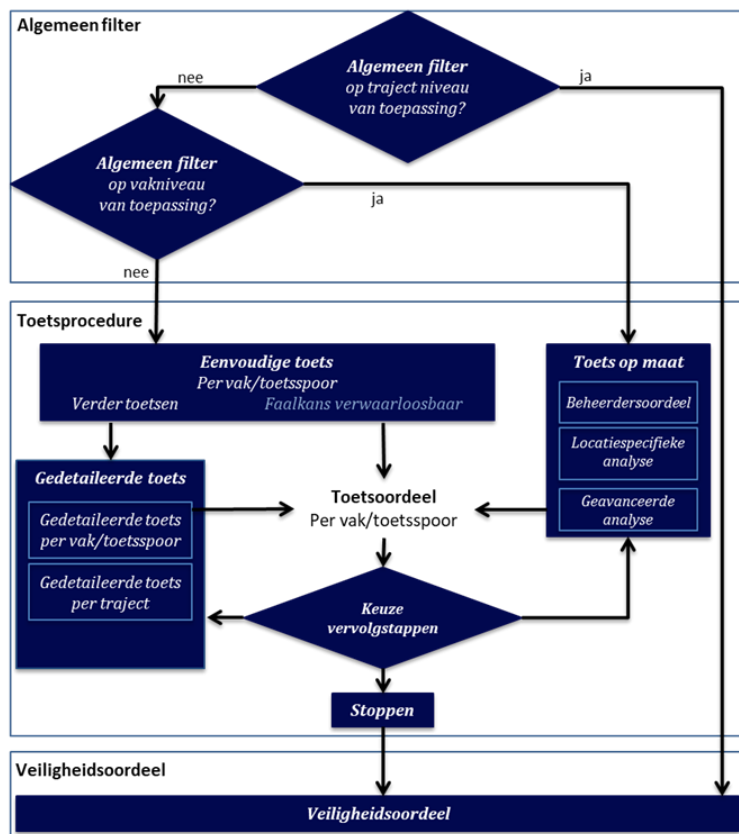
4.2.3 Beoordelingsdocumenten

Het WBI bevat een procesinstrumentarium waarin de ministeriële regeling en drie bijlagen zijn opgenomen (zie ook bijlage 1 – deel A, paragraaf 2.3). Bijlage 1 bevat de ‘Procedure beoordeling veiligheid primaire waterkeringen’, bijlage 2 bevat de ‘Voorschriften bepaling hydraulische belasting primaire waterkering’ en bijlage 3 bevat de ‘Voorschriften bepaling sterkte en veiligheid van primaire waterkering’.

Naast het procesinstrumentarium is er een basisinstrumentarium. Het procesinstrumentarium geeft de uitgangspunten om het basisinstrumentarium toe te passen. Het basisinstrumentarium bestaat uit technische leidraden, achtergrondrapporten en softwarepakketten. Deze documenten zijn nodig voor het doorlopen van de beoordelingsprocedure.

4.3 Beoordelingsprocedure

Het beoordelingsproces bestaat uit de algemene filter, de toetsprocedure en het veiligheidsoordeel. In figuur 4-2 is het schema weergegeven van het proces dat doorlopen wordt voor een beoordeling met het WBI. Dit beoordelingsproces dient voor ieder faalmechanisme doorlopen te worden.



Figuur 4-2 Beoordelingsproces op hoofdlijnen
Overgenomen en bewerkt uit Basisrapport WBI 2017

4.3.1 Algemeen filter

De algemene filter is opgezet om onnodige beoordelingswerkzaamheden te vermijden. Als kan worden aangetoond dat trajecten of vakken (delen van een traject) ruim boven of ruim onder de norm zitten, kan direct worden overgegaan naar een oordeel. Er is een algemeen filter op trajectniveau en op vakniveau. Bij de toepassing van de algemene filter op vakniveau kan via de toets op maat een veiligheidsoordeel gegeven worden. Voor een algemeen filter op trajectniveau kan dit direct.

4.3.2 Toetsprocedure

Als de algemene filter niet van toepassing is, wordt er verder gegaan met de eenvoudige toets. Vooraf worden, voor zover nodig, de hydraulische belastingen bepaald. De eenvoudige toets gaat uit van eenvoudige beslisregels. Aan de hand van deze regels kan worden geconcludeerd of het faalmechanisme niet van toepassing is, de faalkans verwaarloosbaar is en of er verder beoordeeld moet worden. Wanneer uit de eenvoudige toets blijkt dat er verder getoetst moet worden, wordt het toetsoordeel met behulp van de gedetailleerde toets bepaald. Als de beheerder het niet eens is met het toetsoordeel van de gedetailleerde toets, is het mogelijk een toets op maat uit te voeren. Hierin worden nadere analyses gedaan, waardoor een traject of vak toch goedgekeurd kan worden. Voor ieder faalmechanisme zit er verschil in het toetsspoor. Dit houdt in dat niet alle toetsen beschikbaar zijn voor alle faalmechanismen.

4.3.3 Veiligheidsoordeel

Het doel van het WBI is om op een effectieve manier een veiligheidsoordeel uit te brengen. Het veiligheidsoordeel komt tot stand door het combineren van alle oordelen per faalmechanisme. Dit wordt assembleren genoemd.

4.3.4 Toetssporen

Toetssporen zijn opgesteld voor alle faalmechanismen. De toetssporen die binnen de scope vallen van het onderzoek, zijn uitgebreid toegelicht in bijlage 1 – deel A. Hierin wordt beschreven welke toetsen beschikbaar zijn en hoe ze doorlopen dienen te worden.

Schematiseren

Voordat een traject beoordeeld kan worden, is het belangrijk om zo goed mogelijk de huidige situatie in beeld te hebben. De grondopbouw, afmetingen en hydraulische belastingen worden geschematiseerd. De grondopbouw wordt in het WBI geschematiseerd met behulp van Stochastische Ondergrond Scenario's (WTI-SOS). Met WTI-SOS worden verschillende ondergrondscenario's beschouwd en meegenomen in de beoordeling. Per traject wordt een homogene vakindeling gemaakt. Voor ieder toetsspoor kan deze vakindeling verschillen. Vervolgens wordt voor ieder vak een maatgevende doorsnede beschouwd. De hydraulische belasting verschilt per toetsspoor en per toets. Aan de hand van de WBI-software wordt op basis van de schematisering en de norm van het traject, de hydraulische belasting bepaald. Elk traject is gelegen in een bepaald watersysteem. Met behulp van een belastingmodel kunnen de belastingparameters bepaald worden voor een traject. Voor alle faalmechanismen die getoetst worden, is een schematiseringshandleiding opgesteld. Daarin wordt beschreven hoe de schematisatie moet worden opgesteld.

Faalkanseis per toetsspoor

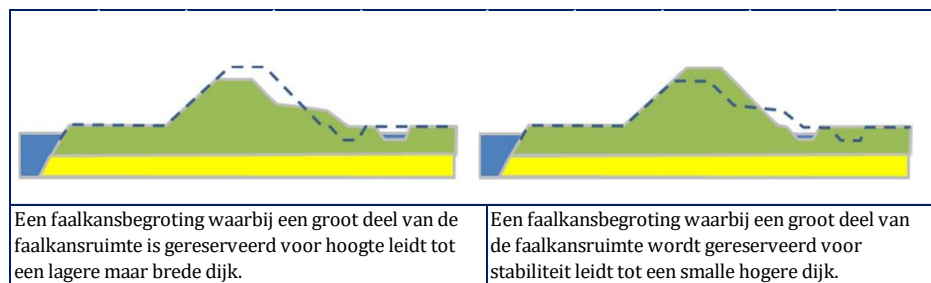
De faalkanseis per toetsspoor wordt bepaald door de normering, de faalkansbegroting en het lengte-effect. De normering is voor ieder traject vastgesteld in de Waterwet en is uitgedrukt in een overstromingskans per jaar. De faalkansbegroting bepaalt per faalmechanisme hoe groot het aandeel mag zijn in de totale faalkans. In tabel 4-1 is de standaard faalkansbegroting gegeven, die gehanteerd wordt bij het bepalen van de faalkanseis.

Tabel 4-1 Faalkansbegroting

Overgenomen en bewerkt uit Ontwerpinstrumentarium 2014

Type waterkering	Faalmechanisme	Type traject	
		Zandige kust	Overig (dijken)
Dijk	Overloop en golfoverslag	0%	24%
	Opbarsten en piping	0%	24%
	Macrostabiliteit binnenwaarts	0%	4%
	Beschadiging bekleding en erosie	0%	10%
Kunstwerk	Niet sluiten	0%	4%
	Piping	0%	2%
	Constructief falen	0%	2%
Duin	Duinafslag	70%	0% / 10%
Overig		30%	30% / 20 %
Totaal		100%	100%

Met behulp van de faalkansbegroting is het mogelijk om economisch aantrekkelijk te toetsen. Dit is mogelijk, omdat de focus op faalmechanismen gelegd kan worden waarvan de kosten voor verbetermaatregelen minder bedragen. Dit is gunstig voor de opdrachtgever. In figuur 4-3 is hier een voorbeeld van gegeven.



Figuur 4-3 Voorbeeld faalkansbegroting

Overgenomen en bewerkt uit Factsheet faalkansbegroting

De berekeningen voor alle faalmechanismen worden uitgevoerd voor één specifieke doorsnede. Echter kan op elke doorsnede in de dijk het faalmechanisme optreden. Dit is in figuur 4-4 weergegeven. Het lengte-effect houdt rekening met de lengte van het traject. Hoe langer de dijk is, des te groter is de kans dat de waterkering op een willekeurige plaats faalt.



Figuur 4-4 Principe lengte-effect

Overgenomen en bewerkt uit Factsheet lengte-effect

Het lengte-effect wordt bepaald met de volgende formule:

$$N = 1 + \frac{a * L_{traject}}{b}$$

Hierin is N de lengte-effectfactor en $L_{traject}$ is de lengte van het traject. 'a' en 'b' zijn parameters die betrekking hebben op de gevoeligheid van het betreffende faalmechanisme (zie ook bijlage 1 – deel A, paragraaf 3.2). Uiteindelijk wordt de faalkanseis met de volgende formule bepaald:

$$P_{eis} = \frac{P_{max} * \omega}{N}$$

Hierin is P_{eis} de faalkanseis voor het betreffende faalmechanisme en ' ω ' de faalkansruimtefactor. P_{max} is de maximaal toelaatbare overstromingskans van het traject, ofwel de norm.

Vak-oordeel

Na het volgen van een toetsspoor, kan het oordeel per vak bepaald worden. Deze kan worden uitgedrukt in een faalkans of in een oordeel ('voldoet' of 'voldoet niet'). Dit hangt af van de toetsspoorgroep. De toetssporen zijn in vijf groepen verdeeld:

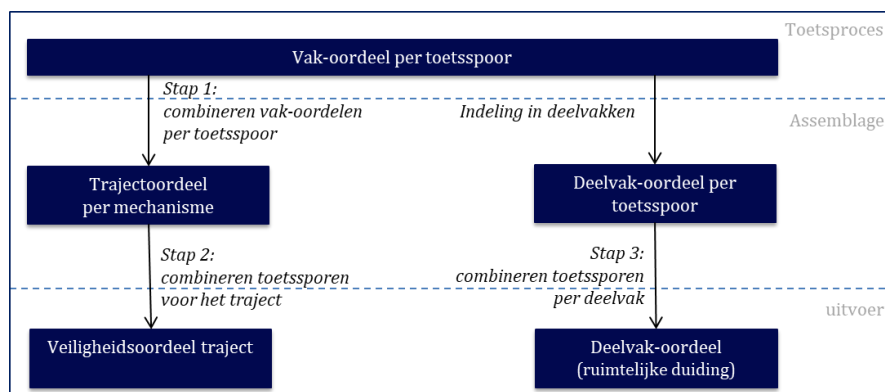
- Groepen 1 en 2 resulteren in een faalkans
- Groepen 3 en 4 resulteren in een oordeel
- Groep 5 resulteert in een oordeel of een faalkans

Het verschil in uitdrukking ontstaat door de berekeningswijze per groep. Elke groep gaat anders om met het lengte-effect en de faalkansbegroting. Echter is het voor dit onderzoek niet relevant hier dieper op in te gaan.

4.3.5 Eindbeoordeling

De eindbeoordeling wordt bepaald door middel van assembleren. Assembleren is het samenvoegen van alle toetssporen tot één veiligheidsoordeel per traject of een oordeel per (deel)vak. Het principe van het assembleren is weergegeven in figuur 4-5. Assembleren bestaat uit drie stappen. Na het volgen van de eerste twee stappen, waarin de vak-oordelen per toetsspoor worden bepaald en vervolgens worden gecombineerd, wordt het veiligheidsoordeel van een traject bepaald. Stap 3 bekijkt de deelvakken. Zo kan worden bepaald waar de zwakke plekken in een traject aanwezig zijn.

Het veiligheidsoordeel wordt uitgedrukt in een categorie. De categorieën zijn A+, A, B, C en D (voldoet ruim naar voldoet ruim niet). De traject-oordelen voor een enkel toetsspoor en de vak-oordelen worden uitgedrukt in categorieën van I t/m VII (voldoet ruim naar voldoet ruim niet). Een verdere uitleg met tabellen over de categorieën is gegeven in de paragrafen 2.4.2 en 2.4.3 van bijlage 1 – deel A.



Figuur 4-5 Assembleren
Overgenomen en bewerkt uit Assemblageprotocol

4.4 Praktijkstudie

De praktijkstudie gaat in op een toets die uitgevoerd is door RPS. Met behulp van deze praktijkstudie is het eenvoudiger de beschreven theorie van het WBI te begrijpen.

4.4.1 Projectbeschrijving

RPS heeft een opdracht uitgevoerd waarin dijktraject 14-2 (zie figuur 4-6) beoordeeld is conform het WBI. Traject 14-2 is gelegen in het havengebied van Rotterdam. Voor dit traject is

opdracht gegeven om de geotechnische faalmechanismen te beoordelen. Hierbij zijn een vijftal toetssporen uitgewerkt. De toetssporen die worden beschouwd in de praktijkstudie zijn:

- Piping (STPH)
- Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI)



Figuur 4-6 Traject 14-2 Delflandsedijk
Overgenomen en bewerkt van Google Maps

4.4.2 Uitgangspunten beoordeling

Algemeen

De door de Waterwet voorgeschreven signaleringswaarde is $1/100.000$ (1/jaar). De ondergrens is voorgeschreven op $1/30.000$. Voor de bepaling van de geometrie, hydraulische belastingen, geotechniek en geohydrologie worden de voorschriften volgens het WBI gevolgd.

Vakindeling

Er zijn in totaal 3 verschillende vakindelingen opgesteld: een indeling voor STPH, STBI en STBU, een indeling voor STMI en een indeling voor het toetsspoor afschuiving voorland (VLAF).

4.4.3 Uitvoeren van beoordeling

Voor alle faalmechanismen in het praktijkvoorbeeld wordt een toetsspoor doorlopen. Voor deze praktijkstudie worden alleen STPH en STBI beschouwd om het principe van een toetsspoor toe te lichten.

Toetsspoor piping

Het dijktraject is opgedeeld in 14 verschillende vakken. Deze 14 vakken worden allereerst getoetst middels de eenvoudige toets. Na het doorlopen van de vijf stappen van de eenvoudige toets, resulteert dit in een verwaarloosbare faalkans voor de vakken 4, 5 en 11. Dit betekent dat voor deze vakken gelijk een veiligheidsoordeel gegeven kan worden.

De overige vakken moeten verder beoordeeld worden met de gedetailleerde toets per vak. STPH krijgt een faalkansruimtefactor van 24%. Met het lengte-effect zorgt dit ervoor dat de faalkanseis op doorsnedeniveau $1/3.425.428$ (1/jaar) is. Uit de gedetailleerde toets zijn, per dijkvak, faalkansen berekend die worden vergeleken met de faalkanseis. Alle vakken voldoen aan de faalkanseis op doorsnedeniveau, behalve vak 3. Deze heeft een faalkans van $1/577.563$. Aanbevolen wordt om de schematisering van dit vak aan te scherpen middels aanvullende onderzoeken om vervolgens de gedetailleerde toets per vak nogmaals uit te voeren.

Toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts

Bij de beoordeling van STBI is dezelfde vakindeling gehanteerd als bij STPH. De eenvoudige toets heeft geresulteerd in het verder beoordelen van alle 14 vakken met de gedetailleerde toets per vak.

De faalkansruimtefactor van macrostabiliteit is 4%. Verrekend met het lengte-effect betekent dit dat de faalkanseis per doorsnede $1/10.528.527$ is. De uitkomsten van de gedetailleerde toets per vak zijn met deze faalkanseis vergeleken. Dijkvakken 6, 7, 8, 10, 13 en 14 voldoen niet. Na optimalisatie voldoen dijkvakken 6, 10 en 14 nog steeds niet. Deze dijkvakken worden verder beoordeeld in de toets op maat.

In de toets op maat voldoen de dijkvakken 6 en 14 wel, door de onderbouwde inzichten van de beheerder. Echter is dijkvak 10 nog steeds onvoldoende en daarom wordt er aanbevolen om met beperkt aanvullend grondonderzoek een beter beeld te krijgen.

4.4.4 Beoordelingsresultaat

Uiteindelijk dient er een oordeel voor alle vakken uitgebracht te worden. Het beschouwde project (beoordeling van traject 14-2) bevat enkel de geotechnische beoordeling. Hierdoor is er nog geen veiligheidsoordeel beschikbaar waarin alle faalmechanismen zijn meegenomen. Aan de hand van een ander praktijkvoorbeeld (Diermanse, 2016) wordt toegelicht hoe het beoordelingsresultaat tot stand komt. Een uitsnede van het totale praktijkvoorbeeld is weergegeven in tabel 4-2.

Voor elk vak en toetsspoor is er een faalkans (cijfer) of een oordeel (letter) afgeleid. In tabel 4-2 is een praktijkvoorbeeld weergegeven van mogelijke resultaten. Grasbekleding kruin en binnentalud (GEKB), STBI en STPH komen uit de groepen 1 en 2 en zijn dus als faalkans beschouwd. STMI komt uit groep 4, waardoor het oordeel voor dit vak uitgedrukt wordt in 'voldoet' of 'voldoet niet'. Ook is in de tabel te zien met welke toets het resultaat is afgeleid: 1 staat voor eenvoudige toets, 2a staat voor gedetailleerde toets en 3 staat voor toets op maat.

Tabel 4-2 Faalkans per toetsspoor
Overgenomen en bewerkt uit Assemblageprotocol

Km.	Vak	GEKB			STBI			STPH			STMI		
		1	2a	3	1	2a	3	1	2a	3	1	2a	3
26	11		1/1000000			1/12255			1/100.000.000.000				
27	11		1/1000000										
28	12		1/1000000			1/11							
28	12		1/1000000			1/2283105023							
29	12		1/1000000			1/7519			1/160.000.000.000				
29	13		1/1000000			1/775194							
V = voldoende													

De stappen die zijn weergegeven in figuur 4-5 worden gevolgd om te komen tot de eindoordelen. Deze stappen staan hieronder uitgewerkt.

Stap 1: Combineren vak-oordelen per toetsspoor

De oordelen van GEKB, STBI en STPH worden op een andere manier gecombineerd dan STMI. Bij STMI is het zwakste oordeel leidend. Bij GEKB, STBI en STPH worden de faalkansen gecombineerd. Bij het combineren van de faalkansen zijn twee rekenmethodes mogelijk. De kleinste uitkomst van deze methodes is maatgevend voor de faalkans. De methodes zijn: het vermenigvuldigen van de grootste faalkans met het lengte-effect (1b-1) en het toepassen van de combinatieformule (zie onderstaand kader), waarin alle vakken worden meegenomen (1b-2). Voor beide manieren wordt een faalkans per toetsspoor afgeleid voor het gehele traject. De kleinste faalkans (1b-3) is maatgevend (zie tabel 4-3).

De combinatieformule is in onderstaand kader weergegeven. Hierin is N het aantal vakken, P_{traject} de faalkans van het traject en P_i de faalkans van een vak.

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

Tabel 4-3 Faalkans per toetsspoor

Overgenomen en bewerkt uit Assemblageprotocol

Stap	Toetsspoor		
	GEKB	STBI	STPH
1b-1 Lengte-effect	1/11.500	1/9	1/47
1b-2 Combinatieformule	1/20.500	1	1/2
1b-3 Kleinste maatgevend	1/20.500	1/9	1/47

De uitkomst bij stap 1b-3 is bepalend voor het oordeel van het toetsspoor per traject. De faalkansen worden gekoppeld aan een categorie, zoals uitgelegd in paragraaf 4.3.5. STMI heeft het oordeel 'voldoende' (tabel 4-2). Dit oordeel staat gelijk aan categorie II_t. In tabel 4-4 is de uitkomst van stap 1 te zien, waarbij de oordelen in categorieën zijn weergegeven. Deze uitkomsten komen niet overeen met tabel 4-2, omdat tabel 4-2 een uitsnede betreft.

Tabel 4-4 Bepaling categorieën

Overgenomen en bewerkt uit Assemblageprotocol

	GEKB	STBI	STPH	STMI
Kans/ordeel	1/20.500	1/9	1/47	Voldoende
Categorie	II _t	VI _t	V _t	II _t

Stap 2: Combineren van toetssporen voor het traject

In deze stap worden de in stap 1 berekende faalkansen/oordelen gecombineerd tot één veiligheidsoordeel voor het gehele traject. Voor de toetssporen met een faalkans als uitkomst, wordt de combinatieformule toegepast (zie onderstaand kader). Voor de toetssporen met een oordeel als uitkomst, wordt de ongunstigste als maatgevend beschouwd.

$$P_{\text{traject}} = 1 - \left(\left(1 - \frac{1}{20500} \right) * \left(1 - \frac{1}{9} \right) * \left(1 - \frac{1}{47} \right) \right) = 0,13$$

De uitkomsten worden vervolgens gekoppeld aan veiligheidsoordelen. De kans van 0,13, die in bovenstaand kader berekend is, staat gelijk aan veiligheidsoordeel D. Het oordeel 'voldoende' van STMI staat gelijk aan veiligheidsoordeel A. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het veiligheidsoordeel voor het gehele traject 'D' is, omdat de ongunstigste maatgevend is. Informatie over het bepalen van veiligheidsoordelen is gegeven in paragraaf 2.4.3 van bijlage 1 - deel A.

Stap 3: Combineren toetssporen per deelvak

Stap 3 is ervoor om per (deel)vak een oordeel te bepalen. Stappen 1 en 2 staan los van stap 3, omdat er niet wordt gekeken naar het gehele traject. Elke kans per toetsspoor en per vak wordt ingedeeld in een categorie. In paragraaf 2.4.2 van bijlage 1 - deel A is deze categorie-indeling beschreven. In tabel 4-5 is de uitwerking van stap 3 gegeven. Bij het combineren van de toetssporen is de zwakste maatgevend. De kolom met de gecombineerde vakken is het resultaat van stap 3.

Tabel 4-5 Uitkomst stap 3

Overgenomen en bewerkt uit Assemblageprotocol

Km.	Deelvak	Categorie				Gecombineerd
		GEKB	STBI	STPH	STMI	
26,1	11	I _v	IV _v	I _v	II _v	IV _v
27,2	11	I _v	IV _v	I _v	II _v	IV _v
27,5	12	I _v	VI _v	I _v	II _v	VI _v
27,8	12	I _v	I _v	I _v	II _v	II _v
28,6	12	I _v	IV _v	I _v	II _v	IV _v
28,9	13	I _v	III _v	I _v	II _v	III _v

De uitkomsten van stap 1, 2 en 3 worden verwerkt in een rapport, die wordt verstrekt aan de opdrachtgever.

5. VERSCHILLEN TUSSEN REGIONALE EN PRIMAIRE WATERKERINGEN

In dit hoofdstuk wordt de eerste stap gezet naar de mogelijke implementatie van WBI-elementen in de toetsing van regionale waterkeringen. Door gebruik te maken van vergelijkingstabellen wordt duidelijk op welke onderdelen de waterkeringen, en bijbehorende toetsingsmethoden, van elkaar verschillen. Het doel hiervan is om te achterhalen welke elementen uit het WBI nuttig zijn om te implementeren. De vergelijking wordt in hoofdlijnen uitgevoerd. In hoofdstuk 6 wordt dieper ingegaan op de belangrijkste verschillen.

De eerste paragraaf geeft uitleg over de gehanteerde methode om de verschillen te bepalen. Vervolgens worden de verschillen op acht onderwerpen bepaald met behulp van de beschreven methode. Daarbij wordt ingegaan op algemene onderwerpen, zes verschillende faalmechanismen en de eindbeoordeling. De laatste paragraaf gaat in op het toekomstbeeld van de regionale waterkeringen. Hierin wordt de huidige situatie beschreven, actuele ontwikkelingen worden weergegeven en er wordt een toekomstbeeld geschetst.

5.1 Vergelijking

De kenmerken van de verschillende toetsingsmethoden, het WBI en de LTVRW, zijn in kaart gebracht door gebruik te maken van vergelijkingstabellen. Deze tabellen zijn opgenomen in bijlage 2.1 t/m 2.8. Op basis van het literatuuronderzoek, dat is opgenomen in bijlage 1, zijn verschillende onderdelen van de toetsing met elkaar vergeleken. Bijlage 2.1 gaat in op algemene onderdelen van de toetsing, waarmee een overzicht wordt gegeven van de twee toetsingsmethoden. Bijlage 2.2 t/m 2.7 gaat in op zes verschillende faalmechanismen die voorkomen in beide toetsingsmethoden. Bijlage 2.8 geeft weer hoe er tot een eindoordeel wordt gekomen voor de verschillende toetsingsmethoden.

De tabellen bestaan uit vier kolommen waarin de vergelijking gemaakt wordt tussen het WBI en de LTVRW (zie tabel 5-1). De eerste kolom geeft het onderdeel weer waar de vergelijking betrekking op heeft. De tweede kolom geeft de kenmerken weer van de LTVRW voor het betreffende onderdeel, inclusief een korte toelichting. De derde kolom is gericht op het WBI en heeft eenzelfde opzet als de tweede kolom. In de laatste kolom 'Verschilanalyse' wordt bepaald of er een verschil aanwezig is en of het verschil nuttig is voor implementatie. Deze afweging wordt gemaakt op basis van kennis die verkregen is door het literatuuronderzoek, inclusief bijbehorende bronnen.

Tabel 5-1 Opzet vergelijkingstabel

Tabel 1 - Onderwerp	Regionale waterkering - LTVRW		Primaire waterkering - WBI		Verschilanalyse	
	Kenmerk	Toelichting	Kenmerk	Toelichting	Vershil?	Nuttig voor implementatie?
Onderdeel 1	Omschrijving	Uitleg van onderdeel	Omschrijving	Uitleg van onderdeel		
Onderdeel 2	Omschrijving	Uitleg van onderdeel	Omschrijving	Uitleg van onderdeel		
Onderdeel 3	Omschrijving	Uitleg van onderdeel	Omschrijving	Uitleg van onderdeel		
Legenda		= verschil aanwezig / nuttig ter implementatie				
		= geen verschil aanwezig / niet nuttig ter implementatie				

5.2 Verschilanalyse

Na het verwerken van de informatie uit het literatuuronderzoek in de vergelijkingstabellen, is het mogelijk om de verschillen te bepalen. In deze paragraaf wordt kort weergegeven wat de uitkomst is van de verschilanalyse.

5.2.1 Algemeen

De vergelijkingstabel waarin 'algemene' kenmerken worden vergeleken, is in bijlage 2.1 opgenomen. Hieruit blijkt dat er verschil bestaat tussen regionale en primaire waterkeringen. Regionale waterkeringen bieden in hoofdzaak bescherming tegen binnenwater, waar primaire waterkeringen bescherming bieden tegen buitenwater, waarvan de waterstand niet of nauwelijks te regelen is.

De functie van de waterkeringen is hetzelfde, omdat ze beiden bescherming bieden tegen water. Daarnaast hebben beide waterkeringen nevenfuncties, zoals het faciliteren van recreatie en infrastructuur.

Het beheer van de twee typen waterkeringen is hetzelfde, maar de verantwoordelijke instantie voor het toezicht op de waterkering kan verschillen. Bij regionale waterkeringen is de provincie hoofdzakelijk verantwoordelijk voor het toezicht, terwijl dit bij primaire waterkeringen de ILT is.

Het beheerdersoordeel heeft bij beide toetsingsmethoden dezelfde functie. Dit oordeel geeft de mogelijkheid om als beheerder de veiligheid van de kering te beoordelen. Bij beide toetsingsmethoden vindt er voorafgaand aan de uitvoering van de toetsing, een filter plaats. Hiermee wordt beoordeeld of er overgegaan moet worden op het uitvoeren van de toetsing.

De verschillen die hierboven beschreven staan, zijn niet nuttig om te implementeren. Deze afweging is gebaseerd op het feit dat de verschillen geen significante invloed hebben op de methode van toetsen.

De normering van de regionale en primaire waterkeringen verschilt wel significant van elkaar. De norm voor regionale waterkeringen is gebaseerd op een overschrijdingskans, terwijl de norm voor primaire waterkeringen gebaseerd is op een overstromingskans. Het verschil in normering kan nuttig zijn om te implementeren, omdat de overstromingskans uitgaat van nieuwe inzichten en het huidige veiligheidsniveau van een waterkering beter weergeeft.

5.2.2 Faalmechanismen

De faalmechanismen die meegenomen zijn in de verschilanalyse, zijn: piping, macrostabiliteit binnenwaarts en buitenwaarts, microstabiliteit, bekleding en voorland. Dit zijn faalmechanismen die bij beide toetsingsmethoden voorkomen en relevant zijn voor de verdere uitwerking van de hoofdvraag.

Piping

De vergelijkingstabel, waarin het faalmechanisme piping wordt behandeld, is in bijlage 2.2 opgenomen. De opbouw van de beoordeling is in beide toetsingsmethoden gelijk. Dit houdt in dat er op drie niveaus wordt getoetst. Binnen deze niveaus is er wel verschil in invulling van de toetsing. Zo wordt er binnen het WBI gebruik gemaakt van een faalkansbegroting en het lengte-effect. Daarnaast is de uitdrukking van het oordeel voor het faalmechanisme ook verschillend, omdat de norm op een andere wijze wordt bepaald en uitgedrukt (zie ook par. 5.2.1).

Macrostabiliteit binnenwaarts

De vergelijkingstabel is in bijlage 2.3 opgenomen. Uit de tabel blijkt dat er verschil bestaat op alle niveaus van beoordelen. In het WBI wordt er bijvoorbeeld geen gebruik gemaakt van een schematiseringsfactor, terwijl dit binnen de LTVRW bepaald wordt met behulp van een stappenplan. Ook het lengte-effect en de faalkansbegroting komen niet aan de orde binnen de LTVRW.

Macrostabiliteit buitenwaarts

De vergelijkingstabel is in bijlage 2.4 opgenomen. De invulling van de toetsing uit de LTVRW is gebaseerd op de toetsing van macrostabiliteit binnenwaarts. Dit geldt ook voor de invulling van de toetsing binnen het WBI. De verschillen die hierboven beschreven staan bij macrostabiliteit binnenwaarts, gelden daarom ook voor macrostabiliteit buitenwaarts.

Microstabiliteit

De vergelijkingstabel is in bijlage 2.5 opgenomen. Uit de vergelijkingstabel blijkt dat er bij beide toetsingsmethoden gebruik gemaakt wordt van drie niveaus. Ook binnen deze toetsing is de faalkansbegroting en het lengte-effect een belangrijk verschil.

Bekleding

De vergelijkingstabel is in bijlage 2.6 opgenomen. De toetsing van bekleding valt uiteen in vier onderdelen: erosie buitentalud, afschuiven buitentalud, erosie kruin en binnentalud en afschuiven binnentalud. De eenvoudige beoordeling voor deze vier onderdelen is niet nuttig ter implementatie, omdat deze beoordeling niet van elkaar verschilt. De gedetailleerde beoordeling is voor alle onderdelen nuttig om te implementeren, behalve voor afschuiven binnentalud. In deze beoordeling wordt er van dezelfde formule gebruik gemaakt. De geavanceerde beoordeling is in zijn geheel nuttig voor implementatie, omdat het WBI per onderdeel een beoordeling voorschrijft en de LTVRW dit niet doet.

Voorland

De vergelijkingstabel is in bijlage 2.7 opgenomen. Binnen de toetsing van het voorland zijn er twee onderdelen te onderscheiden: afschuiving en zettingsvloeiing. In de eenvoudige beoordeling van de LTVRW wordt hier geen onderscheid in gemaakt, maar wordt er op basis van eenvoudige criteria bepaald of de faalmechanismen voor kunnen komen. Het WBI heeft wel aparte toetsen voor de twee verschillende onderdelen. Bij de gedetailleerde beoordeling is er alleen een beoordeling beschikbaar voor 'afschuiving' binnen de LTVRW. Het WBI heeft hier ook twee aparte toetsen voor de beide onderdelen. De geavanceerde beoordeling is binnen het WBI uitgebreider en voorzien van nieuwe inzichten.

5.2.3 Eindoordeel

De vergelijkingstabel, die betrekking heeft op het eindoordeel van de toetsing, is in bijlage 2.8 opgenomen. In de tabel is onderscheid gemaakt in de methode van combineren om tot een eindoordeel te komen en hoe dit eindoordeel uitgedrukt wordt. Binnen de LTVRW wordt per toetsspoor het beheerdersoordeel gecombineerd met het technisch oordeel. Het WBI heeft een andere manier van combineren, namelijk assembleren. Hiermee wordt een veiligheidsoordeel per traject gegenereerd, waarin ook duidelijk wordt hoe deze is opgebouwd, namelijk uit combinaties van vakken en toetssporen (Diermanse, 2016). Op deze manier wordt er inzichtelijk gemaakt in welke staat de waterkering is en hoever het veiligheidsniveau van de norm verwijderd is.

De uitdrukking van het eindoordeel is ook verschillend. Binnen de LTVRW wordt het eindoordeel per dijkvak uitgedrukt in de termen 'voldoet aan de norm' of 'voldoet niet aan de norm'. Het WBI heeft een vele malen nauwkeuriger opbouw van het eindoordeel. Hierbij kan een oordeel per vak, per traject per toetsspoor en voor een geheel traject gegeven worden. Deze oordelen worden in een categorie ingedeeld, waarbij de zwakste maatgevend is. Het proces van het genereren van een eindoordeel is in zijn geheel nuttig voor implementatie.

5.2.4 Overig

Naast de vergelijkingstabellen die opgesteld en beschreven zijn in paragraaf 5.2.1 t/m 5.2.3, zijn er nog meer verschillen aan te wijzen in de toetsingsmethoden.

Software

De toetsing van regionale waterkeringen wordt uitgevoerd op een relatief eenvoudige manier. Dit betekent ook dat er geen gebruik gemaakt wordt van gecompliceerde software. De software die gebruikt wordt voor de toetsing, zijn in hoofdzaak D-Geo Stability, AutoCAD en GIS. Het WBI maakt wel gebruik van een groot softwarepakket. Dit is software die speciaal ontwikkeld is voor het uitvoeren van de toetsing. Het vergt daarom meer inspanning om met deze programma's te kunnen werken. Voorbeelden van software zijn D-Soil en RisKeer.

Schematiseringshandleiding

Voor de verschillende faalmechanismen binnen het WBI zijn schematiseringshandleidingen opgesteld. Het doel van deze handleidingen is om het proces te beschrijven om tot een goede schematisering te komen. Hierbij wordt bijvoorbeeld uitgewerkt hoe veldgegevens omgezet moeten worden in nuttige informatie voor een goede schematisering. De LTVRW voorziet hier op een andere manier in, namelijk met een aparte module binnen de LTVRW. Deze is echter niet zo uitgebreid als de handleidingen die gegeven worden binnen het WBI.

'Voorafgaande' beoordelingen

De LTVRW voorziet in enkele toetsen die niet (expliciet) voorkomen in het WBI. Dit betreft de toets op droogtegevoeligheid, hoogte, geometrische situatie, hydraulische kortsluiting en opdrijven/opbarsten. De toets op droogtegevoeligheid is specifiek voor veenkaden, omdat deze in tijden van droogte uit kunnen drogen. Binnen de LTVRW vormt de toets op hoogte een apart toetsspoor. Het WBI verwerkt deze toets in de beoordeling van de bekleding en microstabiliteit. Ook de toets op geometrie en hydraulische kortsluiting wordt niet apart beoordeeld in het WBI, maar deze kenmerken worden meegenomen in de eenvoudige beoordeling van diverse beoordelingssporen. De toets op opdrijven/opbarsten is in het WBI opgenomen in de toets op piping.

5.3 Toekomstbeeld regionale waterkeringen

De beschrijving van het toekomstbeeld in deze paragraaf is van belang voor de overgang naar hoofdstuk 6. Daarin wordt de multicriteria analyse behandeld, waarbij ook het toekomstbeeld een rol speelt.

5.3.1 Huidige situatie

De regionale waterkeringen vervullen een belangrijke functie in de bescherming tegen overstromingen. Daarnaast zorgen ze er voor dat de boezemsystemen in Nederland in stand gehouden kunnen worden en dat er beroeps- en recreatievaart mogelijk is. Kennis over de regionale waterkeringen is daarom van groot belang.

In de 'Visie op regionale waterkeringen 2016' wordt teruggekeken op de periode tussen 2004 en 2016. Hieruit blijkt dat er verschillende zaken zijn die in overweging genomen moeten worden, om het toekomstbeeld te bepalen. De zaken die in overweging genomen moeten worden, zijn (STOWA, 2016):

- Effecten van klimaatverandering en bodemdaling
- Scheefgroei in kosten en baten wat betreft instandhouden/versterken waterkering
- Nieuwe benadering van waterveiligheid in Deltaprogramma

5.3.2 Actuele ontwikkelingen

De ontwikkelingen die gaande zijn rondom de primaire waterkeringen, zorgen voor nieuwe inzichten en kennis van waterkeringen in het algemeen. Deze kennis en kunde kan niet zonder meer geïmplementeerd worden in de toetsing van regionale waterkeringen. Om te bepalen of een onderdeel geïmplementeerd kan worden, worden er pilots uitgevoerd. De actuele ontwikkelingen die betrekking hebben op de toetsing van regionale waterkeringen, worden hier beschreven.

Basisveiligheid

De Waterwet, die in 2017 in werking is getreden, heeft een ingrijpende wijziging aangebracht in de normering van primaire waterkeringen. In deze wijziging wordt vastgelegd dat elke burger in Nederland op een bepaalde basisveiligheid tegen overstromingen kan rekenen. Deze veiligheid wordt gebaseerd op de overlijdenskans van een individu (STOWA, 2016). De normeringssystematiek van de regionale waterkeringen sluit hier niet geheel op aan. Daarom worden er onderzoeken uitgevoerd om te achterhalen of deze op elkaar aangesloten kunnen worden. Deze onderzoeken worden uitgevoerd in opdracht van STOWA.

Scheefgroei tussen kosten en baten

Na het uitvoeren van de toetsen, worden er verbetermaatregelen opgesteld om de kering aan de norm te laten voldoen. Dit heeft er meer dan eens voor gezorgd dat de kosten voor de verbetering hoger waren dan de kosten van de te voorkomen schade. Dit heeft geleid tot scheefgroei tussen de kosten en de baten, wat niet wenselijk is. Daarom is het van belang om goed inzicht te hebben in de kosten van een verbetering t.o.v. de financiële gevolgen van een overstroming.

Primaire waterkeringen

Binnen de 'Visie op regionale waterkeringen 2016' wordt de link met de primaire waterkeringen vaak gelegd. Er is veel ruimte om de kennis, die ontwikkeld is rondom deze waterkeringen, te implementeren in de toetsing van regionale waterkeringen. Daarbij is het een grote uitdaging om de praktijkresultaten te beschrijven in nieuwe theorieën en deze vervolgens toepasbaar te maken voor de regionale waterkeringen. Het doel hiervan is om de systematieken beter op elkaar aan te laten sluiten.

5.3.3 Toekomstbeeld

Met de ontwikkelingen die gaande zijn, wil men iets bereiken in de toekomst. Om dit toekomstbeeld weer te geven, worden er in de 'Visie op regionale waterkeringen 2016' vergezichten voor het jaar 2050 beschreven.

Het toekomstbeeld wat geschetst wordt, geeft aan dat Nederland in 2050 ingericht is op extreem natte en extreem droge situaties. Om dit doel te bereiken, moeten er oplossingen gevonden worden die de basisveiligheid faciliteren. Daarvoor moet er geïnvesteerd worden in regionale waterkeringen, waar een groot risico aanwezig is.

In de toekomst moeten alle waterkeringen voldoen aan de norm. Hiervoor zijn investeringen in kennis en regionale waterkeringen nodig. De investeringen moeten daarom vooral gedaan worden op onderdelen waar het effect het grootst is. Dit hangt samen met het bewustzijn dat er niet eindeloos geld beschikbaar is voor de regionale waterkeringen en dat bestuurlijke beslissingen vaak ten grondslag liggen aan de veiligheid die geboden wordt door regionale waterkeringen.

6. BEPALEN VAN WBI-ELEMENTEN

Om tot elementen te komen die geïmplementeerd kunnen worden in de LTVRW, zijn in het voorgaande hoofdstuk vergelijkingstabellen opgesteld. In dit hoofdstuk wordt de volgende stap gezet in het bepalen van de elementen.

In de eerste paragraaf wordt het afwegingsproces toegelicht. Dit is het proces wat doorlopen is vanaf het opstellen van de vergelijkingstabellen. Vervolgens worden de resultaten van dit proces weergegeven. In de derde paragraaf wordt met behulp van een multicriteria analyse een rangschikking gemaakt. Deze rangschikking geeft aan van welke elementen verwacht wordt dat deze veel toegevoegde waarde hebben. De laatste paragraaf geeft de invulling van de nieuwe toetsingsmethode weer, waarin de belangrijkste elementen worden beschreven.

6.1 Afwegingsproces

Het proces wat doorlopen is om te komen tot elementen, is afgebeeld in onderstaande figuur 6-1. De verschillende stappen worden vervolgens nader toegelicht.



Figuur 6-1 Afwegingsproces

6.1.1 Stap 1: Vergelijkingstabellen op hoofdlijnen

De opgedane kennis over de primaire en regionale waterkeringen, is beschreven in het literatuuronderzoek en in de hoofdstukken 3 en 4 van dit adviesrapport. Vanuit deze kennis zijn vergelijkingstabellen opgesteld. De vergelijkingstabellen geven op hoofdlijnen de verschillen weer tussen de twee toetsingsmethoden. Deze vergelijkingstabellen zijn opgenomen in bijlage 2.1 t/m 2.8 en de beschrijving van de verschillen is in hoofdstuk 5 opgenomen. De verschillen die hiermee inzichtelijk zijn gemaakt, dienen als basis voor het verdere afwegingsproces.

6.1.2 Stap 2: Scope afbakening

Uit de vergelijkingstabellen op hoofdlijnen is gebleken dat er veel verschil bestaat tussen de twee toetsingsmethoden. Er is echter niet voldoende tijd om alle verschillen gedetailleerd uit te werken. Daarom is de scope verder afgebakend, zodat de focus ligt op écht relevante verschillen. In overleg met RPS is er gekozen om de belangrijkste faalmechanismen te beschouwen bij het onderzoek naar de mogelijk te implementeren elementen. Daarom is gekozen voor de faalmechanismen macrostabiliteit (zowel binnenwaarts als buitenwaarts) en piping, omdat de veiligheid met name door deze faalmechanismen wordt bepaald (Lendering, Kok, & Jonkman, 2015). Daarnaast worden ook de 'algemene' verschillen (bijlage 2.1) en de verschillen in de bepaling van het eindoordeel (bijlage 2.8) meegenomen.

6.1.3 Stap 3: Uitwerking op detailniveau

De vergelijkingstabellen bieden voldoende inzicht in het bepalen of er op hoofdlijnen verschil aanwezig is. Om elementen uit het WBI te bepalen die nuttig zijn voor implementatie, is er echter meer kennis nodig. Daarom is er op gedetailleerd niveau een analyse van de toetsingsmethoden uitgevoerd. Deze uitwerking op detailniveau richt zich op de drie faalmechanismen, waarbij het proces van schematisering tot beoordeling wordt geanalyseerd. Deze analyse is uitgevoerd vanuit twee reeds uitgevoerde toetsingen die ook beschreven staan in de praktijkvoorbeelden (zie paragraaf 3.4 en 4.4). De uitwerking op detailniveau van de LTVRW is opgenomen in bijlage 3.1 en van het WBI in bijlage 3.2.

6.1.4 Stap 4: Verschillen op detailniveau

De uitwerkingen op detailniveau zijn vervolgens samengevoegd om op detailniveau de verschillen te bepalen. Daarbij is de LTVRW als uitgangspunt genomen, omdat die toetsingsmethode als basis dient voor de implementatie. Het doel hiervan is om elementen uit het WBI in de LTVRW te implementeren, die nog niet aanwezig zijn in de toetsing of die verbeterd kunnen worden. De verschillen op detailniveau zijn weergegeven in de tabel die in bijlage 3.3 is opgenomen.

6.1.5 Stap 5: Bepalen elementen uit WBI voor mogelijke implementatie

De laatste stap in het bepalen van de elementen, is het samenvoegen van verschillen tot elementen. De verschillen die een directe relatie met elkaar hebben, worden samengevoegd tot één element. Hierdoor ontstaat een groepering van verschillen onder één gezamenlijke noemer: de naam van het element. De resultaten uit deze stap staan beschreven in de volgende paragraaf.

6.2 Resultaten bepaling elementen

Uit het afwegingsproces zijn elementen ontstaan die mogelijk nuttig zijn voor implementatie. De 16 elementen zijn in tabel 6-1 kort weergegeven. In de tabel staat het elementnummer genoemd, met daarbij het kenmerk en een korte toelichting. Voor meer informatie wordt verwezen naar bijlage 4. Daar worden de verschillen kort uitgelegd.

Tabel 6-1 Resultaten bepaling elementen

Element	Kenmerk	Toelichting
1	Normering	Elke waterkering heeft een norm. Deze norm geeft aan hoe veilig de kering dient te zijn.
2	Vakindeling	Een vak is een deel van een waterkering met uniforme eigenschappen en belastingen. De vakindeling wordt gemaakt voor de toetsing.
3	Dwarsprofiel	Een dwarsprofiel wordt per dijkvak opgesteld. Aan de hand van het dwarsprofiel wordt een toetsing uitgevoerd.
4	Bodemopbouw	De bodemopbouw geeft weer uit welke grondsoorten de ondergrond bestaat en hoe deze zijn opgebouwd.
5	Hydraulische belasting	Hydraulische belastingen zijn de belastingen die ervoor kunnen zorgen dat een kering bezwijkt. Aan de hand van de hydraulische belasting vind een toetsing plaats.
6	Freatische lijn	De freatische lijn is de lijn die aangeeft tot welke hoogte het grondwater stroomt in een dwarsprofiel van de kering.
7	Stabiliteitsfactor macrostabiliteit	De stabiliteitsfactor voor macrostabiliteit geeft aan of de kering stabiel genoeg is. Hiervoor dient de vereiste stabiliteitsfactor bepaald te worden.
8	Hoogte	De hoogte geeft het niveau aan waarop de kruin van de kering zich bevindt/moet bevinden.
9	Eenvoudige toets STPH	De eenvoudige toets op piping is de eerste toets op piping die wordt gedaan in het toetsproces.
10	Gedetailleerde toets STPH	De gedetailleerde toets op piping is de toets die gevolgd wordt na de eenvoudige beoordeling indien deze hiertoe leidt.
11	Eenvoudige toets STBI	De eenvoudige toets van macrostabiliteit binnenwaarts is de eerste toets die gevolgd wordt voor de beoordeling van faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts.
12	Gedetailleerde toets STBI	De gedetailleerde toets van macrostabiliteit binnenwaarts wordt gevolgd als de eenvoudige toets niet tot een oordeel leidt.
13	Eenvoudige toets STBU	De eenvoudige toets van macrostabiliteit buitenwaarts is de eerste toets die gevolgd wordt voor de beoordeling van faalmechanisme macrostabiliteit buitenwaarts.
14	Gedetailleerde toets STBU	De gedetailleerde toets van macrostabiliteit buitenwaarts wordt gevolgd als de eenvoudige toets niet tot een oordeel leidt.
15	Geavanceerde toets	De geavanceerde toets kan worden uitgevoerd als de eenvoudige en de gedetailleerde toets niet tot een oordeel leiden.
16	Eindbeoordeling	In de eindbeoordeling wordt onderbouwd hoe er tot een uiteindelijk resultaat en veiligheidsoordeel gekomen wordt.

6.3 Multicriteria analyse

De elementen die bepaald zijn in de voorgaande paragraaf, worden gerangschikt. Dit wordt gedaan met behulp van een multicriteria analyse (MCA). In de rangschikking wordt zichtbaar van welk element verwacht wordt dat deze de meeste toegevoegde waarde heeft, als deze

geïmplementeerd wordt in de LTVRW. Op deze manier is een onderbouwde keuze gemaakt voor de verdere uitwerking van de elementen.

De score in de MCA wordt bepaald aan de hand van een viertal criteria, die voorzien zijn van een wegingsfactor. Door alle elementen te beoordelen op de vier criteria, ontstaat er een eindscore per element. Deze eindscore zorgt voor de rangschikking in de elementen.

6.3.1 Criteria

Op basis van de criteria wordt de rangschikking bepaald. Het is daarom van groot belang om relevante en meetbare criteria op te stellen. De MCA wordt alleen gebruikt voor het bepalen van de rangschikking en niet om onderscheid aan te brengen tussen de elementen. De vier criteria zijn: effectief, tijdbesparend, invloed implementatie en toekomstgericht.

Criterion 1: Effectief

Dit criterium bepaalt of de implementatie van het betreffende element, een betrouwbaarder oordeel oplevert. Er wordt hierbij beoordeeld hoe dicht het oordeel bij de realiteit ligt. Met dit criterium wordt vooral de kwaliteit van de toetsing beoordeeld. In het verlengde van dit criterium is ook het aspect duurzaamheid aanwezig, omdat door een betere benadering van de realiteit, er minder (verbeter)maatregelen genomen hoeven te worden. Daarnaast kunnen de maatregelen ook gericht uitgevoerd worden.

Criterion 2: Tijdbesparend

De toetsing van regionale waterkeringen heeft een relatief lagere moeilijkheidsgraad dan de toetsing van primaire waterkeringen. Daardoor kan de toetsing ook sneller uitgevoerd worden. Het is de intentie om dit ook zo te houden, zodat de wijzigingen in 'tijd' niet ingrijpend zijn. Door dit aspect mee te nemen in de beoordeling, kan indirect op kosten bespaard worden.

Criterion 3: Invloed implementatie

Een element kan uitermate geschikt zijn voor implementatie, terwijl dit zeer grote gevolgen heeft voor andere aspecten van de toetsing. Daarom wordt in dit criterium beoordeeld of de implementatie gevolgen heeft voor andere delen van de toetsing. Het is wenselijk dat de elementen 'op zichzelf staan', zodat deze ook gemakkelijk te implementeren zijn.

Criterion 4: Toekomstgericht

De ontwikkelingen rondom de regionale waterkeringen zijn in volle gang, mede door het in werking treden van het WBI. Daarom is in hoofdstuk 5.3 een toekomstbeeld geschetst. In dit criterium wordt beoordeeld in hoeverre het element bijdraagt aan het toekomstbeeld. Daardoor wordt ook het risico uitgesloten, dat het element geen nuttige toevoeging is in de toekomst.

6.3.2 Weegfactoren

De criteria krijgen verschillende weegfactoren om daarmee aan te duiden hoe belangrijk een criterium is ten opzichte van de andere criteria. Het criterium 'effectief' is het belangrijkste, omdat hiermee de betrouwbaarheid van de toetsing wordt beïnvloed. De betrouwbaarheid van de toetsing wordt gezien als belangrijkste parameter. Vervolgens wordt het criterium 'toekomstgericht' als belangrijkste gezien. Hiermee wordt namelijk ook beoordeeld of het element in de toekomst nog nut heeft. De invloed van de implementatie is ook belangrijk, maar om onbevangen de elementen af te wegen en te implementeren, krijgt dit criterium de één na laagste weging. Het tijdbesparende aspect hangt ook samen met deze redenering, maar deze is minder belangrijk dan de invloed die de implementatie heeft. Daarom krijgt dit criterium de laagste weging.

De weging van de verschillende criteria is in tabel 6-2 opgenomen.

Tabel 6-2 *Weging per criterium*

Criterium	Kenmerk	Weging
1	Effectief	50%
2	Tijdbesparend	10%
3	Invloed implementatie	15%
4	Toekomstgericht	25%
Totaal		100%

6.3.3 Toekenning score

De scores worden toegekend op basis van aanwezige kennis en onderlinge vergelijking. Bij de onderlinge vergelijking wordt niet beoordeeld of het ene element beter scoort op een bepaald criterium dan het andere, maar wel om de toekenning van de scores te nuanceren.

Om een zo goed mogelijke vergelijking te maken, bestaan er vijf niveaus in het toekennen van de score. Deze niveaus worden aangeduid met de score 1 t/m 5. Daarbij is score 1 zeer slecht, score 3 gemiddeld/neutraal en score 5 zeer goed. In tabel 6-3 is de onderverdeling van de scores weergegeven.

Tabel 6-3 *Niveaus score toekenning*

Score	Toelichting
5	Zeer goed
4	Goed
3	Gemiddeld
2	Slecht
1	Zeer slecht

6.3.4 Uitkomsten

Na het bepalen van de criteria, weegfactoren en de score toekenning, is de MCA compleet. Het resultaat van de gevulde MCA staat in tabel 6-4 weergegeven. In bijlage 4 is per element toegelicht waarom welke score is toegekend aan de criteria.

Tabel 6-4 *Uitkomst MCA*

MCA	Criteria				Eindscore
Element	Effectief (50%)	Tijdbesparend (10%)	Invloed implementatie (15%)	Toekomstgericht (25%)	Totaal
1	4	3	1	3	3,20
2	5	1	5	1	3,60
3	4	2	5	1	3,20
4	5	4	2	1	3,45
5	3	3	3	1	2,50
6	4	3	4	1	3,15
7	3	4	2	1	2,45
8	3	4	2	3	2,95
9	2	5	4	3	2,85
10	5	2	4	3	4,05
11	3	4	5	3	3,40
12	4	3	4	3	3,65
13	3	4	5	3	3,40
14	4	3	4	3	3,65
15	3	3	5	1	2,80
16	5	2	4	5	4,55

Het doel van de MCA is om een rangschikking te maken, om te bepalen van welke elementen verwacht wordt dat ze de meeste toegevoegde waarde hebben. Hiervoor is tabel 6-5 opgesteld, die de rangschikking van de 16 elementen weergeeft.

Tabel 6-5 Rangschikking elementen

Rangschikking	Eindscore	Elementnummer	Kenmerk element
1	4,55	16	Eindbeoordeling
2	4,05	10	Gedetailleerde toets STPH
3	3,65	12	Gedetailleerde toets STBI
4	3,65	14	Gedetailleerde toets STBU
5	3,60	2	Vakindeling
6	3,45	4	Bodemopbouw
7	3,40	11	Eenvoudige toets STBI
8	3,40	13	Eenvoudige toets STBU
9	3,20	3	Dwarsprofiel
10	3,20	1	Normering
11	3,15	6	Freatische lijn
12	2,95	8	Hoogte
13	2,85	9	Eenvoudige toets STPH
14	2,80	15	Geavanceerde toets
15	2,50	5	Hydraulische belasting
16	2,45	7	Stabiliteitsfactor macrostabiliteit

6.4 Innovatieve toetsingsmethode

De elementen waarvan verwacht wordt dat deze de meeste toegevoegde waarde hebben, zijn het hoogst geëindigd in de rangschikking. In deze paragraaf worden de elementen nader beschreven, waarbij zowel de werkwijze in de LTVRW als in het WBI aan bod komt. Vervolgens wordt het doel van de implementatie beschreven.

De top 5 van de rangschikking wordt nader uitgewerkt, waarbij de toetsing STPH, STBI en STBU in zijn geheel wordt onderzocht (eenvoudige en gedetailleerde toetsing). Element 2 – vakindeling is niet nader onderzocht, omdat (bij nader inzien) verwacht wordt dat element 4 – bodemopbouw meer toegevoegde waarde heeft. Daarnaast is de vakindeling deels afhankelijk van element 4, waardoor gekozen is om dat element verder uit te werken.

6.4.1 Element 16 – Eindbeoordeling

Eindbeoordeling in LTVRW

In de LTVRW wordt er per faalmechanisme een technisch oordeel en een beheerdersoordeel opgesteld. Deze oordelen kunnen bestaan uit ‘voldoet’, ‘voldoet niet’ en ‘nader onderzoek’. De combinatie van het technisch oordeel en het beheerdersoordeel, waarin de ‘zwakste’ als maatgevend wordt beschouwd, is de beoordeling voor het betreffende faalmechanisme. Uiteindelijk worden alle toetsoordelen gecombineerd tot een eindbeoordeling. Ook hier is de ‘zwakste’ maatgevend. In bijlage 1 – deel B, paragraaf 3.14 is de eindbeoordeling middels de LTVRW uitgebreid toegelicht.

Eindbeoordeling in WBI

In het WBI worden oordelen uitgedrukt in een faalkans óf een oordeel ‘voldoet’ of ‘voldoet niet’. Dit is afhankelijk van de groep waarin het toetsspoor is ingedeeld (zie ook bijlage 1 – deel A, paragraaf 3.2.2). Deze oordelen worden met elkaar gecombineerd. Dit wordt assembleren genoemd. Het combineren levert drie verschillende oordelen op, namelijk: een oordeel per vak, een oordeel per toetsspoor voor het gehele traject en een oordeel van alle toetssporen voor het gehele traject. Het oordeel per vak en het oordeel per toetsspoor voor het gehele traject worden uitgedrukt in categorie I t/m VII (zie ook bijlage 1.3 van het literatuuronderzoek). Het oordeel van alle toetssporen voor het gehele traject wordt uitgedrukt in categorie A+ t/m D. De categorieën zijn ervoor om direct te kunnen constateren in welke toestand (een deel van) de waterkering verkeerd. De ondergrens en signaleringswaarde bepalen samen met de norm de categorieën. In paragraaf 4.4 wordt het assembleren duidelijk toegelicht aan de hand van het praktijkvoorbeeld.

Doel van het element

Het doel van assembleren is om inzicht te krijgen in de mate van het wel/niet voldoen van de waterkering. Dit wordt uitgedrukt in een afstand tot de norm. Aan de hand van de afstand tot de norm wordt de categorie bepaald. Zo kan nauwkeurig worden bepaald in hoeverre er (verbeter)maatregelen genomen moeten worden. Het levert dus een effectiever resultaat op. De categorieën in veiligheidsoordelen zijn in tabel 6-6 weergegeven.

Tabel 6-6 Categorieën van het veiligheidsoordeel
Overgenomen en bewerkt van Regeling veiligheid primaire keringen 2017

Categorie	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>

6.4.2 Element 11 & 12 – Toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts

Toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts in LTVRW

Het toetsspoor bestaat uit een eenvoudige en een gedetailleerde beoordeling. In de eenvoudige beoordeling kan op basis van eenvoudige rekenregels tot een oordeel worden gekomen. Dit gebeurt op basis van (STOWA, 2015, p. 94):

- Een geometrische toets
- Eerdere toetsresultaten
- De gehanteerde ontwerpmethode

In de gedetailleerde beoordeling wordt met behulp van een stabiliteitsfactor de veiligheid bepaald. Hiervoor wordt D-Geo Stability, gebruikt waarin de rekenmodellen Bishop, Uplift-Van en Spencer worden toegepast. De kleinste stabiliteitsfactor uit deze rekenmodellen is maatgevend voor het oordeel. De vereiste stabiliteitsfactor wordt bepaald door de schematiseringsfactor, modelfactor, partiële materiaalfactor en de schadefactor met elkaar te vermenigvuldigen. Een aandachtspunt bij de gedetailleerde beoordeling is de belastingssituatie. Hierbij wordt rekening gehouden met droogtegevoeligheid.

Toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts in WBI

Het toetsspoor bestaat uit een eenvoudige en een gedetailleerde toets. In de eenvoudige toets worden drie stappen doorlopen. Hierbij wordt gekeken of er direct tot een oordeel kan worden gekomen. Als aan de volgende criteria wordt voldaan, is het faalmechanisme niet van toepassing of verwaarloosbaar (Rijkswaterstaat (2), 2017):

- Waterkering is geen dijk of dam
- Constructieve elementen zijn aanwezig
- De waterkering voldoet aan de eenvoudige toets op basis van algemene kenmerken

In de gedetailleerde toets wordt er een faalkans berekend voor de maatgevende doorsnede. De faalkans wordt bepaald met behulp van de stabiliteitsfactor, die met de Uplift-Van rekenmethode wordt bepaald. Dit gebeurt in BM macrostabiliteit, een softwareprogramma dat speciaal is opgezet voor het WBI. Door de faalkans te vergelijken met de maximaal toelaatbare faalkans kan tot een oordeel worden gekomen. De maximaal toelaatbare faalkans wordt berekend met behulp van de norm, het lengte-effect en de faalkansbegroting. De vereiste stabiliteitsfactor wordt bepaald door de schadefactor en de modelfactor met elkaar te vermenigvuldigen. Bij de bepaling van de freatische lijn wordt gebruik gemaakt van de

indringingslengte en de lek lengte. Het softwareprogramma Waternet Creator bepaalt de freatische lijn met behulp van invoergegevens.

Doel van het element

Het doel van het element is om met behulp van het lengte-effect de toetsing betrouwbaarder te maken. Ook de overige nieuwe ontwikkelingen kunnen hier aan bijdragen. Verder is het met de implementatie van de faalkansbegroting mogelijk om de relevantie van macrostabiliteit binnenwaarts te beschouwen voor een bepaald deel boezemkade.

6.4.3 Element 13 & 14 – Toetsspoor macrostabiliteit buitenwaarts

Toetsspoor macrostabiliteit buitenwaarts in LTVRW

Het toetsspoor bestaat uit een eenvoudige en een gedetailleerde beoordeling. De eenvoudige beoordeling bestaat uit vijf criteria. Als aan één van deze criteria wordt voldaan, kan macrostabiliteit buitenwaarts voorkomen. De criteria zijn (STOWA, 2015, p. 99):

- Extreem laagwater door natuurlijke variatie
- Val van het waterpeil door calamiteit elders
- Verdieping van waterbodem of vooroever (door baggeren en/of erosie) en schade aan beschoeiing
- Extreme verkeersbelasting
- Extreem laagwater door (tijdelijke) verlaging van de waterstand door menselijke activiteiten

De gedetailleerde toets komt overeen met die van STBI. Deze is in de voorgaande paragraaf beschreven. Toch zijn er een aantal onderdelen afwijkend, namelijk: Een lagere buitenwaterstand is maatgevend en droogtegevoeligheid wordt niet meegenomen. Ook is het mogelijk de schadefactor te wijzigen, omdat de gevolgen van het faalmechanisme in veel gevallen beperkt blijven.

Toetsspoor macrostabiliteit buitenwaarts in WBI

Het toetsspoor bestaat uit een eenvoudige en een gedetailleerde toets. Beide toetsen zijn vrijwel hetzelfde als bij STBI. Deze toets is in de voorgaande paragraaf toegelicht. Echter zijn er in de gedetailleerde toets een aantal onderdelen afwijkend. De freatische lijn wordt aangepast naar 'peil na val' (lage waterstand met een verhoogde freatische lijn), omdat dit de maatgevende belasting is voor het faalmechanisme. Ook wordt in plaats van het softwareprogramma BM macrostabiliteit het programma D-Geo Stability toegepast. Verder wordt rekening gehouden met het feit dat het een indirect faalmechanisme is, waardoor de faalkanseis minder streng is.

Doel van het element

Het doel van STBU is hetzelfde als bij STBI. Echter wordt hier nog aan toegevoegd dat de toets betrouwbaarder moet worden aan de hand van een factor, die wordt toegepast in verband met een indirect faalmechanisme. Dit geeft een betere weergave van de werkelijkheid.

6.4.4 Element 9 & 10 – Toetsspoor piping

Toetsspoor piping in LTVRW

Het toetsspoor bestaat uit een eenvoudige en een gedetailleerde beoordeling. In de eenvoudige beoordeling worden vier voorwaarden beschouwd. Als aan één van deze voorwaarden wordt voldaan, is STPH niet relevant. De voorwaarden zijn (STOWA, 2015, p. 89):

- De dijk is opgebouwd uit zand en ligt direct op een zandondergrond
- Een intredepunt is afwezig
- Een uittredepunt is afwezig
- Verticaal zandtransport treedt niet op

Als er geen oordeel kan worden gegeven met behulp van de eenvoudige beoordeling, wordt overgegaan op de gedetailleerde beoordeling. De gedetailleerde beoordeling bestaat uit drie stappen (STOWA, 2015, p. 91):

1. Bepalen of sprake kan zijn van heave, indien de stijghoogte gedetailleerd wordt berekend.
2. Bepalen of sprake kan zijn van opbarsten van de afdekkende laag in het achterland, indien de stijghoogte gedetailleerd wordt berekend.
3. Controle of de dijk aan de toetsingsregel voldoet aan de hand van Sellmeijer.

STPH krijgt een voldoende als één van de bovenstaande stappen met een voldoende beoordeeld wordt.

Toetsspoor piping in WBI

Het toetsspoor bestaat uit een eenvoudige en een gedetailleerde toets. De eenvoudige toets bestaat uit vijf voorwaarden. Als er wordt voldaan aan één van deze voorwaarden, is de faalkans verwaarloosbaar of is piping niet van toepassing. De voorwaarden zijn (Rijkswaterstaat (2), 2017, p. 38):

- Waterkering betreft een duin of kunstwerk
- Waterkering bestaat uit een zanddijk op zandondergrond
- Constructieve elementen zijn aanwezig in grondlichaam of ondergrond
- Voldoet aan veilige tijdsafhankelijke benadering
- Toets op basis van geometrische kenmerken

Als op basis van de eenvoudige toets verder beoordeeld moet worden, wordt overgegaan op de gedetailleerde toets. In de gedetailleerde toets wordt voor drie deelfaalmechanismen de faalkans bepaald. De kleinste faalkans van deze drie deelfaalmechanismen is maatgevend, omdat piping enkel optreedt wanneer alle drie de deelfaalmechanismen optreden. De volgende deelfaalmechanismen worden berekend (Rijkswaterstaat (2), 2017, p. 42):

- Opbarsten: Met behulp van het kritisch stijghoogteverschil wordt de stabiliteitsfactor bepaald.
- Heave: Met behulp van de kritische en de optredende heave gradiënt wordt de stabiliteitsfactor wordt bepaald.
- Terugschrijdende erosie: Met behulp van de rekenmethode Sellmeijer wordt het kritieke verval bepaald. Vervolgens wordt de stabiliteitsfactor bepaald.

De berekende stabiliteitsfactoren worden vervolgens omgerekend naar faalkansen. Deze faalkansen worden vergeleken met de maximaal toelaatbare faalkansen. De maximaal toelaatbare faalkans wordt berekend met de norm, het lengte-effect en de faalkansbegroting.

Doel van het element

Net als het toetsspoor voor macrostabiliteit, is ook STPH verder ontwikkeld binnen het WBI. Het doel van de implementatie is om vernieuwde kennis over te brengen naar de LTVRW, zodat de toetsing efficiënter wordt.

6.4.5 Element 4 – Bodemopbouw

Bodemopbouw in LTVRW

Bij het bepalen van de bodemopbouw, wordt binnen de LTVRW gebruik gemaakt van boringen en sonderingen. De locaties van dit veldonderzoek zijn verschillend, maar informatie over de bodemopbouw ter plaatse van de teen, kruin en achterland zijn van wezenlijk belang. Met behulp van het veldonderzoek wordt vervolgens laboratoriumonderzoek verricht. Dit heeft als doel om de verschillende grondsoorten te onderscheiden en deze vast te leggen in een geotechnisch lengteprofiel.

Bodemopbouw in WBI

Binnen de beoordelingssystematiek van het WBI is er een speciale plaats voor het bepalen van de grondopbouw. Dit betreft de WTI-SOS methode. Het uitgangspunt van deze methode is om de onzekerheid die er bestaat in de ondergrond, te benoemen en te kwantificeren. Om dit op een goede manier vorm te geven, zijn er segmenten bepaald voor de primaire waterkeringen. Deze segmenten staan geheel los van de trajectindeling, omdat segmenten relatie hebben met de bodemopbouw en trajecten hebben een administratieve functie. Binnen een segment zijn er gemiddeld 5 verschillende scenario's opgenomen. Deze scenario's geven de (mogelijke) bodemopbouw weer binnen het betreffende segment, op basis van waarnemingen en inzichten in het grondsysteem door experts. De scenario's hebben allemaal een bepaalde kans van voorkomen, waarmee de onzekerheid van de schematisatie wordt ondervangen. Deze kans van voorkomen wordt gebaseerd op de SOS-eenheden. 'Een SOS-eenheid bestaat uit een grondlaag of grondlagen die relatief homogeen verdeelde eigenschappen hebben' (Kruse & Hijma, 2015, pp. A-1). Een SOS-eenheid geeft dus de karakteristieke gegevens weer voor een bepaalde grondlaag. Per eenheid wordt bepaald wat de kans van voorkomen is, waardoor de gecombineerde kans van voorkomen per scenario bepaald kan worden.

De SOS-segmenten en de aanvullende grondgegevens worden gebruikt om de bodemopbouw te bepalen. Deze bodemopbouw wordt per faalmechanisme bepaald, omdat voor ieder faalmechanisme andere uitgangspunten genomen moeten worden. Dit wordt 'lokaal schematiseren' genoemd.

Doel van het element

Door het toepassen van WTI-SOS kan de faalkans van de waterkering beter beoordeeld en onderbouwd worden. De uitkomsten van de berekeningen met de verschillende scenario's kunnen namelijk gecombineerd worden. Ook kunnen de lokale schematisaties gemakkelijk hergebruikt worden, wat de inspanning bij een volgende toetsing ten goede komt. Samen met de scenario's kan dit in de toekomst een grote database vormen, voor een bepaald stuk van de waterkering.

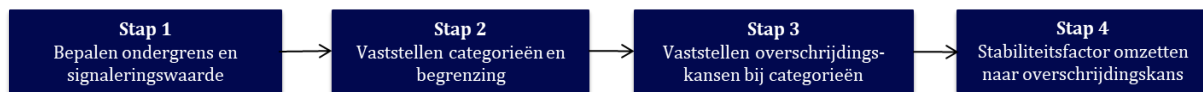
7. IMPLEMENTATIE WBI-ELEMENTEN

De elementen waarvan verwacht wordt dat deze de meeste toegevoegde waarde hebben voor de toetsing van regionale waterkeringen, worden in dit hoofdstuk geanalyseerd. Dit wordt gedaan door de elementen te testen in een casestudy. De casestudy bestaat uit een toetsing, die uitgevoerd is door RPS, van de Broekmeerpolder (zie ook paragraaf 3.4). Per paragraaf wordt een element (of twee elementen) behandeld. De casestudy, het effect op de huidige toetsing en de trendbreuk staan per paragraaf beschreven.

7.1 Element 16 – Eindbeoordeling

7.1.1 Casestudy

De eindbeoordeling wordt in vier stappen geïmplementeerd. Dit gebeurt met behulp van de casestudy. In figuur 7-1 zijn de vier stappen weergegeven.



Figuur 7-1 Stappenplan casestudy eindbeoordeling

Stap 1: Bepalen ondergrens en signaleringswaarde

Bij de eindbeoordeling in het WBI wordt gebruik gemaakt van een ondergrens en een signaleringswaarde. Deze waarden zijn toegelicht in paragraaf 4.2.2. Dit zijn belangrijke waarden die van belang zijn voor de implementatie en dienen een plaats te krijgen binnen de LTVRW. Dit wordt op de volgende manier gedaan:

- Een grotere overschrijdingskans dan de norm wordt als falen beschouwd.
- De ondergrens is gelijk aan de norm (IPO-klasse) van de regionale kering.
- De signaleringswaarde is drie keer zo klein als de ondergrens.

Stap 2: Vaststellen categorieën en begrenzing

De eindbeoordeling volgens het WBI geeft nauwkeurig de veiligheidstoestand van de waterkering weer, doordat er met categorieën wordt gewerkt. De begrenzing van de categorieën wordt bepaald door een factor 30 toe te passen. Hiermee wordt vastgesteld in welke categorie een overschrijdingskans valt. Het implementatiemodel van de categorieën is in tabel 7-1 weergegeven.

Tabel 7-1 Implementatiemodel eindbeoordeling

Categorie	Aanduiding categorie	Begrenzing
I	Overschrijdingskans is veel kleiner dan de signaleringswaarde	$1/30 P_s > P_o$
II	Overschrijdingskans is kleiner dan de signaleringswaarde	$1/30 P_s < P_o < P_n$
III	Overschrijdingskans is groter dan de signaleringswaarde, maar kleiner dan ondergrens	$P_s < P_o < P_n$
IV	Overschrijdingskans van het dijkvak is groter dan de signaleringswaarde en de ondergrens	$P_n < P_o < 30 \cdot P_n$
V	Overschrijdingskans is veel groter dan de signaleringswaarde en de ondergrens	$P_o > 30 \cdot P_n$
<i>P_o</i> = Berekende overschrijdingskans		
<i>P_s</i> = Signaleringswaarde		
<i>P_n</i> = Ondergrens (norm)		

Het implementatiemodel, zoals in tabel 7-1 weergegeven, heeft een aantal verschillen ten opzichte van de eindbeoordeling in het WBI. In het WBI wordt er gebruik gemaakt van drie verschillende categorie indelingen. In het implementatiemodel wordt voor een oordeel per vak, per toetsspoor of per traject met bovenstaand model gewerkt (categorie I t/m V). Dit komt doordat het lengte-effect, de faalkansbegroting en de overstromingskansbenadering niet worden meegenomen in de LTVRW.

Ook wordt er in het WBI gecombineerd met behulp van de combinatieformule (zie paragraaf 4.4.4) en met behulp van het lengte-effect. Dit is in de implementatie niet meegenomen, omdat met overschrijdingskansen dit geen toegevoegde waarde geeft. Verder bestaat het lengte-effect

niet binnen de LTVRW. Omdat deze manieren van combineren geen toegevoegde waarde hebben, is met combineren de 'zwakste' maatgevend.

Stap 3: Vaststellen overschrijdingskansen bij categorieën

In de casestudy komen twee normen voor, namelijk 1/10 en 1/30 (1/jaar). De secties BR_01 tot en met BR_04 hebben een maximale overschrijdingskans van 1/10 en de secties BR_05 tot en met BR_10 hebben een maximale overschrijdingskans van 1/30. De resultaten van de toetsing van de Broekermerepolder zijn gebruikt om de implementatie van element 16 te testen. In tabel 7-2 zijn de waarden van de overschrijdingskansen weergegeven om te bepalen in welke categorie de berekende overschrijdingskansen valt. Deze waarden zijn afgeleid van de begrenzing die in tabel 7-1 is weergegeven.

Tabel 7-2 Categoriewaarden voor Sectie BR_01 t/m BR_04 en BR_05 t/m BR_10

Sectie BR_01 t/m BR_04		Sectie BR_05 t/m BR_10	
Categorie	Waarde P_o (1/jaar)	Categorie	Waarde P_o (1/jaar)
I	$< 1/1000$	I	$< 1/3000$
II	$1/1000 - 1/30$	II	$1/3000 - 1/100$
III	$1/30 - 1/10$	III	$1/100 - 1/30$
IV	$1/10 - 3$	IV	$1/30 - 1$
V	> 3	V	> 1

Om gebruik te maken van de categorieën, moet de beoordeling per faalmechanisme uitgedrukt worden in een overschrijdingskans. In de LTVRW wordt de beoordeling van toetssporen niet uitgedrukt in kansen, wat in het WBI bij veel toetssporen wel gebeurt. Daarom wordt bekeken of dit toch mogelijk is voor de LTVRW. Als voorbeeld zijn de toetssporen van macrostabiliteit gekozen. Hier wordt namelijk de stabiliteitsfactor berekend met behulp van de schadefactor. De schadefactor heeft een relatie met de overschrijdingskans. In tabel 7-3 is per sectie de berekende stabiliteitsfactor (S.F.) weergegeven met de daarbij horende overschrijdingskansen (P_o). Dit is gedaan voor macrostabiliteit binnen- en buitenwaarts. Dit wordt verder uitgewerkt in de volgende stap.

Stap 4: Stabiliteitsfactor omzetten naar overschrijdingskansen

De faalkans is bepaald met behulp van de bekende stabiliteitsfactor. Bekend is dat de stabiliteitsfactor in de LTVRW wordt bepaald door de schadefactor, modelfactor, materiaalfactor en de schematiseringsfactor te vermenigvuldigen met elkaar. In dit voorbeeld zijn de materiaalfactor en modelfactor gelijk aan 1,0. De schematiseringsfactor is gelijk aan 1,03. De schadefactor is gekoppeld aan de overschrijdingskansen. Door te berekenen wat de schadefactor moet zijn, aan de hand van de bekende stabiliteitsfactor, is de overschrijdingskans bepaald. Vervolgens is aan de hand van de berekende overschrijdingskansen, de veiligheids categorie bepaald. Dit staat weergegeven in tabel 7-3.

Tabel 7-3 Resultaten na toepassen element 16

Macrostabiliteit binnenwaarts					Macrostabiliteit buitenwaarts				
Sectie	S.F.	P_o (jaar/1)	P_o (1/jaar)	Categorie	Sectie	S.F.	P_o (jaar/1)	P_o (1/jaar)	Categorie
BR_01	0,92	1,20E-02	1/84	II	BR_01	1,15	7,09E-05	1/14124	I
BR_02	0,75	5,23E-01	1/2	IV	BR_02	0,84	6,98E-02	1/14	III
BR_03	0,60	1,43E+01	1,43	IV	BR_03	0,96	4,87E-03	1/205	II
BR_04	0,93	9,41E-03	1/106	II	BR_04	0,84	6,98E-02	1/14	III
BR_06A	1,00	1,98E-03	1/504	II	BR_06A	0,57	2,78E+01	>1	V
BR_07	0,77	3,30E-01	1/3	IV	BR_07	0,62	9,11E+00	>1	V
BR_08A	0,62	9,11E+00	>1	V	BR_08A	0,56	3,50E+01	>1	V
BR_08B	0,72	1,00E+00	>1	IV	BR_08B	0,99	2,46E-03	1/406	II
BR_09A	0,99	2,46E-03	1/406	II	BR_09A	0,67	3,03E+00	>1	V
BR_09B	0,53	6,81E+01	>1	V	BR_09B	0,62	9,11E+00	>1	V
BR_10	0,84	6,98E-02	1/14	IV	BR_10	0,59	1,76E+01	>1	V
Maatgevend				V	Maatgevend				V

7.1.2 Effect op huidige toetsing

In de LTVRW wordt het eindoordeel van de toetsing uitgedrukt in 'voldoet' of 'voldoet niet'. De veiligheidstoestand van de waterkering is verder niet te achterhalen. Door de eindbeoordeling volgens het WBI te implementeren, kan het eindoordeel in de LTVRW uitgedrukt worden in categorieën. Het effect hiervan is dat er direct kan worden geconstateerd in welke veiligheidstoestand een sectie of een gehele kering verkeerd. Als sectie BR_01 t/m BR_04 als een apart traject wordt gezien, krijgt deze voor macrostabiliteit buitenwaarts een oordeel die binnen categorie III valt. Dit is de maatgevende beoordeling. Hiermee wordt duidelijk gemaakt dat dit deel van de waterkering wel voldoet, maar onder de signaleringswaarde zit. Dit betekent dat er aandacht besteed moet worden aan dit deel van de waterkering, omdat de grenswaarde van het oordeel 'onvoldoende' bijna wordt bereikt. Zonder de categorisering zou dit niet opvallen.

Aan de hand van de categorisering kan effectief worden geschat waar en hoeveel (verbeter)maatregelen toegepast dienen te worden. De toegevoegde waarde van dit element is hierdoor groot. De criteria waar goed op is gescoord in de MCA zijn 'effectiviteit' en 'toekomstgericht'. Dit is ook gebleken uit de casestudy, omdat er een betrouwbaarder resultaat uit voort komt. Het uitvoeren van de toetsing kost wel meer tijd, maar dit werd ook verwacht tijdens het toekennen van de scores in de MCA.

7.1.3 Trendbreuk

Element 16 kan zorgen voor een trendbreuk. Doordat de uitdrukking van de beoordeling specifiek is, heeft de waterkeringbeheerder beter inzicht in de veiligheidstoestand van de waterkering. Verder is het eenvoudig toe te passen op de manier die in paragraaf 7.1.1 is beschreven. Echter is het niet mogelijk het element volledig te benutten, als er geen verdere aanpassingen worden gedaan in de LTVRW. Om dit element volledig te benutten dienen er overstromingskansen te worden toegepast. Hiermee is het mogelijk om naast macrostabiliteit meerdere toetssporen met categorieën te beoordelen. Ook is het dan mogelijk een nauwkeurigere categorie-indeling te maken en op meerdere manieren te combineren. Het lengte-effect en de faalkansbegroting spelen hier een belangrijke rol bij.

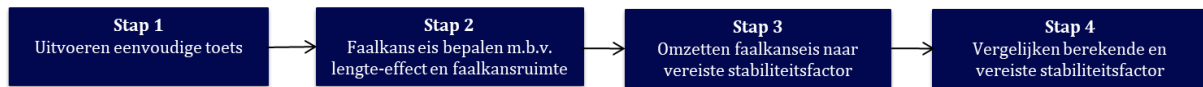
In het WBI wordt voor de signaleringswaarde een factor drie aangehouden. Er kan voor gekozen worden om deze factor een kleinere waarde te geven. Hierdoor wordt een waterkering minder snel gesignaleerd als een waterkering waar op korte termijn actie ondernomen moet worden. Een reden om de factor een kleinere waarde te geven, kan zijn omdat de gevolgen bij regionale waterkeringen (vaak) minder ernstig zijn dan bij primaire waterkeringen. Met gevolgen worden slachtoffers en economische schade bedoelt, als gevolg van het falen van de waterkering. Verder kan er voor gekozen worden om de begrenzing van de categorieën aan te passen. In het WBI is gekozen voor factor 30. Deze factor levert een duidelijk beeld op van de veiligheidstoestand van de verschillende secties. Met een verkleinde factor is het mogelijk om categorie II t/m IV nog nauwkeuriger te bepalen.

In het implementatiemodel wordt de link gelegd met de schadefactor. Deze heeft namelijk een directe relatie met de overschrijdingskansen, waardoor voor de berekende stabiliteitsfactoren, overschrijdingskansen kunnen worden bepaald. Deze manier van beoordelen komt niet exact uit het WBI, maar is een variant daarvan.

7.2 Element 11 & 12 – Toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts

7.2.1 Casestudy

Voor de implementatie van elementen 11 en 12 zijn vier stappen doorlopen. Deze stappen zijn weergegeven in figuur 7-2. In bijlage 1 – deel A, hoofdstuk 3.4 is het toetsspoor STBI van het WBI toegelicht. Alleen de natte situatie wordt bekeken, omdat het WBI geen toetsing met droogtegevoeligheid kent.



Figuur 7-2 *Stappenplan casestudy toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts*

Stap 1: Uitvoeren eenvoudige toets

Aan de hand van de eenvoudige toets zijn de secties BR_01 t/m BR_10 beoordeeld. De eenvoudige toets is exact hetzelfde toegepast als op een primaire waterkering. In de eerste stap van de eenvoudige toets is bekeken of de waterkering een dam of een dijk is. Alle secties zijn boezemkaden. Een boezemkade valt onder een dijk, dus voldoet de waterkering aan dit criterium. In de tweede stap is bekeken of er constructieve elementen aanwezig zijn. In de secties BR_08 t/m BR_10 wordt de buitenzijde begrensd door een houten damwand met daarop basaltblokken. Het toetsspoor STBI kan dus niet worden toegepast op deze secties. Deze secties dienen beoordeeld te worden met een toetsspoor die betrekking heeft op kunstwerken. In de derde stap is bekeken of de secties voldoen op basis van geometrische kenmerken. Echter bevatten alle secties veenlagen in het dijklichaam, waardoor deze op voorhand al niet voldoen. Voor sectie BR_01 t/m BR_07 geldt dus dat er verder beoordeeld moet worden met de gedetailleerde toets. In tabel 7-4 is het resultaat weergegeven van de eenvoudige toets.

Tabel 7-4 *Eenvoudige toets macrostabiliteit binnenwaarts*

Sectie	1	2	3	Oordeel
BR_01	JA →	NEE →	NEE →	VB
BR_02	JA →	NEE →	NEE →	VB
BR_03	JA →	NEE →	NEE →	VB
BR_04	JA →	NEE →	NEE →	VB
BR_06A	JA →	NEE →	NEE →	VB
BR_07	JA →	NEE →	NEE →	VB
BR_08A	JA →	JA →		NVT
BR_08B	JA →	JA →		NVT
BR_09A	JA →	JA →		NVT
BR_09B	JA →	JA →		NVT
BR_10	JA →	JA →		NVT

VB = Verder beoordelen
NVT = Niet van toepassing

Stap 2: Faalkanseis bepalen m.b.v. lengte-effect en faalkansruimte

De lengte-effectfactor en de faalkansruimtefactor zijn twee waarden die in het WBI bij veel toetssporen een belangrijke rol spelen, zo ook bij STBI. In paragraaf 4.3.4 zijn de definitie en de functie van het lengte-effect en de faalkansbegroting toegelicht. In tabel 7-5 is weergegeven hoe de lengte-effectfactor bepaald wordt. Voor het bepalen van het lengte-effect zijn de parameters 'a' en 'b' aangehouden, zoals deze in het WBI worden toegepast. Het faalmechanisme kan over de gehele lengte van de waterkering optreden. In dat geval wordt er voor parameter 'a' een waarde van 0,033 aangehouden. Voor parameter 'b' wordt 50 meter aangehouden. Dit is de representatieve lengte voor de analyse in een doorsnede. De waterkering is opgesplitst in twee delen, namelijk sectie BR_01 t/m BR_04 (4,35 km) en BR_05 t/m BR_10 (3,75 km). De reden hiervan is het verschil in norm. De lengte van de twee delen wordt ingevuld voor de parameter $L_{traject}$.

Tabel 7-5 *Lengte-effectfactor (N) macrostabiliteit binnenwaarts*

Bepalen lengte-effectfactor (N)			
$N=1+((a*L_{traject})/b)$		norm	
		1/10	1/30
a	fractie van de lengte dat gevoelig is voor macrostabiliteit	0,033	0,033
b	lengte van onafhankelijke equivalente vakken	50	50
$L_{traject}$	lengte van de waterkering	4350	3750
N	lengte-effectfactor	3,87	3,48

Samen met het lengte-effect en de norm bepaalt de faalkansruimte de faalkanseis voor een doorsnede. Hierbij wordt er van uitgegaan dat het overschrijden van de norm als falen wordt beschouwd. De faalkansruimte voor het faalmechanisme STBI bedraagt in het WBI 4%. Dit is een startwaarde. In de optimalisatie kan ervoor worden gekozen dit percentage aan te passen. In tabel 7-6 is weergegeven hoe de faalkanseis is bepaald.

Tabel 7-6 Faalkanseis (P_{eis}) macrostabiliteit binnenwaarts

Bepalen faalkanseis (P_{eis})			
$P_{eis} = (P_{max} * \omega) / N$		norm	
		1/10	1/30
P_{max}	overschrijdingskans	1/10	1/30
ω	faalkansruimtefactor	0,04	0,04
N	lengte-effectfactor	3,87	3,48
P_{eis} (jaar/1)	faalkanseis per doorsnede	0,001	0,0004
P_{eis} (1/jaar)	faalkanseis per doorsnede	1/968	1/2632

Een lengte-effect van 3,87 houdt in dat de overschrijdingskans 3,87 keer zo klein moet zijn. De faalkansruimtefactor van 0,04 zorgt ervoor dat de overschrijdingskans 0,04 keer zo groot wordt. Deze waarden zorgen ervoor dat de faalkanseis per doorsnede strenger wordt.

Stap 3: Omzetten faalkanseis naar vereiste stabiliteitsfactor

De faalkanseisen voor beide normeringen zijn bekend (zie tabel 7-6). Om de gedetailleerde toetsing uit te voeren is het nodig om de vergelijking te maken tussen de faalkanseis en de berekende stabiliteitsfactor. De schadefactor is gekoppeld aan de overschrijdingskans. Door de schadefactor te bepalen voor de berekende faalkanseis per doorsnede, is het mogelijk de stabiliteitsfactor te bepalen. Hiervoor dient de schadefactor vermenigvuldigd te worden met de modelfactor. In tabel 7-7 zijn de vereiste stabiliteitsfactoren weergegeven. In bijlage 5 is een uitgebreide toelichting gegeven hoe de vereiste stabiliteitsfactor is bepaald.

Tabel 7-7 Vereiste stabiliteitsfactoren macrostabiliteit binnenwaarts

Vereiste stabiliteitsfactoren	
BR_01 t/m BR_04	1,06
BR_05 t/m BR_10	1,10

Stap 4: Vergelijken van de berekende en de vereiste stabiliteitsfactor

De vereiste stabiliteitsfactor is in stap 3 bepaald. De berekende stabiliteitsfactor is overgenomen uit de toetsing van de Broekermerepolder, waarin naast de Uplift-Van methode ook de Bishop methode en de Spencer methode zijn toegepast. In het WBI wordt de beoordeling uitgevoerd met de Uplift-Van methode. De waarden van de Uplift-Van methode worden daarom overgenomen. In tabel 7-8 is het resultaat van de gedetailleerde toets, de vergelijking tussen de berekende en de vereiste stabiliteitsfactor, weergegeven. Van sectie BR_05 is geen stabiliteitsfactor berekend, omdat deze is beoordeeld op basis van geometrie.

Tabel 7-8 Gedetailleerde toets macrostabiliteit binnenwaarts

Sectie	S.F. Uplift-Van	S.F. eis	Oordeel
BR_01	0,96	1,06	OV
BR_02	0,75	1,06	OV
BR_03	0,60	1,06	OV
BR_04	0,98	1,06	OV
BR_06A	1,68	1,10	V
BR_07	0,78	1,10	OV
Legenda			
	OV	= onvoldoende	
	V	= voldoende	

7.2.2 Effect op huidige toetsing

De eenvoudige toets in het WBI kan vlot en eenvoudig worden uitgevoerd. In de LTVRW is deze minder eenvoudig en wordt er over het algemeen meer tijd aan besteed, doordat er profielen opgesteld dienen te worden. Echter bestaat er bij de eenvoudige toets in het WBI de mogelijkheid om verder te toetsen met een ander toetsspoor. Doordat er meerdere toetssporen zijn opgesteld binnen het WBI, wordt er met meer situaties rekening gehouden. Dit resulteert in een efficiëntere toetsing.

De gedetailleerde toets resulteert in meer secties die als oordeel 'onvoldoende' krijgen. Dit komt door de strengere eis van de stabiliteitsfactor, die wordt gecreëerd door de faalkansbegroting en het lengte-effect.

Bij het bepalen van de vereiste stabiliteitsfactor wordt in de LTVRW gewerkt met de schematiseringsfactor. Deze is in de implementatie niet meegenomen. In het WBI wordt met WTI-SOS de schematiseringsonzekerheid opgevangen. In de casestudy is er van uitgegaan dat de ondergrondschematisatie 100% juist is en er daarom niet meer scenario's meegenomen worden.

7.2.3 Trendbreuk

Het implementeren van de faalkansruimte kan van toegevoegde waarde zijn voor regionale waterkeringen. De waarden in de faalkansbegroting kunnen door de beheerder worden bepaald. Het doel van de faalkansbegroting is om op economisch vlak een beoordeling uit te voeren. Zo krijgen dominante faalmechanismen minder strenge eisen (groot percentage) en niet dominante faalmechanismen strengere eisen (klein percentage). De kosten en baten worden dan beter beheersbaar, omdat de focus gelegd kan worden op dominante faalmechanismen. Daardoor kunnen onnodige (verbeter)maatregelen voorkomen worden.

Door het toepassen van het lengte-effect, wordt rekening gehouden met het feit dat op elke locatie van de waterkering het faalmechanisme op kan treden. Het resultaat van de toetsing wordt daarmee betrouwbaarder en daarmee is de implementatie van toegevoegde waarde. Op dit moment wordt er alleen gekeken naar een enkele doorsnede. Voor trendbreuk zal echter wel onderzoek gedaan moeten worden naar de parameters van het lengte-effect en de faalkansbegroting. Deze parameters zijn namelijk gebaseerd op primaire waterkeringen.

Het buiten beschouwing laten van de schematiseringsfactor heeft als gevolg dat WTI-SOS geïmplementeerd moet worden. Dit element is in paragraaf 7.5 beschreven. Hiermee wordt de schematiseringsonzekerheid opgevangen.

In de toetsing van STBI worden softwareprogramma's gebruikt die voor het WBI gemaakt zijn. De implementatie hiervan is buiten beschouwing gelaten, omdat de softwareprogramma's voor primaire waterkeringen gemaakt zijn. De softwareprogramma's die bij STBI worden toegepast, zijn: BM macrostabiliteit (voor de stabiliteitsberekeningen) en Waternet Creator (voor het bepalen van de freatische lijn). In Waternet Creator worden ook de indringingslengte en de lek lengte ingevoerd, wat een realistischere weergave geeft van de werkelijkheid. De softwareprogramma's in het WBI zijn recent opgesteld. Hierdoor bevatten deze moderne en doorontwikkelde functies wat een hogere kwaliteit van de toetsing oplevert. Door de softwareprogramma's aan te passen of te ontwikkelen voor de regionale waterkeringen, kan de kwaliteit van de toetsing verbeterd worden.

Met het implementeren van het toetsspoor STBI, wordt ook aangesloten op de methode van toetsen conform het WBI. 'Het naar elkaar toe laten komen' is ook onderdeel van de toekomstvisie die opgesteld is voor de regionale waterkeringen.

7.3 Element 13 & 14 – Toetsspoor macrostabiliteit buitenwaarts

7.3.1 Casestudy

Voor de casestudy wordt verwezen naar de casestudy van het toetsspoor STBI. Deze is opgenomen in paragraaf 7.2.1. Aan de hand van deze casestudy kunnen ook voor het toetsspoor STBU, conclusies worden getrokken.

Omdat STBU een indirect faalmechanisme is, wordt de vereiste faalkans vermenigvuldigd met factor 10 (Rijkswaterstaat (2), 2017, p. 36). De eis wordt hierdoor minder streng. In de LTVRW wordt ook rekening gehouden met het feit dat STBU een indirect faalmechanisme is. Dit wordt gedaan door het verkleinen van de schadefactor, echter is dit niet standaard voorgeschreven in de LTVRW.

7.3.2 Effect op huidige toetsing

De effecten op de huidige toetsing zijn te vergelijken met de effecten ten gevolge van de toetsing STBI. Deze effecten zijn opgenomen in paragraaf 7.2.2. De hieronder beschreven effecten zijn een aanvulling daarop.

De criteria die zijn opgenomen in de eenvoudige toets van de LTVRW, worden in het WBI niet meegenomen. Het effect hiervan is dat de kans bestaat dat er onnodig uitgeweken wordt naar de gedetailleerde toets.

Doordat STBU een indirect faalmechanisme betreft, wordt de faalkanseis minder streng. Hierdoor worden vakken sneller goedgekeurd dan bij STBI.

7.3.3 Trendbreuk

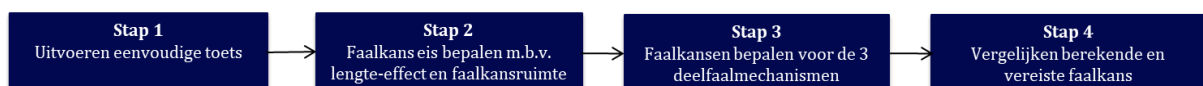
De eenvoudige toets zou geen trendbreuk kunnen veroorzaken, omdat de criteria gebaseerd zijn op regionale waterkeringen (met name voor de toepassing van kanaal- en boezemkade). De WBI methode heeft geen toegevoegde waarde.

In de gedetailleerde toets wordt rekening gehouden met het feit dat STBU een indirect faalmechanisme betreft. Dit wordt uitgedrukt in een factor die de faalkanseis minder streng maakt. Dit kan zorgen voor een trendbreuk, omdat het een betrouwbaardere toetsing oplevert. Verder zijn de punten, genoemd in paragraaf 7.2.3, ook van toepassing op STBU.

7.4 Element 9 & 10 – Toetsspoor piping

7.4.1 Casestudy

Voor de casestudy van element 9 en 10 is gebruik gemaakt van een ander project, namelijk de toetsing op de Amstelmeerkanaaldijk (bijlage 7.2). Dit project is gekozen, omdat in de betreffende toetsing variatie zit in de uitkomsten van STPH. Door deze variatie zijn de effecten van de implementatie beter te bepalen. De stappen die in figuur 7-3 zijn weergegeven, worden doorlopen.



Figuur 7-3 Stappenplan toetsspoor piping

Stap 1: Uitvoeren eenvoudige toets

In paragraaf 6.4.4 zijn vijf voorwaarden gegeven voor de eenvoudige toetsing. Elke voorwaarde wordt beschouwd als een stap. Na het doorlopen van alle stappen resulteert de eenvoudige toets in het verder beoordelen van alle secties. In stap 1 t/m 4 wordt niet aan de voorwaarden voldaan (zie tabel 7-9). Stap 5 is voor regionale waterkeringen niet toepasbaar, omdat aan de

hand van overstromingskansen beoordeeld wordt. Overstromingskansen zijn in dit opzicht niet te vergelijken met overschrijdingskansen.

Tabel 7-9 Eenvoudige toets piping

Sectie	Stap 1	Stap 2	Stap 3	Stap 4	Stap 5	Oordeel
AM_01	NEE	→ NEE	→ NEE	→ NEE	x	VB
AM_02	NEE	→ NEE	→ NEE	→ NEE	x	VB
AM_03	NEE	→ NEE	→ NEE	→ NEE	x	VB
AM_04	NEE	→ NEE	→ NEE	→ NEE	x	VB
AM_05	NEE	→ NEE	→ NEE	→ NEE	x	VB
AM_06	NEE	→ NEE	→ NEE	→ NEE	x	VB
AM_07	NEE	→ NEE	→ NEE	→ NEE	x	VB
AM_08	NEE	→ NEE	→ NEE	→ NEE	x	VB
AM_09	NEE	→ NEE	→ NEE	→ NEE	x	VB

VB = Verder beoordelen

Stap 2: Faalkanseis bepalen m.b.v. lengte-effect en faalkansruimte

De eenvoudige toets heeft geresulteerd in het verder beoordelen met de gedetailleerde toets. Hiervoor dient vooraf de faalkanseis per doorsnede bepaald te worden. Dit gebeurt op dezelfde wijze als bij het toetsspoor voor macrostabiliteit. Echter worden er voor piping andere waarden toegepast. Er worden voor de parameters 'a' en 'b' standaardwaarden genomen uit het WBI. De lengte van de kering bedraagt 8,8 kilometer en de standaard faalkansruimte voor piping bedraagt 24%. In tabel 7-10 en tabel 7-11 zijn de waarden gegeven die zorgen voor een faalkanseis van 1/500 (1/jaar).

Tabel 7-10 Lengte-effectfactor (N) piping

Bepalen lengte-effectfactor (N)		
$N = 1 + ((a * L_{\text{traject}}) / b)$		
a	fractie van de lengte dat gevoelig is voor piping	0,4
b	lengte van onafhankelijke equivalente vakken	300
L _{traject}	lengte van de waterkering	8800
N	lengte-effectfactor	12,73

Tabel 7-11 Faalkanseis (P_{eis}) piping

Bepalen faalkanseis (P _{eis})		
$P_{\text{eis}} = (P_{\text{max}} * \omega) / N$		
P _{max}	overschrijdingskansen	1/10
ω	faalkansruimtefactor	0,24
N	lengte-effectfactor	12,73
P _{eis} (jaar/1)	faalkanseis per doorsnede	0,002
P _{eis} (1/jaar)	faalkanseis per doorsnede	1/500

Stap 3: Faalkansen bepalen voor de 3 deelfaalmechanismen

De gedetailleerde toets bestaat verder uit het bepalen van de faalkansen van de drie deelfaalmechanismen: opbarsten, heave en terugschrijdende erosie. In bijlage 8 zijn de formules en de waarden opgenomen, die zijn gebruikt bij het bepalen van de faalkansen. De resultaten zijn per deelfaalmechanisme weergegeven in tabel 7-12.

Stap 4: Vergelijken berekende en vereiste faalkans

Na het bepalen van de faalkanseis en de berekende faalkans, kunnen deze twee met elkaar vergeleken worden. De vereiste faalkans per doorsnede is bepaald op 1/500. De berekende faalkansen zijn per sectie en per deelfaalmechanisme gegeven in tabel 7-12. Piping komt alleen voor als alle drie de deelfaalmechanismen optreden. Bij een kleinere faalkans dan 1/500 bij één deelfaalmechanisme, voldoet de sectie. AM_01 is de enige sectie die voldoet, omdat opbarsten een faalkans heeft die kleiner is dan de vereiste faalkans.

Tabel 7-12 Gedetailleerde toets piping

Sectie	Faalkans (1/jaar)			Oordeel
	Opbarsten	Heave	Terugschrijdende erosie	
AM_01	1/15060	1/2	1/9	V
AM_03	1/3	1/1	1/90	OV
AM_04	1/2	1/3	1/22	OV
AM_05	>1	>1	1/11	OV
AM_06	>1	>1	1/33	OV
AM_07	1/1	1/1	1/370	OV
AM_09	1/1	1/1	1/12	OV
Legenda	OV	= onvoldoende		
	V	= voldoende		

De secties AM_02 en AM_08 zijn niet berekend, omdat de boezem en de teensloot in direct contact staan met elkaar. In dit geval is de kans op piping per definitie groot.

7.4.2 Effect op huidige toetsing

Het effect op de eenvoudige toets is dat er minder werk verricht hoeft te worden voor een resultaat. Dit komt doordat het WBI eenvoudiger beslisregels bevat. Echter is de kans hierdoor groter dat er vaker moet worden beoordeeld met de gedetailleerde toets.

In de huidige gedetailleerde toetsing krijgen de secties AM_03, AM_06 en AM_07 een voldoende als oordeel. Deze secties krijgen in de nieuwe gedetailleerde toetsing een onvoldoende. AM_01 houdt het oordeel 'voldoende'. Echter is het deelfaalmecanisme heave in deze sectie veranderd in het oordeel 'onvoldoende'.

Het lengte-effect en de faalkansbegroting zorgen ervoor dat de eis strenger wordt. In de LTVRW wordt nog wel gewerkt met een veiligheidsfactor, maar deze wordt opgeheven door het lengte-effect. AM_03, AM_06 en AM_07 krijgen hierdoor het oordeel 'onvoldoende'.

Bij de toetsing op heave wordt voor regionale waterkeringen een kritieke heave gradiënt genomen van 0,5. De heave gradiënt wordt berekend door het verschil in stijghoogte te delen door de dikte van de deklaag. In het WBI wordt hetzelfde gedaan met een kritieke heave gradiënt van 0,3. Dit zorgt voor een strengere beoordeling. Samen met het lengte-effect en de faalkansbegroting zorgt de kritieke heave gradiënt ervoor dat de toetsing van heave, het oordeel onvoldoende krijgt.

In de toetsing op opbarsten en heave wordt in het WBI gebruik gemaakt van een dempingsfactor. Deze factor bepaalt de hoogte van het stijghoogtepotentiaal op het opbarst-/uittredepunt. Door dit toe te passen, wordt de maatgevende stijghoogte minder groot, waardoor de kansen op opbarsten en heave afnemen. Dit geeft een realistischere beoordeling.

7.4.3 Trendbreuk

De eenvoudige toets in het WBI is afgestemd op primaire waterkeringen. De belastingsituaties voor piping verschillen enorm tussen primaire en regionale waterkeringen. De eenvoudige toets kan dus niet zonder meer worden overgenomen.

In de huidige gedetailleerde toetsing in de LTVRW is de nieuwe formule van Sellmeijer al geïmplementeerd. Echter wordt hierbij rekening gehouden met een veiligheidsfactor van 1,2. Deze veiligheidsfactor heeft invloed op het kritieke verval. In het WBI wordt deze veiligheidsfactor opgeheven door het gebruik van het lengte-effect. Hiermee is het veiligheidsoordeel betrouwbaarder, omdat de lengte van de waterkering wordt meegenomen. Ook wordt er een schematiseringsfactor toegepast in de huidige toetsing van de LTVRW. Deze wordt opgeheven door het gebruik van WTI-SOS. Ook hiermee wordt het veiligheidsoordeel betrouwbaarder, omdat met elk scenario een berekening wordt uitgevoerd. Het vervallen van

deze factoren kan voor een trendbreuk zorgen, omdat de waarden die ervoor in de plaats komen beter onderbouwt zijn.

De berekeningen om de berekende stabiliteitsfactoren om te zetten in faalkansen (bijlage 8), zijn afgestemd op de overstromingskansbenadering. In de LTVRW wordt de overschrijdingskans gehanteerd. Hierdoor kunnen deze waarden in de berekeningen niet zonder meer worden overgenomen.

Verder voegt de faalkansbegroting hetzelfde toe als bij STBI. Ook hier geldt dat de parameters van het lengte-effect en de faalkansbegroting nader onderzocht moeten worden.

7.5 Element 4 – Bodemopbouw

7.5.1 Casestudy

Het element 'Bodemopbouw' kan niet zonder meer geïmplementeerd worden, omdat er veel studie aan vooraf gegaan is om de WTI-SOS methode op te stellen. Deze studies zijn uitgevoerd in het kader van het WBI en het project Veiligheid Nederland in Kaart. Om de toegevoegde waarde van dit element te onderzoeken, wordt er een stappenplan gevolgd. Hiermee wordt een onderbouwd antwoord gegeven óf het element geïmplementeerd kan worden en hoe dit vorm moet krijgen. Dit stappenplan is geschematiseerd in figuur 7-4.



Figuur 7-4 Stappenplan casestudy implementatie element 4

Stap 1: Bepalen uitgangspunten

- Er zijn geen segmenten met scenario's beschikbaar voor de regionale waterkeringen.
- Het veld- en laboratoriumonderzoek van de toetsing van de polder Broekerveer wordt gehanteerd.
- Het bepalen van scenario's vindt plaats op eenzelfde manier als binnen het WBI.

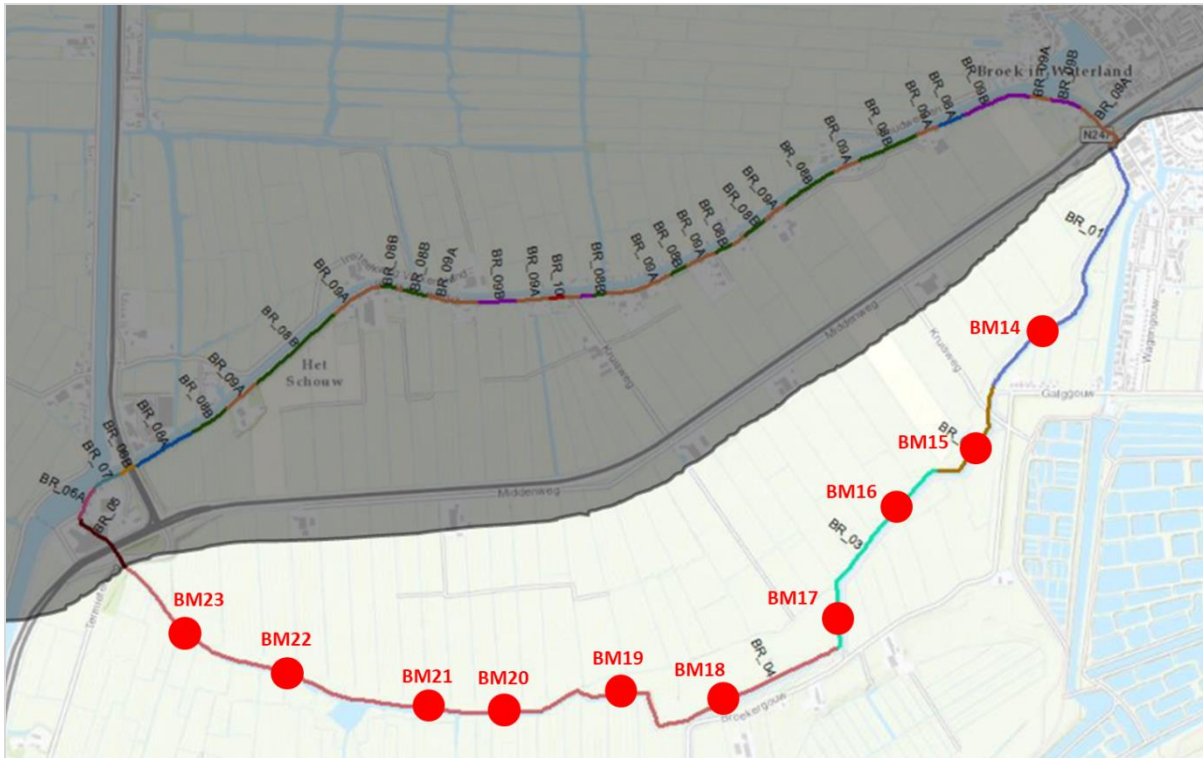
Stap 2: Verzamelen van gegevens

Om de WTI-SOS methode te implementeren wordt er data verzameld om te komen tot een globale ondergrondschematisatie. Deze data is beschikbaar binnen de toetsing van de polder Broekerveer, omdat daar een veld- en laboratoriumonderzoek is uitgevoerd. In bijlage 6.1 is de bodemopbouw voor de verschillende onderzoekslocaties opgenomen.

Bij het opstellen van WTI-SOS binnen het WBI is er ook gebruik gemaakt van 3D geologische modellen, AHN, kaarten en GIS-bestanden (Hijma, 2015). Ook worden er softwarepakketten gebruikt, zoals iMod en Rockworks. Dit zijn programma's die ondersteunen bij het modelleren en visualiseren van de ondergrond. De bovengenoemde zaken worden niet meegenomen, omdat dit zou zorgen voor een té uitgebreid onderzoek naar de implementatie, wat niet de doelstelling is van dit hoofdstuk. Dit geldt ook voor het omzetten van het grondonderzoek naar WTI-SOS eenheden.

Stap 3: Ordenen van gegevens

Het ordenen van de gegevens bestaat uit het inzichtelijk maken van de locaties van de boringen en sonderingen op een overzichtskaart. Hiermee wordt in één oogopslag duidelijk waar er veldonderzoek verricht is. De locaties van het veldonderzoek zijn weergegeven in figuur 7-5.



Figuur 7-5 Locaties veldonderzoek

Stap 4: Vaststellen van segmenten

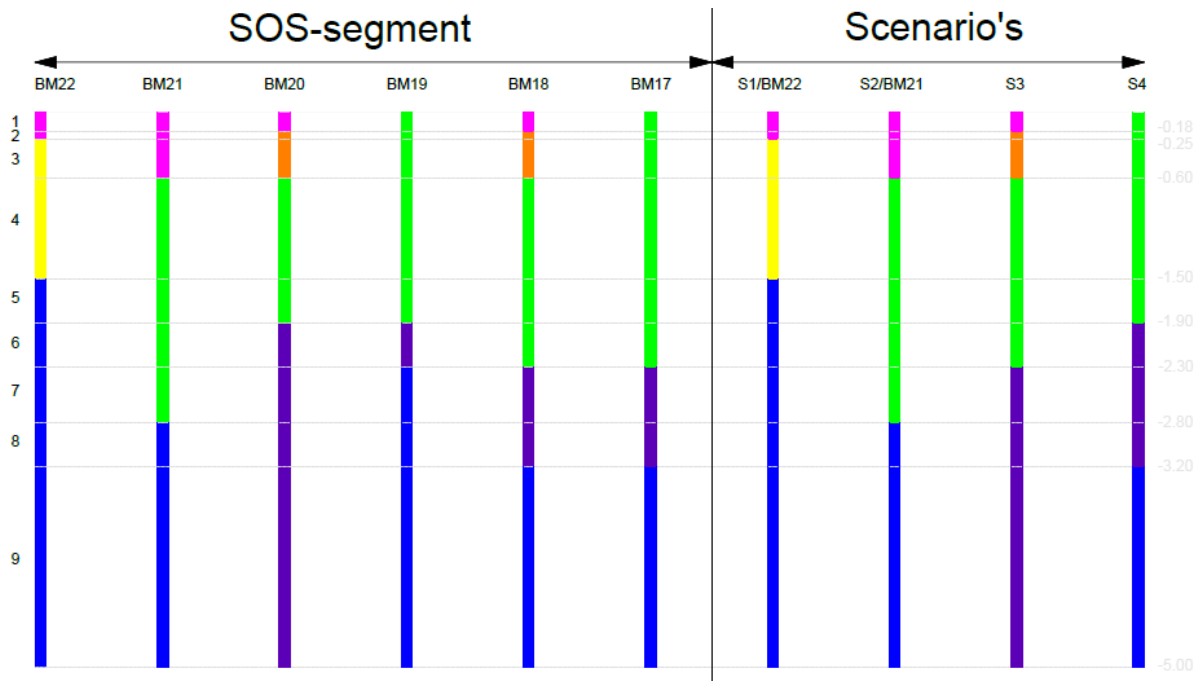
De grenzen van het segment moeten eerst bepaald worden. Daarom wordt de kering ten zuiden van de N247 als voorbeeld genomen (zie ook figuur 7-5), die in zijn geheel een overschrijdingsfrequentie heeft van 1/10. De segmentgrenzen worden ook bepaald door variatie in de geologische opbouw. Hierbij kan gedacht worden aan de dikte van veenlagen of een overgang van overwegend zandige gebieden naar klei-/veenachtige gebieden. Hier is niet direct sprake van binnen de polder Broekerveer, waarin de bodemopbouw vrij uniform is. Wel is er variatie in het aantal grondlagen binnen het vastgestelde segment. Daarom worden er twee segmenten bepaald, waarbij de scheiding ligt tussen locatie BM16 en BM17. Ter plaatse van locatie BM23 is wel grondonderzoek uitgevoerd, maar deze is niet omgezet in een bodemopbouw. Het SOS-segment bevindt zich daarom tussen BM17 en BM22.

Stap 5: Vaststellen van scenario's

De scenario's beschrijven de grondopbouw die in een dijkstrekking aangetroffen kunnen worden (Hijma, 2015). Van deze scenario's moet bepaald worden wat de kans van aantreffen is. Het uitgangspunt voor de scenario's is, dat alle mogelijke grondopbouwen die aangetroffen kunnen worden, ook opgenomen zijn in de scenario's. De grondopbouwen zijn bepaald voor de binnentoe van de dijk, zoals dat ook gedaan is binnen het WTI-SOS voor het WBI. De sonderingen en boringen voor de locaties BM17 t/m BM22 zijn naast elkaar uitgezet. Dit is opgenomen in bijlage 6.3 en figuur 7-6. Deze sonderingen en boringen zijn vervolgens omgezet naar scenario's. Hierbij is gekeken naar de hoeveelheid grondlagen en welke sonderingen/boringen op elkaar lijken. Hieruit blijkt dat de grondopbouw van locatie BM22 en BM21 beiden uniek zijn en daarom beide meegenomen worden als scenario (S1 en S2). De locaties BM20 en BM18 zijn qua opbouw identiek aan elkaar, waarbij alleen de dikte van de grondlagen varieert. Deze twee grondopbouwen zijn daarom samengevoegd in scenario 3 (S3). Hetzelfde principe is gehanteerd voor de locaties BM19 en BM17. Deze zijn samengevoegd in scenario 4 (S4). Bij het vaststellen van de diepteligging van de laagscheidingen, is er gekeken naar het geheel van alle boringen. Dit is gedaan om het aantal grondlagen minimaal te houden en daarmee de berekening eenvoudig te houden. In bijlage 6.2 is de bodemopbouw van de scenario's opgenomen.

Stap 6: Toekennen kans van voorkomen grondlagen

Binnen WTI-SOS wordt gewerkt met eenheden, die specifiek opgesteld zijn voor het typeren van de grondopbouw. In de casestudy wordt gewerkt met de grondparameters zoals deze bepaald zijn binnen de toetsing. Per grondlaag 1 t/m 9 (in figuur 7-6) wordt bepaald hoe vaak een bepaalde grondsoort voorkomt. Dit is de kans van voorkomen van een bepaalde grondsoort per grondlaag. In figuur 7-6 en bijlage 6.3 zijn de locaties van de boringen/sonderingen binnen het SOS-segment weergegeven, met daarnaast de scenario's. Voorbeeld: de kans van voorkomen van de 'roze' grondsoort in grondlaag 1, is $4/6 = 67\%$.



Figuur 7-6 SOS-segment en scenario's

Er zijn in totaal 9 lagen gedefinieerd, waarin er 6 verschillende grondsoorten voor kunnen komen. Per laag is bepaald wat de kans van voorkomen is van een bepaalde grondsoort. Dit heeft geresulteerd in tabel 7-13. Deze tabel geeft de kans van aantreffen van een grondsoort in een bepaalde grondlaag.

Tabel 7-13 Kans van voorkomen grondsoorten

Nummer grondlaag	Grondsoort					
	A	B	C	D	E	F
1	0,67			0,33		
2	0,33			0,33	0,33	
3	0,17	0,17		0,33	0,33	
4		0,17		0,83		
5			0,17	0,83		
6			0,17	0,50		0,33
7			0,33	0,17		0,50
8			0,50			0,50
9			0,83			0,17

Stap 7: Implementeren van scenario's

Om de scenario's te implementeren, moet eerst de kans van voorkomen van het scenario bepaald worden. Deze kans geeft aan hoe groot de kans is dat bij een willekeurige boring in het segment, het betreffende scenario aangetroffen wordt. Voor het bepalen van de kans van voorkomen, is gebruik gemaakt van tabel 7-13. De kleuren die in de tabel gebruikt worden, komen overeen met de kleuren (grondsoorten) uit figuur 7-6.

Per scenario wordt de kans van voorkomen per grondsoort vermenigvuldigd met elkaar. Vervolgens worden de kansen per scenario onderling vergeleken. Het antwoord van deze berekening geeft vervolgens weer wat de kans van voorkomen is per scenario. De uitwerking van deze stap is weergegeven in tabel 7-14. Voorbeeld: De kans van voorkomen van Scenario 4 is 47%.

Tabel 7-14 *Kans van voorkomen per scenario*

Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		Scenario 4	
A1	0,67	A1	0,67	A1	0,67	D1	0,33
A2	0,33	A2	0,33	E2	0,33	D2	0,33
B3	0,17	A3	0,167	E3	0,33	D3	0,33
B4	0,17	D4	0,833	D4	0,83	D4	0,83
C5	0,17	D5	0,83	D5	0,83	D5	0,83
C6	0,17	D6	0,50	D6	0,50	F6	0,33
C7	0,33	D7	0,17	F7	0,50	F7	0,50
C8	0,50	C8	0,50	F8	0,50	F8	0,50
C9	0,83	C9	0,83	F9	0,17	C9	0,83
2,38E-05		8,93E-04		1,07E-03		0,00179	
1%		24%		28%		47%	

7.5.2 Effect op huidige toetsing

Binnen de LTVRW wordt er gewerkt met lengteprofielen om de opbouw van de ondergrond inzichtelijk te maken. Het gevaar van deze lengteprofielen is dat deze verkeerd geïnterpreteerd worden, omdat de opbouw van de ondergrond geïnterpoleerd wordt tussen verschillende sonderingen en/of boringen. Samen met het maatgevende profiel, wordt er een doorsnede bepaald waarmee de toetsing wordt uitgevoerd. Er wordt daardoor uitgegaan van één locatie, met bijbehorend grondonderzoek, voor het uitvoeren van de toetsing per vak.

Door het toepassen van de WTI-SOS systematiek worden de onzekerheden in de bodemopbouw meegenomen. Daarbij vormt het opstellen van scenario's een belangrijk onderdeel, omdat hierbij een goede, eerste indruk gegeven moet worden van de ondergrond. Door deze scenario's vervolgens te kwantificeren, ontstaat er een betrouwbaar beeld van de bodemopbouw. Deze scenario's kunnen vervolgens geverifieerd worden door nieuw grondonderzoek, waarmee bevestigd wordt hoe de bodemopbouw ter plaatse van een maatgevend profiel is. Het beoordelen van een faalmechanisme, met meer dan één bodemopbouw, geeft een betrouwbaardere weergave van de werkelijkheid. Dit heeft echter wel als gevolg dat er meer berekeningen uitgevoerd moeten worden, dan wanneer er één bodemopbouw per profiel gebruikt wordt.

Wanneer de WTI-SOS systematiek ingevoerd wordt, kunnen er altijd nieuwe grondonderzoeken in opgenomen worden. Deze grondonderzoeken zijn dan gelijk beschikbaar op het moment dat er een nieuwe toetsing uitgevoerd moet worden. Het benodigde grondonderzoek voor het uitvoeren van een toetsing zal daarom in de loop van de jaren verminderen.

Het invoeren van de WTI-SOS systematiek heeft vooral effect op de input die geleverd moet worden bij de start van een toetsing. Omdat er nog geen segmenten vastgesteld zijn voor regionale waterkeringen, zal dit door de beheerder of toetser zelf gedaan moeten worden. Het bepalen van scenario's is ook de verantwoordelijkheid voor de beheerder of toetser. Wanneer de systematiek eenmaal ingevoerd is, zal dit een betrouwbaardere toetsing opleveren dan nu het geval is.

Binnen het WBI wordt er gebruik gemaakt van software om de ondergrond goed te schematiseren. Dit is binnen de casestudy buiten beschouwing gelaten, omdat de software grotendeels toegespitst is op primaire waterkeringen. De methode die gebruikt is om de

casestudy uit te werken, geeft echter een goed handvat om segmenten en scenario's op te stellen voor een regionale waterkering.

7.5.3 Trendbreuk

De betrouwbaarheid van de toetsing wordt verbeterd door de WTI-SOS systematiek, maar dit heeft als gevolg dat er andere resultaten worden verkregen uit de toetsing. Dit kan resulteren in zowel een positief toetsresultaat als een negatief toetsresultaat. Per faalmechanisme zal de WTI-SOS schematisatie aangepast moeten worden, om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van de veiligheid van de waterkering voor het betreffende faalmechanisme. Dit wordt 'lokaal schematiseren' genoemd.

In het algemeen kan gesteld worden dat, voorafgaand aan een toetsing, de waterkeringbeheerder grondonderzoek laat uitvoeren. Op basis van dit grondonderzoek wordt vervolgens een indeling gemaakt in bodemopbouw en laagscheidingen. Deze gegevens worden wel bewaard binnen bijvoorbeeld een waterschap, maar het goed opslaan van deze gegevens blijft lastig. Een goede oplossing hiervoor kan de WTI-SOS systematiek zijn, waarbij de data gekoppeld blijft aan een bepaald stuk van een waterkering. De gegevens die bekend zijn rondom deze waterkering kunnen op deze manier goed opgeslagen worden. Op het moment dat er een nieuwe toetsronde aanvangt, kan deze informatie in zijn geheel opgevraagd worden. De herleidbaarheid van de gegevens wordt hierdoor verbeterd.

Het toepassen van de WTI-SOS systematiek heeft gevolgen voor de schematiseringsfactor. De onzekerheden in de schematisatie worden meegenomen in de scenario's. Dit heeft als gevolg dat er geen schematiseringsfactor bepaald hoeft te worden, die de onzekerheden in de schematisatie tegen gaat. De schematiseringsfactor heeft invloed op de uitkomst van de toetsing, maar het is moeilijk aanwijsbaar op welk deel van de schematisatie deze invloed heeft. De WTI-SOS systematiek heeft een heldere opbouw, waarin de keuzes herleidbaar zijn vastgelegd en de invloed van de grondopbouw direct duidelijk wordt.

Door de bodemopbouw te bepalen volgens de WTI-SOS systematiek, ontstaat er een eenduidige werkwijze voor het opstellen van de ondergrondschematisatie, voor zowel de primaire als regionale waterkeringen. Op deze manier kunnen de toetsingsmethoden ook 'naar elkaar toe komen' wat ook wenselijk is in het kader van de toekomstvisie.

8. CONCLUSIE

In dit hoofdstuk wordt het onderzoek afgerond en wordt de basis gelegd voor het opstellen van aanbevelingen. Deze aanbevelingen staan in het volgende hoofdstuk beschreven. In dit hoofdstuk wordt eerst kort antwoord gegeven op de deelvragen. Deze informatie is van belang voor het beantwoorden van de hoofdvraag, wat in de tweede paragraaf aan de orde komt. De laatste paragraaf beschrijft verdergaande conclusies. Dit zijn conclusies die getrokken kunnen worden uit het onderzoek, maar die niet direct betrekking hebben op de hoofdvraag. Wel kunnen deze conclusies dienen voor het schrijven van de aanbevelingen.

8.1 Deelvragen

Waterkeringen beschermen Nederland tegen overstromingen door binnen- en buitenwater. De bescherming tegen regionale wateren, zoals kanalen en boezems, wordt gerealiseerd door regionale waterkeringen. De primaire waterkeringen beschermen Nederland tegen de buitenwateren, zoals de Noordzee en de grote rivieren. Om de veiligheid tegen overstromingen te waarborgen, worden de waterkeringen getoetst op veiligheid. Beide type waterkeringen hebben een voorgeschreven toetsingsmethode: voor primaire waterkeringen is dit het WBI, voor regionale waterkeringen is dit de LTVRW. In deze methoden zijn voorschriften opgenomen over de manier waarop er getoetst dient te worden. De veiligheid van een waterkering kan aangetast worden door het optreden van één of meer faalmechanismen. Voor elk faalmechanisme, dat relevant is voor het type kering, wordt een aparte toetsing uitgevoerd. De oordelen per toetsing worden vervolgens gecombineerd tot een eindoordeel, waarmee aangegeven wordt of de kering wel of niet voldoet aan de gestelde norm.

Bij de intrede van het WBI in 2017 is ook de wijze van normeren gewijzigd. Deze wijziging hield een overgang van een overschrijdingskans naar een overstromingskans in. Waar vóór 2017 zowel de primaire als regionale waterkeringen genormeerd en getoetst werden volgens een overschrijdingskansbenadering, worden nu alleen de regionale waterkeringen genormeerd en getoetst volgens deze benadering. Dit is een groot verschil tussen de toetsingsmethoden, die invloed heeft op een groot deel van de toetsing.

Naast het verschil in normering zijn er meer verschillen aan te wijzen tussen de toetsingsmethoden. Deze verschillen zijn terug te vinden in de toetssporen van de verschillende faalmechanismen en in het bepalen van het eindoordeel van een toetsing. Belangrijke verschillen zijn: het invoeren van het lengte-effect en de faalkansbegroting, schematisering van de bodemopbouw en door middel van assembleren komen tot een eindoordeel.

De toetsing van regionale waterkeringen richt zich in hoofdzaak op de volgende faalmechanismen: piping, macrostabiliteit binnen- en buitenwaarts, microstabiliteit, bekleding en voorland. Van deze faalmechanismen zijn piping, macrostabiliteit binnenwaarts en macrostabiliteit buitenwaarts degene die de meeste invloed hebben op de veiligheid van de waterkering. De verschillen in toetsingsmethode zijn in detail bepaald voor deze faalmechanismen. Daaruit blijkt dat 16 elementen mogelijk geïmplementeerd kunnen worden in de toetsing van regionale waterkeringen. Hiervan zijn de volgende 8 elementen nader beschouwd en de effecten, op de toetsing van regionale waterkeringen, bepaald:

- Element 16 – eindbeoordeling
- Element 11&12 – toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts
- Element 13&14 – toetsspoor macrostabiliteit buitenwaarts
- Element 9&10 – toetsspoor piping
- Element 4 – bodemopbouw

Element 16 – eindbeoordeling gaat in op de wijze waarop tot een eindoordeel gekomen wordt. Door gebruik te maken van categorieën kan de veiligheidstoestand van een waterkering nauwkeuriger weergegeven worden. Aan de hand van deze categorieën kan vervolgens op een

effectieve manier ingeschat worden waar en hoeveel (verbeter)maatregelen benodigd zijn. Uit de casestudy is gebleken dat dit element geïmplementeerd kan worden. Om dit element volledig te implementeren moet er echter een overstap gemaakt worden van een overschrijdingskansbenadering naar een overstromingskansbenadering. Daarbij moet ook het lengte-effect en de faalkansbegroting worden meegenomen.

Element 11&12 – toetsspoor macrostabiliteit binnenwaarts gaat in op de eenvoudige en gedetailleerde toetsing van het genoemde faalmechanisme. De eenvoudige toetsing is vlot en eenvoudig uit te voeren, waardoor er tijdswinst behaald kan worden. Uit de casestudy blijkt dat er een strengere vereiste stabiliteitsfactor wordt verkregen door het toepassen van de faalkansbegroting en het lengte-effect. Het implementeren van dit element zorgt er ook voor dat de schematiseringsfactor komt te vervallen, waardoor de WTI-SOS systematiek (zie element 4) ook geïmplementeerd dient te worden. Daarnaast verbetert de toetsing door het invoeren van de faalkansruimte en het lengte-effect.

Element 13&14 – toetsspoor macrostabiliteit buitenwaarts gaat in op de eenvoudige en gedetailleerde toetsing van het genoemde faalmechanisme. Het toetsen van dit faalmechanisme verloopt op eenzelfde manier als macrostabiliteit binnenwaarts. Daardoor kan geconcludeerd worden dat het effect op de toetsing vrijwel gelijk is. De eenvoudige toetsing uit het WBI heeft geen toegevoegde waarde voor de toetsing van regionale waterkeringen. De gedetailleerde toetsing is wel van toegevoegde waarde, omdat hierbij rekening gehouden wordt met het feit dat macrostabiliteit buitenwaarts een indirect faalmechanisme is. De beoordeling wordt daardoor effectiever.

Element 9&10 – toetsspoor piping gaat in op de eenvoudige en de gedetailleerde toetsing van het genoemde faalmechanisme. De belastingsituatie voor piping tussen primaire en regionale waterkeringen verschilt enorm. De eenvoudige toets is snel uit te voeren, maar door de eenvoudige beslisregels wordt sneller uitgeweken naar de gedetailleerde toets. In het WBI is de kritieke heave gradiënt 0,3 terwijl deze in de LTVRW 0,5 is. Dit zorgt voor een strengere beoordeling. Daarnaast wordt er met een dempingsfactor gerekend, wat zorgt voor een realistischere benadering van de werkelijkheid. Verder worden het lengte-effect, de faalkansbegroting en WTI-SOS meegenomen. Dit zorgt er voor dat de toetsing betrouwbaarder wordt.

Element 4 – bodemopbouw gaat in op de wijze waarop de bodemopbouw geschematiseerd wordt voor het uitvoeren van de toetsing. De bodemopbouw wordt binnen het WBI met behulp van WTI-SOS bepaald, waarmee onzekerheden in de bodemopbouw meegenomen worden in de schematisatie. Het invoeren van de WTI-SOS systematiek heeft vooral effect op de input die geleverd moet worden bij de start van een toetsing, omdat de systematiek een geheel andere werkwijze kent dan nu gehanteerd wordt in de LTVRW. Door het invoeren van de WTI-SOS systematiek kan de opslag van gegevens rondom waterkeringen verbeterd worden, wat gunstig is voor beheerders. Door het invoeren van element 4 wordt ook aangesloten op de werkwijze van het WBI, wat past in het toekomstbeeld van de regionale waterkeringen.

8.2 Hoofdvraag

De hoofdvraag van dit adviesrapport luidt:

Welke elementen uit het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017 kunnen geïmplementeerd worden in de toetsing van regionale waterkeringen?

Er zijn 16 elementen bepaald die mogelijk geïmplementeerd kunnen worden in de toetsing van regionale waterkeringen. Deze elementen staan opgesomd in hoofdstuk 6.2. Van deze 16

elementen zijn er 8 nader beschouwd en getoetst aan de hand van een casestudy. Deze 8 elementen zijn:

- Element 16 eindbeoordeling
- Element 11 eenvoudige toets macrostabiliteit binnenwaarts
- Element 12 gedetailleerde toets macrostabiliteit binnenwaarts
- Element 13 eenvoudige toets macrostabiliteit buitenwaarts
- Element 14 gedetailleerde toets macrostabiliteit buitenwaarts
- Element 9 eenvoudige toets piping
- Element 10 gedetailleerde toets piping
- Element 4 bodemopbouw

Uit de casestudy is geconstateerd dat alle 8 de elementen geïmplementeerd kunnen worden. Er is echter wel gebleken dat de implementatie invloed heeft op de gehele toetsingsmethode. Dit wordt veroorzaakt door het veranderen van de normering, wat doorwerkt in de gehele toetsing. Desondanks zijn er oplossingen gevonden om de elementen zo goed mogelijk te implementeren en deze te testen in een casestudy. Uit deze casestudy is gebleken dat de elementen niet volledig benut kunnen worden, omdat er nader onderzoek nodig is of er een wijzing doorgevoerd dient te worden in de normering. Verder zullen er geen grote wijzigingen optreden in de tijdsduur die benodigd is voor het uitvoeren van de beoordeling. Dit geldt voor alle 8 de elementen.

8.3 Verdergaande conclusies

Naast de conclusies die er getrokken zijn op de gestelde hoofd- en deelvragen, zijn er aanvullende bevindingen. Deze bevindingen zijn niet direct een antwoord op de hoofdvraag, maar het zijn wel conclusies die relevant kunnen zijn voor het geven van aanbevelingen.

Bij het bepalen van de elementen is er gebruik gemaakt van vergelijkingstabellen waarin de LTVRW vergeleken wordt met het WBI. Deze tabellen zijn opgesteld voor 6 verschillende faalmechanismen, het bepalen van het eindoordeel en algemene zaken rondom de toetsing. Hieruit zijn verschillen gekomen die mogelijk relevant zijn voor implementatie. De belangrijkste verschillen worden hieronder weergegeven.

- Toetsing microstabiliteit: de LTVRW is gebaseerd op het VTV, terwijl het WBI gebaseerd is op nieuwe inzichten, zoals de invoering van het lengte-effect en de faalkansbegroting.
- Toetsing bekleding: geavanceerde toets kan nuttig zijn voor implementatie, omdat het WBI een beoordeling per sub-faalmechanisme geeft. Daarnaast is de beoordeling uitgebreider en voorzien van nieuwe inzichten.
- Toetsing voorland: de toetsing van het voorland wordt niet vaak uitgevoerd bij regionale waterkeringen, maar er is wel verschil tussen het WBI en de LTVRW. Het WBI is uitgebreider en voorziet beter in de toetsing.
- Schematiseringshandleidingen: het WBI voorziet in handleidingen om een goede schematisatie per faalmechanisme op te stellen. De LTVRW heeft hier geen eenduidige voorschriften voor, in de zin van een handleiding per faalmechanisme.

De belangrijkste faalmechanismen, piping en macrostabiliteit, zijn nader onderzocht. Daar zijn 16 elementen uit voortgekomen, waarvan er 8 nader onderzocht zijn. Dit betekent dat er nog 8 elementen niet nader onderzocht zijn.

9. DISCUSSIE & AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk worden de discussiepunten en aanbevelingen beschreven. De onzekerheden van het onderzoek worden toegelicht, waarna gelijk een aanbeveling wordt gegeven hoe er met deze onzekerheden omgegaan kan worden. In de tweede paragraaf wordt een advies aan RPS gegeven, waarin aangegeven wordt wat er met de resultaten van het onderzoek gedaan kan worden.

9.1 Discussie en aanbeveling nader onderzoek

Onderzoeksmethodiek

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van vergelijkend onderzoek. Het vergelijken van de twee type beoordelingsmethoden heeft verschillen opgeleverd, die geresulteerd hebben in elementen. Er zijn meerdere manieren van onderzoek mogelijk om te bepalen of het WBI van toegevoegde waarde is voor de LTVRW. Het is daarom aan te bevelen om ook met een andere onderzoeksmethode het onderzoek uit te voeren. Dit kan bijvoorbeeld gedaan worden door een toetsspoor in zijn geheel te onderzoeken. Het bepalen van de elementen vervalt dan, waardoor de focus ligt op een geheel toetsspoor. Aanbevolen wordt om de toetssporen van piping en macrostabiliteit binnen- en buitenwaarts te onderzoeken.

De multicriteria analyse, voor het rangschikken van elementen, is opgebouwd uit criteria met een bepaalde weging. De keuze en weging van de criteria én het toekennen van de score, is gemaakt op basis van inzichten en kennis die ontstaan is bij het uitvoeren van het vooronderzoek. De rangschikking van de elementen zou anders uit kunnen pakken wanneer er meer kennis aanwezig is. Aanbevolen wordt om de multicriteria analyse te herzien voor een realistischere rangschikking.

Er zijn 8 elementen getest in een casestudy. De casestudy bestaat uit een toetsing, die uitgevoerd is door RPS, aan de hand van de LTVRW. Niet iedere toetsing is identiek, waardoor de kans bestaat dat deze casestudy een onbetrouwbaar beeld geeft. Echter wordt deze kans klein geacht, omdat de casestudy een waterkering betreft die als typerend wordt gezien voor regionale waterkeringen. Aan te bevelen is om meerdere casestudy's uit te voeren, waardoor het onderzoek nog betrouwbaarder wordt.

De onderzoeksmethode heeft er voor gezorgd dat er enkel uitgebreid onderzoek is gedaan naar de faalmechanismen macrostabiliteit en piping. Er zijn echter meer faalmechanismen die van invloed zijn op de veiligheid van regionale waterkeringen, zoals: microstabiliteit, falen van bekleding en falen van het voorland. Het WBI voorziet in de nieuwste ontwikkelingen voor deze faalmechanismen. Het wordt aanbevolen om deze faalmechanismen nader te onderzoeken, zodat meerdere elementen geïmplementeerd kunnen worden.

Element 16 – Eindbeoordeling

De eindbeoordeling, element 16, bevat een factor voor het bepalen van de begrenzings van de categorieën. Deze factor is gebaseerd op de toetsing van primaire waterkeringen. Echter kan voor regionale waterkeringen een andere factor geschikter zijn. Bijvoorbeeld omdat het gedrag in verandering van veiligheidstoestand van een regionale waterkering anders is dan van een primaire waterkering. Ook de factor van de signaleringswaarde kan om deze reden worden aangepast. Aan te bevelen is om, in overleg met de waterkeringbeheerder, af te stemmen welke factoren het beste aansluiten bij de regionale waterkering.

Element 11 & 13 – Eenvoudige toets macrostabiliteit

De eenvoudige toetsen van macrostabiliteit zijn in dit onderzoek letterlijk overgenomen uit het WBI. Aan te bevelen is om deze toetsen zo aan te passen dat ze beter geschikt zijn voor regionale waterkeringen, zodat deze ook echt toegevoegde waarde hebben. Dit betreft vooral de toets op geometrische afmetingen.

Element 12 & 14 – Gedetailleerde toets macrostabiliteit

De gedetailleerde toetsen van macrostabiliteit binnen- en buitenwaarts in het WBI bevatten beide het lengte-effect en de faalkansbegroting. De parameters voor het bepalen van het lengte-effect en de faalkansbegroting zijn overgenomen vanuit het WBI. Voor regionale waterkeringen kunnen andere waardes van de parameters voor een realistischer beeld zorgen. Aanbevolen wordt om nader onderzoek uit te voeren naar deze parameters.

Aan de hand van de schadefactor is de stabiliteitsfactor bepaald die hoort bij de faalkans. De schadefactor heeft een logaritmisch verband met de overschrijdingskans. Voor de implementatie is aangenomen dat dit logaritmisch verband mag worden doorgetrokken. Aanbevolen wordt om onderzoek te doen naar deze aanname.

Door de softwareprogramma's te gebruiken, die worden toegepast in het WBI voor primaire waterkeringen, is het mogelijk dat er een ander resultaat verkregen wordt. Het is aan te bevelen om dit nader te onderzoeken, zodat de toegevoegde waarde van deze softwareprogramma's in beeld wordt gebracht.

Element 9 & 10 – Toetsspoor piping

Voor de eenvoudige toets wordt aanbevolen om stap 5 (toets m.b.t. veilige afmetingen) nader te onderzoeken. Het criterium dat hierin is opgenomen, kan van toegevoegde waarde zijn als deze wordt afgestemd op regionale waterkeringen.

Verder worden het lengte-effect en de faalkansbegroting meegenomen. Ook voor piping wordt aanbevolen om de parameters voor deze factoren nader te onderzoeken, zodat een realistischere benadering van de werkelijkheid behaald kan worden.

Element 4 – Bodemopbouw

De bodemopbouw, element 4, is bepaald met behulp van WTI-SOS. Met het opstellen van de scenario's bestaat de kans dat de ondergrondgegevens niet correct zijn geïnterpreteerd en dat er onrealistische scenario's opgesteld zijn. Door een expert nader onderzoek te laten verrichten, wordt het resultaat van de scenario's betrouwbaarder.

9.2 Aanbeveling aan RPS

Dit onderzoek is een eerste aanzet voor de implementatie van WBI-elementen in de LTVRW. RPS voert toetsingen uit voor regionale waterkeringen aan de hand van de LTVRW. Aan de hand van dit onderzoek kan (nog) niet worden geconcludeerd dat er structurele wijzigingen zullen plaatsvinden in de LTVRW. Echter is er wel ruimte voor de resultaten van dit onderzoek in de geavanceerde beoordeling, die is opgenomen in de LTVRW. Met de resultaten van dit onderzoek kan worden aangetoond dat de onderzochte elementen van het WBI wel degelijk een toegevoegde waarde hebben. In overleg met de waterkeringbeheerder kan er, met behulp van dit rapport, op andere inzichten worden gekomen die invloed hebben op het toetsresultaat.

De eindbeoordeling, zoals in het WBI, is van grote toegevoegde waarde. Aanbevolen wordt om de implementatie van dit element bij de waterkeringbeheerder aan te bieden. De veiligheidstoestand van de waterkering wordt hiermee nauwkeuriger weergegeven dan in de huidige LTVRW.

De toetsing van macrostabiliteit binnen- en buitenwaarts is van toegevoegde waarde. Het lengte-effect levert een betrouwbaardere toetsing op en de faalkansbegroting zorgt voor een economisch voordeligere toetsing voor de opdrachtgever. Echter, de parameters van deze factoren kunnen niet zomaar worden overgenomen uit het WBI. Daarom is het niet mogelijk dit element te implementeren, op de manier zoals dat gedaan is in de casestudy. Aanbevolen wordt om verder onderzoek te verrichten naar de parameters, zodat deze elementen wel geïmplementeerd kunnen worden.

Voor de toets op piping wordt aanbevolen om het lengte-effect, de faalkansbegroting, de overstromingskansbenadering, de dempingsfactor en het WTI-SOS te implementeren. Deze onderdelen zorgen voor een realistischere benadering. Echter geldt hier voor het lengte-effect en de faalkansbegroting hetzelfde als bij de toetsing op macrostabiliteit. De eenvoudige toets, het omrekenen naar faalkansen en de kritieke heave gradiënt, zijn afgestemd op primaire waterkeringen. Daarom wordt geadviseerd deze voor implementatie buiten beschouwing te laten.

De bodemopbouw met WTI-SOS is van grote toegevoegde waarde voor de LTVRW. Onzekerheden in de bodemopbouw worden hiermee uitgesloten en de schematiseringsfactor is niet van toepassing. Aanbevolen wordt om de werking van WTI-SOS te onderzoeken met behulp van D-Geo Stability. De uitkomsten dienen vergeleken te worden met de resultaten van de toetsing op de huidige manier. Zo kan worden ingezien welk effect het implementeren van het element heeft. Geadviseerd wordt om deze manier van ondergrondschematisatie aan te bieden aan de opdrachtgever.

Van de 16 elementen zijn er 8 nader onderzocht. Aanbevolen wordt om de overige 8 elementen ook nader te onderzoeken, zodat de toegevoegde waarde van deze elementen inzichtelijk wordt. Ook wordt aanbevolen om meerdere toetssporen verder te onderzoeken, waardoor meer elementen bepaald kunnen worden. Onder deze faalmechanismen vallen microstabiliteit, falen van het voorland en falen van bekleding. Verder is onderzoek op het gebied van normering en de totale schematisatie aan te bevelen, omdat hier grote verschillen aanwezig zijn die invloed hebben op de implementatie van elementen.

BIBLIOGRAFIE

- Delta Expertise. (n.b.). *Materiaalfactoren*. Opgeroepen op Maart 30, 2018, van Delta Expertise: <https://www.deltaexpertise.nl/wiki/index.php/Materiaalfactoren>
- Diermanse, F. (2016). *Assemblageprotocol*. Deltares.
- Hijma, M. (2015). *Globale stochastische ondergrondschematisatie (WTI-SOS) voor primaire waterkeringen*. Delft: Deltares.
- Jongejan, R. (2016, 06 06). *Factsheet lengte-effect*. Opgeroepen op 05 30, 2018, van Kennisplatform Risicobenadering: <http://www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl/nieuwe+normering/kennisplatform+risicobenadering/default.aspx>
- Kernteam Regionale Waterkeringen. (2008). *Richtlijn Normering Keringen langs regionale rivieren*. Utrecht: Kruyt.
- Knoeff, H. (2016, 08 22). *Factsheet faalkansbegroting*. Opgeroepen op 05 30, 2018, van Kennisplatform risicobenadering: <http://www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl/nieuwe+normering/kennisplatform+risicobenadering/default.aspx>
- Kruse, G., & Hijma, M. (2015). *WTI 2017: Handleiding lokaal schematiseren met WTI-SOS*. Delft: Deltares.
- Kwakman, L., & van Hemert, H. (2014). *Richtlijnen technische toetsing, ontwerp en realisatie regionale keringen*.
- Lendering, K., Kok, M., & Jonkman, S. (2015). *Overstromingsrisico regionale keringen*. Amersfoort: Stowa.
- Most, S. (2016). *Achtergronden van normering primaire waterkeringen in Nederland*. Delft: Ministerie van Infrastructuur en Milieu, DG Ruimte en Water, Directie Algemeen.
- Niemeijer, H. (2010, Juni 11). Stappenplan schematiseringsfactor.
- Rijkswaterstaat (1). (2017). *Waterveiligheid begrippen begrijpen 2017*. Houten: Drukkerij DPP.
- Rijkswaterstaat (2). (2017). *Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017: Bijlage 3 Sterkte en veiligheid*. Rijkswaterstaat.
- Scribbr. (sd). *Overzicht van onderzoeksmethoden en dataverzamelmethode*. Opgeroepen op April 10, 2018, van Scribbr: <https://www.scribbr.nl/category/onderzoeksmethoden/>
- STOWA. (2015). *Leidraad Toetsen op veiligheid regionale waterkeringen*. Utrecht: STOWA.
- STOWA. (2016). *Visie op regionale waterkeringen 2016*. n.b.: n.b.
- STOWA. (2017, Juni 8). Verslag Kennisdag Regionale keringen. Haarlem, Noord-Holland, Nederland: STOWA.
- Studiemeesters. (n.b.). *Kwalitatief en kwantitatief onderzoek: het verschil*. Opgeroepen op April 10, 2018, van Studiemeesters: <https://www.studiemeesters.nl/studietips/wat-het-verschil-tussen-kwalitatief-en-quantitatief-onderzoek/>
- Toes, i. J. (2017). *Technische toetsing boezemkaden polder Broekerveer*. Delft: RPS.
- Waal, J. d. (2016). *Basisrapport WBI 2017*. Deltares.
- Werkgroep regionale keringen. (2004). *Visie op regionale waterkeringen 2004*. Rijswijk: GBS prepress.

BIJLAGEN

<i>Bijlage 1</i>	Literatuuronderzoek
	Deel A – Primaire waterkeringen
	Deel B – Regionale waterkeringen
	Deel C – Faalmechanismen

Bijlage 2.1 t/m 2.8 bevat de vergelijkingstabellen

<i>Bijlage 2.1</i>	Tabel 1 – Algemeen
<i>Bijlage 2.2</i>	Tabel 2 – Piping
<i>Bijlage 2.3</i>	Tabel 3 – Macrostabieliteit binnenwaarts
<i>Bijlage 2.4</i>	Tabel 4 – Macrostabieliteit buitenwaarts
<i>Bijlage 2.5</i>	Tabel 5 – Microstabieliteit
<i>Bijlage 2.6</i>	Tabel 6 – Bekleding
<i>Bijlage 2.7</i>	Tabel 7 – Voorland
<i>Bijlage 2.8</i>	Tabel 8 – Eindoordeel

Bijlage 3.1 t/m 3.3 bevat de uitwerking en vergelijking op detailniveau

<i>Bijlage 3.1</i>	Uitwerking LTVRW op detailniveau
<i>Bijlage 3.2</i>	Uitwerking WBI op detailniveau
<i>Bijlage 3.3</i>	Vergelijking LTVRW met WBI2017 op detailniveau

<i>Bijlage 4</i>	Multicriteria analyse
------------------	-----------------------

<i>Bijlage 5</i>	Van faalkans naar stabiliteitsfactor
------------------	--------------------------------------

Bijlage 6.1 t/m 6.3 bevat informatie over de grondopbouw t.b.v. WTI-SOS

<i>Bijlage 6.1</i>	Bodemopbouw locaties veldonderzoek
<i>Bijlage 6.2</i>	Bodemopbouw scenario's
<i>Bijlage 6.3</i>	SOS-schematisatie incl. scenario's

Bijlage 7.1 t/m 7.2 bevat twee toetsingen van regionale waterkeringen

<i>Bijlage 7.1</i>	Toets Broekerveerpolder
<i>Bijlage 7.2</i>	Toets Amstelmeerkanaaldijk

<i>Bijlage 8</i>	Berekeningen piping
------------------	---------------------

<i>Bijlage 9</i>	Plan van aanpak
------------------	-----------------