

Consequentieanalyse Nieuwe Normering & WBI2017

RWS ONGECLASSIFICEERD

Datum	25 april 2016
Status	Definitief

Colofon

Uitgegeven door	
Informatie	
Telefoon	
Fax	
Uitgevoerd door	Bob Maaskant (HKV) & Han Knoeff (Deltares)
Met medewerking van	Stefan van den Berg (RWS-GPO) Cor Bischof (Greenrivers) Alexander van Duinen (Deltares) Ulrich Forster (Deltares) Bianca Hardeman (RWS-WVL) Jan Jaap Heerema (RWS-WVL) Wouter ter Horst (HKV) Deon Slagter (RWS-WVL) Alfons Smale (Deltares) Jan Stijnen (HKV) Marieke de Visser (RWS-WVL) Karolina Wojciechowska (HKV)
Review	Jan Blinde (Deltares) Robert Slomp (RWS - WVL)
Opmaak	
Datum	25 april 2016
Status	Definitief
Versienummer	

Inhoud

1	Inleiding	7
2	Overzicht inhoudelijke verschillen oude en nieuwe instrumentarium	9
2.1	Normen	9
2.2	Verschillen in bepaling hydraulische belastingen primaire waterkeringen	9
2.3	Verschillen in bepaling sterkte primaire waterkeringen	9
3	Methode consequentieanalyse	12
3.1	Inschatting op systeemniveau	12
3.2	Aanpak Cases	12
3.2.1	Hoogte	13
3.2.2	Piping	13
4	Waal	15
4.1	Kenmerken systeem	15
4.2	Inschatting op systeemniveau	15
4.2.1	Hoogte	16
4.2.2	Piping	16
4.2.3	Macrostabiliteit	17
4.3	Cases langs de Waal	17
4.3.1	Waterstanden	17
4.3.2	Hydraulische belastingniveaus	18
4.3.3	Piping	18
5	Nederrijn-Lek	20
5.1	Kenmerken systeem	20
5.2	Inschatting op systeemniveau	20
5.2.1	Hoogte	21
5.2.2	Piping	21
5.2.3	Macrostabiliteit	21
5.3	Cases langs de Nederrijn-Lek	22
5.3.1	Waterstanden	22
5.3.2	Hydraulische belastingniveaus	22
5.3.3	Piping	23
6	IJssel	25
6.1	Kenmerken systeem	25
6.2	Inschatting op systeemniveau	25
6.2.1	Hoogte	26
6.2.2	Piping	26
6.2.3	Macrostabiliteit	26
6.3	Cases langs de IJssel	26
6.3.1	Waterstanden	26
6.3.2	Hydraulische belastingniveaus	27
6.3.3	Piping	27
7	Brabantse Maas	29
7.1	Kenmerken systeem	29
7.2	Inschatting op systeemniveau	29
7.2.1	Hoogte	30
7.2.2	Piping	30

7.2.3	Macrostabiliteit	30
7.3	Cases langs de Brabantse Maas	30
7.3.1	Waterstanden	30
7.3.2	Hydraulische belastingniveaus	31
7.3.3	Piping	31
8	Limburgse Maas	33
8.1	Kenmerken systeem	33
8.2	Inschatting op systeemniveau	33
8.2.1	Hoogte	34
8.2.2	Piping	34
8.2.3	Macrostabiliteit	35
8.3	Cases langs de Limburgse Maas	35
8.3.1	Waterstanden	35
8.3.2	Hydraulische belastingniveaus	35
9	IJssel-Vecht delta	37
9.1	Kenmerken systeem	37
9.2	Inschatting op systeemniveau	37
9.2.1	Hoogte	38
9.2.2	Piping	38
9.2.3	Macrostabiliteit	38
9.3	Cases in de IJssel-Vecht delta	39
9.3.1	Waterstanden	39
9.3.2	Hydraulische belastingniveaus	39
10	Rijn-Maasmonding	41
10.1	Kenmerken systeem	41
10.2	Inschatting op systeemniveau	41
10.2.1	Hoogte	42
10.2.2	Piping	42
10.2.3	Macrostabiliteit	42
10.3	Cases in de Rijn-Maasmonding	42
10.3.1	Waterstanden	43
11	IJsselmeer	45
11.1	Kenmerken systeem	45
11.2	Inschatting op systeemniveau	45
11.2.1	Hoogte	46
11.2.2	Piping	47
11.2.3	Macrostabiliteit	47
11.3	Cases langs het IJsselmeer	47
11.3.1	Waterstanden	47
11.3.2	Hydraulische belastingniveaus	48
12	Markermeer	50
12.1	Kenmerken systeem	50
12.2	Inschatting op systeemniveau	50
12.2.1	Hoogte	51
12.2.2	Piping	51
12.2.3	Macrostabiliteit	51
12.3	Cases langs het Markermeer	52
12.3.1	Waterstanden	52
12.3.2	Hydraulische belastingniveaus	52

13	Westerschelde	54
13.1	Kenmerken systeem	54
13.2	Inschatting op systeemniveau	54
13.2.1	Hoogte	54
13.2.2	Piping	55
13.2.3	Macrostabiliteit	55
13.3	Cases langs de Westerschelde	55
13.3.1	Waterstanden	55
14	Oosterschelde	57
14.1	Kenmerken systeem	57
14.2	Inschatting op systeemniveau	57
14.2.1	Hoogte	58
14.2.2	Piping	58
14.2.3	Macrostabiliteit	58
14.3	Cases langs de Oosterschelde	58
14.3.1	Waterstanden	58
14.3.2	Hydraulische belastingniveaus	59
15	Waddenzee	60
15.1	Kenmerken systeem	60
15.2	Inschatting op systeemniveau	60
15.2.1	Hoogte	60
15.2.2	Piping	61
15.2.3	Macrostabiliteit	61
15.3	Cases langs de Waddenzee	61
15.3.1	Waterstanden	61
15.3.2	Hydraulische belastingniveaus	62
16	Kust	63
16.1	Cases op de Kust	63
17	Referenties	64

1 Inleiding

In 2017 zal een nieuwe veiligheidsnorm gebaseerd op overstromingskansen in de wet worden vastgelegd. Momenteel wordt de overstap naar de overstromingskansbenadering voorbereid.

In het kader van deze overstap is het technische instrumentarium voor het beoordelen en ontwerpen van waterkeringen aangepast. In het nieuwe instrumentarium wordt zijn ook de nieuwe inzichten (zowel hydraulische belastingen en sterkte van waterkeringen) en fysieke ingrepen in het watersysteem verwerkt.

Het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (hierna: WBI 2017 of WBI) bevat zowel de regels voor het bepalen van de hydraulische belasting en de sterkte, als de procedurele regels voor de beoordeling van de veiligheid van de primaire waterkeringen.

Het WBI bestaat uit een ministeriële regeling (Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017) met de volgende bijlagen:

- Bijlage I Procedure beoordeling veiligheid primaire waterkeringen
 - In deze bijlage staat de procedure die moet worden doorlopen voor de beoordeling en worden de rapportageverplichtingen beschreven. In deze bijlage is een begrippenlijst opgenomen met een uitleg van alle begrippen die in het WBI 2017 worden gebruikt.
- Bijlage II Voorschriften bepaling hydraulische belasting primaire waterkeringen
 - In deze bijlage wordt de methode beschreven om de hydraulische belastingen op de primaire waterkeringen te bepalen.
- Bijlage III Voorschriften bepaling sterkte en veiligheid primaire waterkeringen
 - In deze bijlage staat op welke manier de primaire waterkering moet worden beoordeeld om te komen tot een oordeel over de veiligheid van de gehele waterkering.

Naast het WBI is er ook een Ontwerpinstrumentarium (OI). Het Ontwerpinstrumentarium is een handreiking voor het dimensioneren van een ontwerp voor een verbetering van een waterkering. Het ontwerpinstrumentarium geeft aan hoe onderdelen uit het WBI, met name vanuit de Bijlagen II en III, samen met achterliggende documenten kunnen worden gebruikt voor het ontwerpen binnen de overstromingskansbenadering

Het voorliggende document bevat de consequentieanalyse bij het WBI 2017. Omdat de voorschriften uit het WBI aan de basis liggen van het Ontwerpinstrumentarium geeft de consequentie tevens inzicht in de verwachte versterkingsopgave. De daadwerkelijke consequenties komen uit de eerste wettelijke beoordeling van de waterkeringen.

In deze consequentieanalyse worden de consequenties van de verschillende wijzigingen in het instrumentarium aangegeven op de benodigde hoogte en sterkte van de kering.

De benodigde sterkte is afhankelijk van de norm met bijbehorende hydraulische belastingen. In deze consequentieanalyse wordt ingegaan op de wijziging van de voorschriften voor macrostabiliteit en piping.

Voor de hoogte is naast de norm en hydraulische belasting het toelaatbaar overslagdebiet van belang. Dit overslagdebiet wordt vooral bepaald door de voorschriften voor de erosie van kruin en binnentalud.

Leeswijzer

Het voorliggende document bevat de consequentieanalyse bij het WBI 2017. Omdat de voorschriften uit het WBI aan de basis liggen van het Ontwerpinstrumentarium geeft de consequentieanalyse tevens inzicht in de verwachte versterkingsopgave.

Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de verschillen tussen het oude en nieuwe instrumentarium voor het beoordelen van waterkeringen.

Hoofdstuk 3 beschrijft de methode waarmee de verwachte consequenties voor de veiligheids- en versterkingsopgave zijn bepaald.

Hoofdstuk 4 – 16 beschrijft per watersysteem de verwachte consequenties op hoofdlijnen. Op basis van algemene kenmerken van het systeem en landelijke studies wordt een indicatie van omvang (percentage van het areaal) en mate (afstand tot de norm) van de veiligheidsopgave gepresenteerd en nader geduid met voorbeelden. De voorbeelden geven een eerste indruk van de versterkingsopgave.

2 Overzicht inhoudelijke verschillen oude en nieuwe instrumentarium

2.1 Normen

In het nieuwe instrumentarium wijzigt de grondslag. De oude normen, gebaseerd op overschrijdingskansen, worden vervangen door overstromingskansnormen. Niet alleen het type norm, ook de getalswaarde verandert. Bij de nieuwe normering wordt zoveel mogelijk uitgegaan van het probabilistisch beoordelen

2.2 Verschillen in bepaling hydraulische belastingen primaire waterkeringen

Verschillen in hydraulische belasting op de waterkering volgens het oude instrumentarium, gebaseerd op het WTI 2006 en het nieuwe instrumentarium gebaseerd op het WBI 2017 worden veroorzaakt door:

- Nieuwe kennis op het gebied van hydraulische belastingen. Onderscheid wordt gemaakt tussen
 - Nieuwe golf en waterbewegingsmodellen
 - Gewijzigde inzichten in statistiek, bijvoorbeeld uit de toepassing van het neerslag-afvoermodel GRADE.
- Fysieke veranderingen van de watersystemen die leiden tot andere schematisaties, zoals Ruimte voor de Rivier.
- Meenemen van onzekerheden¹.

Watersysteem	Veranderingen
Waal, Lek, IJssel, Brabantse Maas, Limburgse Maas	Ruimte voor de Rivier, afvoerstatistiek, probabilistisch model en meenemen onzekerheden
IJssel-Vecht Delta	Ruimte voor de Rivier, afvoerstatistiek en meenemen onzekerheden
Rijn-Maasmonding	Ruimte voor de Rivier, afvoerstatistiek, golfbelasting (SWAN) en meenemen onzekerheden
IJsselmeer	Nieuwe fysica, windstatistiek en meenemen onzekerheden
Markermeer	Windstatistiek en meenemen onzekerheden
Westerschelde	Nieuwe fysica, Probabilistisch model en meenemen onzekerheden
Waddenzee	Nieuwe fysica, Probabilistisch model en meenemen onzekerheden
Oosterschelde en Kust	Probabilistisch model en meenemen onzekerheden

In het kader van de ontwikkeling van het WBI zijn de verschillen tussen de HR 2006 en de hydraulische belastingen in het WBI 2017 geanalyseerd [referentie 1].

2.3 Verschillen in bepaling sterkte primaire waterkeringen

In onderstaande tabel wordt per toetsspoor een overzicht gegeven van de belangrijkste inhoudelijke verschillen tussen het oude (VTV 2006) en het nieuwe instrumentarium (WBI 2017) voor beoordelen van primaire waterkeringen.

In het kader van de ontwikkeling van het WBI zijn de verschillen tussen de voorschriften in het WTI 2006 en het WBI 2017 voor piping en macrostabiliteit uitgebreid beschreven in [referentie 2 en 3].

¹ Hierbij wordt opgemerkt dat op dit moment de onzekerheden in het ontwerpinstrumentarium als een vaste toeslag die niet afhankelijk is van de locatie (wel van het systeem) en de hoogte van de norm wordt meegenomen. In het Deze toeslag zal conform de belastingen in het WBI in de ontwerpbelastingen verwerkt worden en.

Toetsspoor	Verskil
<u>Dijken en dammen</u> Macrostabiliteit binnenwaarts en Macrostabiliteit buitenwaarts Piping	Nieuwe veiligheidsfactoren, conform overstromingskansbenadering Nieuw (ongedraineerd) materiaalmodel (CSSM) Gewijzigd glijvlakmodel Gewijzigde schematisatiehandreiking (stochastisch schematiseren ondergrond en waterspanningen) Nieuwe veiligheidsfactoren, conform overstromingskansbenadering Aangepaste rekenregel van Sellmeijer, verwijderen regel van Bligh Nieuw rekenmodel voor heave (verticaal zandtransport) Gewijzigde schematisatiehandreiking (stochastisch schematiseren ondergrond, parameterbepaling) Eenvoudige beoordeling op basis van tijdsafhankelijkheid
<u>Bekledingen</u> Golfklappen op asfaltbekleding Grasbekleding erosie buitentalud Grasbekleding erosie kruin en binnentalud Stabiliteit steenzetting (ZST)	Een aantal toetsporen die zijn gebaseerd op visuele waarnemingen zijn niet meer opgenomen. In het WBI wordt de bekleding beoordeeld op peildatum 2023 waarbij wordt uitgegaan van goed beheer waarbij schade wordt hersteld. Nieuwe schematiseringshandleidingen. Nieuwe veiligheidsfactoren, conform overstromingskansbenadering Aangepast rekenmodel Nieuw erosiemodel Nieuwe veiligheidsfactoren, conform overstromingskansbenadering Ruimere kritieke overslagdebieten Nieuwe veiligheidsfactoren, conform overstromingskansbenadering Nieuw rekenmodel voor reststerkte
<u>Duinwaterkering</u> Duinafslag (DA)	Toetsspoor winderosie is komen te vervallen (in WTI 2011) Nieuwe rekenmodellen (D++, XBeach) voor beoordeling in Toets op Maat
<u>Kunstwerken</u> Hoogte kunstwerk Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk Piping bij kunstwerk Sterkte en stabiliteit puntconstructies Sterkte en stabiliteit langsconstructies	Nieuwe schematisatiehandreikingen (vastleggen bestaande kennis en best practices uit VNK2) Probabilistische beoordeling per vak. Aangepaste scoretabel voor gedetailleerde methode Nieuw rekenmodel bij horizontale kwelweg (Sellmeijer) Volledig aangepast toetsspoor. Probabilistische beoordeling per vak Nieuw toetsspoor
<u>Voorland</u> Zettingsvloeiing voorland (VLZV) Golfafslag voorland (VLGA)	Nieuwe beoordelingsmethode als indirect mechanisme. Bijdrage aan overstromingskans wordt beoordeeld door effect op direct mechanisme Nieuw rekenmodel Minimale geuldiepte in eenvoudige toets vervalt Nieuw toetsspoor (uit WTI 2011)
<u>Niet-waterkerende objecten</u>	Nieuwe beoordelingsmethode als indirect mechanisme. Bijdrage aan overstromingskans wordt beoordeeld door effect op direct mechanisme Nieuwe beslisregels in eenvoudige toets (uit WTI 2011)
<u>Technische innovatie (INN)</u>	Nieuw toetsspoor (uit WTI 2011)

Voor aansluitconstructies bij kunstwerken is een handreiking opgesteld die de keringbeheerder naar eigen inzicht kan gebruiken voor het beoordelen van aansluitconstructies.

3 Methode consequentieanalyse

3.1 Inschatting op systeemniveau

In het instrumentarium van WBI 2017 veel veranderd, te veel om per locatie aan te kunnen geven wat de consequenties zijn van het nieuwe instrumentarium voor de veiligheids- en versterkingsopgave. Daarvoor is een gedetailleerde beoordeling per locatie nodig.

De veiligheidsopgave is daarom in deze consequentieanalyse kwalitatief op watersysteem niveau bepaald. De effecten van de verschillen uit het vorige hoofdstuk zijn ingeschat op basis van de karakteristieke kenmerken van de systemen. De karakteristieke kenmerken worden bepaald door belastingregime, bodemopbouw, en eigenschappen van de kering. De kering zoals die erbij ligt, is het resultaat van versterkingen die in de loop van de tijd hebben plaatsgevonden.

Inzichten uit landelijke studies ten behoeve van de ontwikkeling van de nieuwe normering (impactanalyse Nieuwe Normering, VNK2) aangevuld met verschil- en andere analyses die voor de ontwikkeling van het WBI 2017 zijn uitgevoerd, kunnen een indruk geven van de ordegrrootte van de veiligheidsopgave op watersysteemniveau. De veiligheidsopgave wordt daarbij bepaald door de strekking (het aantal kilometers) en mate van niet voldoen (afstand tot de norm). Deze inschatting geldt voor zowel de maximaal toelaatbare kans als de signaalwaarde, het verschil hiertussen is voor de inschatting niet onderscheidend. De opgave ten aanzien van hoogte (overloop/golfoverslag), piping en macrostabiliteit geven een goede indicatie van de te verwachte veiligheidsopgave.

Deze indicatie is verkregen door met experts op het gebied van hydraulica, probabilistiek, geotechniek en geologie per watersysteem en riviertak alle beschikbare kennis te combineren (expert judgement en berekeningen) om zodoende een kwalitatief beeld te schetsen wat de omvang van de waterveiligheidsopgave gaat worden en onder welke omstandigheden een toets op maat nodig is. In de Toets op maat kan met andere modellen, andere faalkansbegroting en andere faaldefinities een nauwkeuriger veiligheidsbeeld worden verkregen.

In navolgende hoofdstukken worden per watersysteem de relevante kenmerken kort beschreven. Ingegaan wordt op belastingregime, ondergrond en kenmerken van de kering. Vervolgens wordt de veiligheidsopgave in het systeem kwalitatief beschreven aan de hand van een figuur waarin de verwachte omvang (kilometers) van veiligheidsopgave is uitgezet tegen het veiligheidstekort (afstand tot de norm).

3.2 Aanpak Cases

Naast de inzichten op systeemniveau worden de veranderingen voor hoogte en piping ook inzichtelijk gemaakt door middel van de uitwerking van diverse cases. Deze uitwerking geeft tevens inzicht in de versterkingsopgave.

Per systeem zijn voor hoogte één of meerdere cases doorgerekend. Voor piping zijn alleen voor het rivierengebied cases uitgewerkt. Voor een deel zijn de cases al voor eerdere consequentieanalyses (o.a. in het kader van Deel Programma Veiligheid) opgesteld.

Met de cases kan per systeem inzicht worden verkregen in de gezamenlijke impact van de verschillende stappen die vanuit het WTI 2006 naar het nieuwe WBI2017 gezet zijn.

De cases gaan uit van de maximaal toelaatbare kans (ondergrens) die in de wet is vastgelegd. Voor de afleiding van eisen op vakniveau per toetspoor wordt uitgegaan van faalkansbegroting en lengteeffect zoals beschreven in deel III van het WBI 2017. Deze methode is gelijk aan de methode in het OI 2014. Voor de profielgegevens is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de wekelijks profielen uit VNK2.

3.2.1 Hoogte

In onderstaande figuur zijn de verschillende stappen weergegeven om van de situatie HR2006 naar het WBI2017 te komen. De eerste stap beschrijft de invloed van de nieuwe kennis op het gebied van HR, denk hierbij aan het aanpassen van de modellen aan de fysieke veranderingen zoals Ruimte voor de Rivier, de invloed van GRADE, nieuwe Hydra-modellen. De tweede stap geeft het inzicht in de consequenties van de nieuwe norm inclusief de bijbehorende grotere overslagdebieten voor het Hydraulisch Belasting Niveau (HBN) die hier niet los van kunnen worden gezien. Stap 3 geeft de invloed van het meenemen van onzekerheden aan de belastingen kant. Conform OI 2014 is dit een vaste toeslag die niet afhankelijk is van de locatie (wel van het systeem) en de hoogte van de norm. In het WBI is deze toeslag verwerkt in de Hydraulische belastingen.

	Stap 0	Stap 1	Stap 2	Stap 3
Hydraulisch rvw	HR2006	WTI2017	WTI2017	WTI2017
Ontwerpkans	Huidige norm	Huidige norm	Nieuwe norm	Nieuwe norm
Overslagdebiet	1 l/s/m	1 l/s/m	5 l/s/m	5 l/s/m
Onzekerheid belasting	N.v.t.	N.v.t.	Nee	Ja

Tabel 1: Overzicht van de stappen voor hoogte

3.2.2 Piping

Er zijn verschillende wijzigingen in het WBI 2011 ten opzichte van het WTI 2006. De verschillen zijn uitgebreid beschreven in [Referentie 2]. In de cases wordt stapsgewijs inzicht gegeven in de consequenties.

In de eerste stap wordt de invloed van de wijziging van de modelbeschrijving gegeven. De volgende stappen zijn tussenstappen en laten de consequenties van de inzichten van het niet vastgestelde WTI 2011 zien. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de verschillen in hydraulische belasting (stap 2a), gewijzigde veiligheidsfactor (stap 2b) en introductie van stochastische ondergrond schematisatie (weergegeven met schematiseringsfactor in stap 3). In de 4^e stap wordt de invloed van de gewijzigde hydraulische belasting in het WBI 2017 beschreven. De vijfde stap geeft de consequenties van de nieuwe norm en bijbehorende nieuwe sterkte factoren. De laatste stap beschrijft de invloed van het meenemen van onzekerheden in de Hydraulische belastingen op het faalmechanisme piping.

NB Uit VNK2 en ook de POV Piping blijkt dat de invoerparameters voor de piping-berekeningen moeilijk in het veld te bepalen zijn. Daar kan dus veel spreiding en daarmee onzekerheid in zitten.

Er is in de cases vanwege praktische redenen gekozen om niet in te gaan op andere oplossingsrichtingen, maar om alleen de benodigde kwelweglengte te bepalen. Deze benodigde kwelweglengte moet worden opgevat als een maatstaf voor de aanwezige of extra benodigde veiligheid, maar niet als omvang van de daadwerkelijk aan te leggen berm lengte.

In het Rivierengebied wordt een grote opgave op het gebied van het faalmechanisme piping verwacht. Het lijkt niet vanzelfsprekend om de keringen met bermen te versterken. In de praktijk zijn ook andere oplossingen mogelijk en bij een zeer grote benodigde breedte waarschijnlijk ook wenselijk. Onder andere in de POV piping wordt gezocht naar innovatieve manieren om dijken te wapenen tegen dit faalmechanisme.

In onderstaande figuur zijn de verschillende stappen weergegeven om van de situatie met het WT2006 naar het WBI2017 te komen.

Als uitgangssituatie is de situatie beschouwd waarbij de HR2006 is gehanteerd en waarbij uit is gegaan van de oude Sellmeijer formule, waarbij afgekap is op 18h.

	Stap 0	Stap 1	Stap 2a	Stap 2b	Stap 3	Stap 4	Stap 5	Stap 6	Stap 7
Model	"Oude" Sellmeijer (afkappen 18H)	"Nieuwe" Sellmeijer	"Nieuwe" Sellmeijer	"Nieuwe" Sellmeijer	"Nieuwe" Sellmeijer	"Nieuwe" Sellmeijer	"Nieuwe" Sellmeijer	"Nieuwe" Sellmeijer	"Nieuwe" Sellmeijer
Hydraulisch rvw	HR2006	HR2006	CR2011	CR2011	CR2011	WTI2017	WTI2017	WTI2017	WTI2017
Ontwerpkans	Huidige norm	Huidige norm	Huidige norm	Huidige norm	Huidige norm	Huidige norm	Nieuwe norm	Nieuwe norm	Nieuwe norm
Veiligheidsfactor	1.2	1.2	1.2	Afhankelijk van gebied	Afhankelijk van gebied	Afhankelijk van gebied	Afgeleid op basis van eis aan de kering	Afgeleid op basis van eis aan de kering	Afgeleid op basis van eis aan de kering
Schematiseringsfactor	Nee	Nee	Nee	Nee	1.1	1.1	1.1	1.1	Nee
Scenario's	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	1 scenario gekoppeld aan schematisering sfactor	1 scenario gekoppeld aan schematisering sfactor	1 scenario gekoppeld aan schematisering sfactor	1 scenario gekoppeld aan schematisering sfactor	Ja
Robuustheidstoelag	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
Onzekerheid belasting	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	Nee	Ja	Ja
Klimaatopgave	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee

Tabel 2: Stappen voor mechanisme piping.

4 Waal

4.1 Kenmerken systeem

De Waal wordt gekenmerkt door rivierdijken met een taludhelling van doorgaans 1:3. Voor de faalmechanismen piping en macrostabiliteit zijn er bermen aanwezig. Veel pipingbermen zijn gedimensioneerd op basis van de regel van Bligh. Voor piping en macrostabiliteit zijn de aanwezige voorlanden van belang.

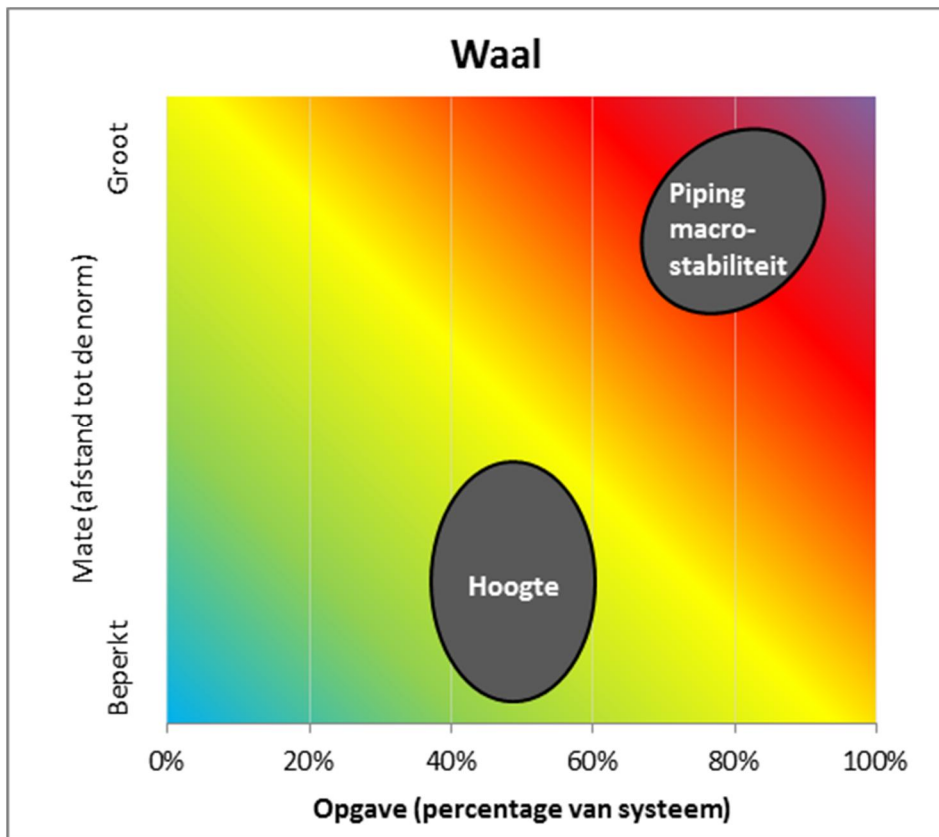
De belasting op het systeem is afvoergedomineerd. Het hoogwater is langdurig en het verval over de kering gedurende dit hoogwater is relatief groot. In het algemeen is sprake van een grotere decimeringshoogte dan in het benedenrivierengebied. Bij hoge terugkeertijden neemt decimeringshoogte op de waterstand af.

De bodemopbouw is heterogeen (veel zandbanen) en de afdekkende lagen zijn relatief dun (wat dikker in het westen afnemend naar nul in het oosten).

Grote delen van de dijken langs de Waal zijn na de hoogwaters van 1993 en 1995 versterkt. Deze versterking is veelal uitgevoerd op basis van een 15.000 m³/s afvoergolf, meestal met een overslagdebiet van 1 l/s/m. Voor piping is ontworpen op basis van de regel van Bligh (factor 15) en later ook Sellmeijer (factor 10-18). Tijdens relatief lage afvoeren (1/10 waterstand) zijn er veel pipingwellen waargenomen. De afgelopen periode zijn in het kader van Ruimte voor de Rivier meerdere maatregelen uitgevoerd.

4.2 Inschatting op systeemniveau

Voor de verschillende faalmechanismen is op systeemniveau een inschatting gemaakt van de veiligheidsopgave. Voor de gehele Waal is de inschatting dat over een groot gedeelte van de keringen voor verschillende toetssporen een beperkte tot grote veiligheidsopgave aanwezig is. In de volgende paragrafen zal per mechanisme de inschatting worden toegelicht.



Figuur 1: Inschatting veiligheidsopgave voor de Waal.

4.2.1

Hoogte

Bij het inschatten van de opgave voor de hoogte van de kering is rekening gehouden met de effecten van RvdR / GRADE, onzekerheden, overslagdebiet en nieuwe norm. Daarnaast is bij de inschatting gekeken naar de huidige kering en eventueel aanwezige overhoogte en een eventuele opgave uit de derde toetsronde.

Ten opzichte van de toetsing 2006 leiden RvdR, GRADE en het grotere overslagdebiet tot een verlaging van de benodigde kruinhoogte en zorgen de nieuwe norm en het meenemen van onzekerheden tot een verhoging van de benodigde kruinhoogte. Gezamenlijk heffen deze elementen elkaar deels op, maar gezien de resultaten uit de derde toetsronde is de verwachting dat orde 40-60 procent van de keringen langs de Waal een beperkte tot gemiddelde veiligheidsopgave heeft.

4.2.2

Piping

Voor piping is de inschatting van de veiligheidsopgave gebaseerd op diverse reeds uitgevoerde analyses. Zo geven onder andere VNK2, Consequentieanalyse aangepaste pipingregel (Arcadis, 2012), impactanalyse Nieuwe Normering (RWS, 2015) aan dat langs de Waal een grote veiligheidsopgave voor piping aanwezig zal zijn. De kalibratieberekeningen die voor WBI 2017 zijn uitgevoerd veranderen dit beeld niet.

Voor de Waal zal de eenvoudige toetsregel in het WBI2017 vrijwel nergens tot en positief resultaat zal leiden.

De veiligheidsopgave wordt met name bepaald door de aangepaste rekenregel en minder door de nieuwe normering.

Bij aanwezigheid van brede voorlanden met een deklaag is de veiligheidsopgave in het benedenstroomse deel van de Waal lokaal kleiner wanneer tijdsafhankelijkheid en heterogeniteit van de ondergrond in rekening wordt gebracht. Monitoring van waterspanningen in combinatie met toepassen van het concept bewezen sterkte kan mogelijk een belangrijke bijdrage leveren aan het scherper in beeld krijgen van de veiligheidsopgave.

4.2.3 *Macrostabiliiteit*

Richting het oosten worden de klei en veenlagen steeds dunner en komen zandlagen direct onder maaiveld voor. Hierdoor zal het systeem steeds meer gedraineerd reageren, waardoor de invloed van CSSM, het nieuwe materiaalmodel voor klei en veenlagen, afneemt en een eventuele veiligheidsopgave volledig wordt veroorzaakt door de nieuwe norm.

Voor macrostabiliiteit geldt dat de opgave met name bepaald door de nieuwe normering en de daaruit volgende scherpere eisen aan dit mechanisme.

4.3 **Cases langs de Waal**

Voor de Waal zijn cases langs de trajecten 41-2 (Ooijpolder), 43-6 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden) en 48-1 (Rijn en IJssel) uitgewerkt. Er wordt onderscheid gemaakt tussen waterstanden voor de beoordeling van geotechnische mechanismen, hydraulische belastingniveaus (HBN) voor bepaling van de benodigde kruinhoogte en piping.

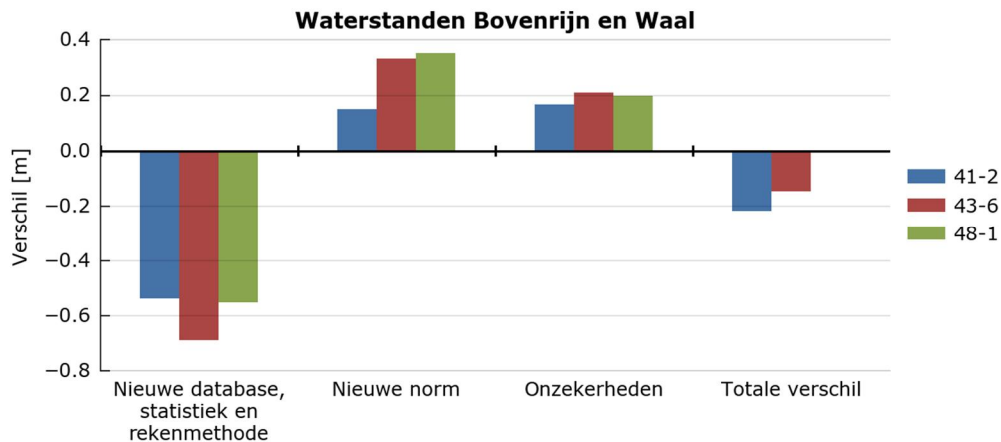
4.3.1 *Waterstanden*

Voor de waterstanden zijn in onderstaande figuur de veranderingen weergegeven. De waterstanden op de Waal dalen met gemiddeld 50 cm door nieuwe afvoerstatistiek en fysieke veranderingen in het riviergebied. Dit wordt veroorzaakt door Ruimte voor de Rivier maatregelen en de nieuwe GRADE afvoerstatistiek.

De eisen langs de Waal nemen toe door de nieuwe norm. Hierdoor moet met hogere waterstanden rekening worden gehouden. Langs de trajecten 41-2 stijgt de waterstand met ongeveer 20 cm en langs 48-1 en 43-6 met ongeveer 30 cm.

Statistische- en modelonzekerheden resulteren op de hele Waal in een stijging van orde 20 cm.

Ten opzichte van het WTI 2006 daalt de waterstand in traject 41-2 en 43-6 met circa 20 cm. Voor traject 48-1 is er nagenoeg geen verandering.



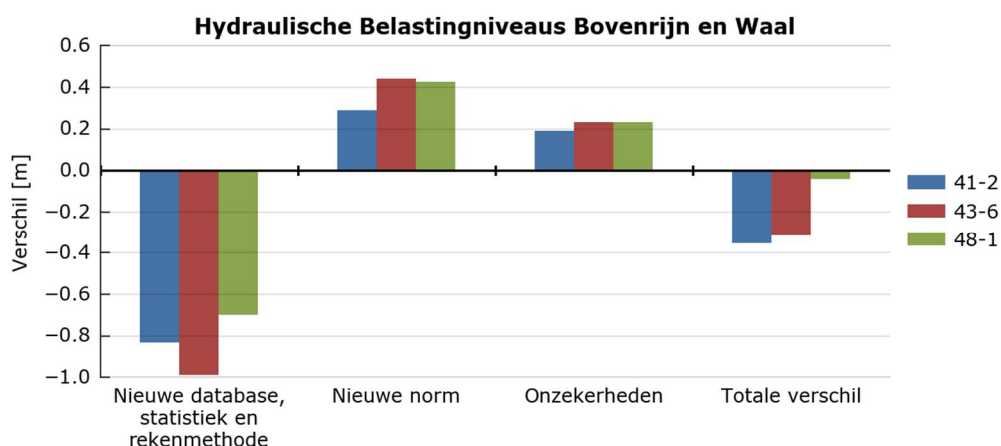
4.3.2 *Hydraulische belastingniveaus*

Voor het HBN worden dezelfde effecten als voor de waterstand in beeld gebracht. Het HBN op de Waal dalen bij traject 48-1 gemiddeld 70 cm door nieuwe afvoerstatistiek en fysieke veranderingen in het riviergebied. Voor de trajecten 41-2 en 43-6 is dit respectievelijk 80 cm en 100 cm. Dit wordt veroorzaakt door Ruimte voor de Rivier maatregelen en de nieuwe GRADE afvoerstatistiek. De overstap van deterministisch rekenen (HR2006) naar probabilistisch rekenen (WBI2017) is hierin verdisconteerd. Deze stap resulteert in lagere HBN's.

Door de scherpere eisen vanuit de nieuwe norm neemt het HBN langs de trajecten 43-6 en 48-1 toe met ongeveer 40 cm en langs 41-2 ongeveer 30 cm.

Statistische- en modelonzekerheden resulteren op de hele Waal in een stijging van 20 cm.

In totaal daalt het HBN in het WBI2017 ten opzichte van het WTI2006. Voor traject 48-1 is deze daling klein, ongeveer 5 cm. Voor de trajecten en 41-2 en 43-6 is dit 30 cm.



4.3.3 *Piping*

Voor piping is de verwachte verandering in veiligheidsopgave uitgedrukt in benodigde kwelweglengte. **Deze kwelweglengte is niet direct een maat voor**

de aan te leggen berm! Er zijn vele andere soortgelijke oplossingen die mogelijk veel meer voor de hand liggen.

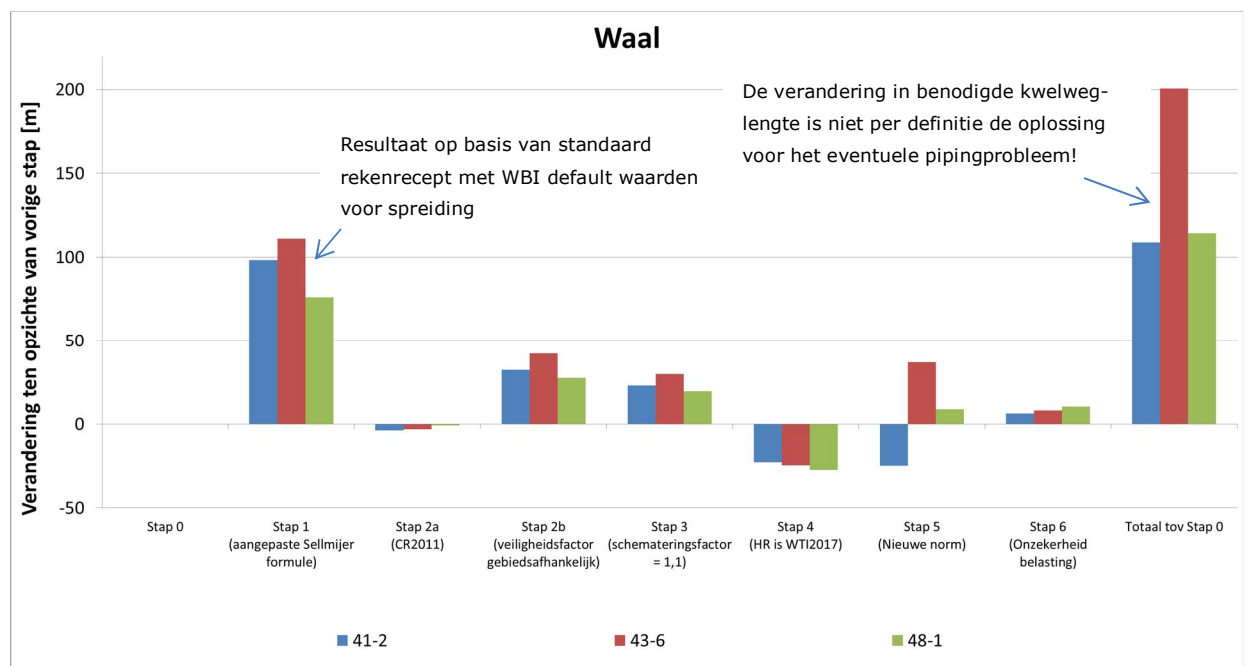
In Figuur 2 is de invloed van de verschillende veranderingen in de beoordeling van het mechanisme Piping voor de Waal weergegeven. De figuur laat zien dat met name de aangepaste formulering van de rekenregel van Sellmeijer voor een grote toename van de benodigde kwelweglengte zorgt.

In stap 2b wordt overgestapt naar een gebiedsafhankelijke veiligheidsfactor. Voor de dijkvakken langs de Waal betekent dit dat de veiligheidsfactor bij stap 2b is verhoogd van 1,2 naar 1,4.

Uit stap 4 blijkt dat met de hydraulische belastingen uit het WBI2017 (inclusief GRADE en Ruimte voor de Rivier) de benodigde kwelweglengte afneemt.

De nieuwe norm leidt langs de Waal tot zwaardere eisen met betrekking tot piping. De benodigde veiligheidsfactor is hoger dan in het WTI 2006, echter lager dan voor de situatie 2011 (stap 2b) was afgeleid. Ten opzichte van het WTI 2006 neemt de kwelweglengte toe, echter ten opzichte van stap 2b is sprake van een afname van de benodigde kwelweglengte.

Uit de figuur blijkt dat het effect van het meenemen van de onzekerheid in de belasting een relatief beperkt effect heeft op de benodigde kwelweglengte.



Figuur 2: Invloed van de verschillende stappen op het faalmechanisme piping voor de Bovenrijn en Waal.

Bovenstaande illustratie van de cases voor piping laat zien dat de opgave voor dit faalmechanisme groot is. Dit komt overeen met de inschatting op systeemniveau uit paragraaf 4.2.2.

5 Nederrijn-Lek

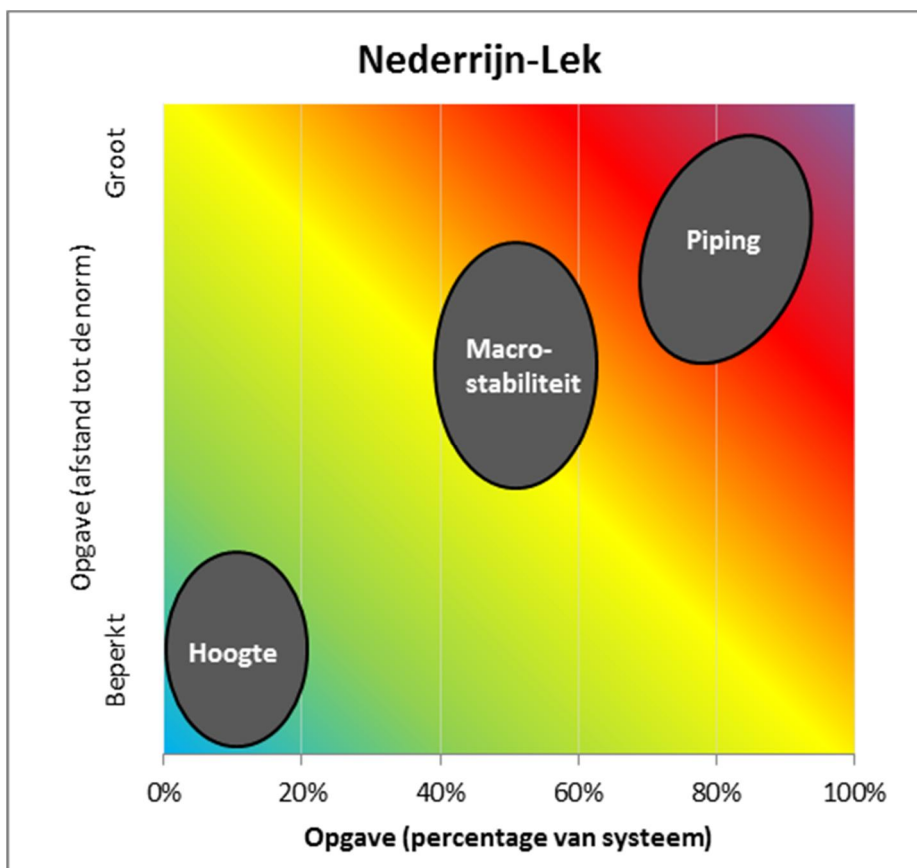
5.1 Kenmerken systeem

Het systeem langs de Nederrijn-Lek kenmerkt zich door de overgang van dijken gelegen in het bovenrivierengebied (slanke dijken op zandondergrond met veelal een piping of kleine stabiliteitsberm) tot dijken in het benedenrivierengebied (brede dijken op slappe lagen met grote stabiliteitsbermen). In grote delen zijn de afgelopen jaren versterkingen uitgevoerd in het kader van het HWBP2 (delen in het benedenrivierengebied) en Ruimte voor de Rivier (vooral zuidoever bovenrivierengebied). Veel pipingbermen zijn gedimensioneerd op basis van de regel van Bligh.

De belasting op het systeem gedurende hoogwater verschilt. In het oostelijke deel wordt deze bepaald door de rivieraafvoer en wordt deze gekenmerkt door een lange duur. In het benedenrivierengebied is de invloed van een stormvloed vanuit zee dominant. Het verval over de kering is over het algemeen minder groot dan langs de Waal.

5.2 Inschatting op systeemniveau

Voor de verschillende faalmechanismen is op systeemniveau een inschatting gemaakt van de veiligheidsopgave. Voor de Nederrijn-Lek is er voor een groot deel een veiligheidsopgave. Anders dan bij de Waal wordt de opgave vaak bepaald door een mechanisme. De opgave voor macrostabiliteit zit vooral in het westen, voor piping vooral in het oosten. In het midden kunnen beide mechanismen spelen. Hoogte is een minder groot probleem.



Figuur 3: Inschatting opgave voor de Nederrijn-Lek.

5.2.1 *Hoogte*

Ten opzichte van de toetsing met het WTI2006 leiden Ruimte voor de Rivier maatregelen, nieuwe inzichten in de afvoerstatistiek (GRADE) en het grotere overslagdebiet tot een verlaging van de benodigde kruinhoogte en leiden de nieuwe norm en het meenemen van onzekerheden tot een verhoging van de benodigde kruinhoogte. Gezamenlijk heffen deze elementen elkaar deels op. Gezien de resultaten uit de derde toetsronde is de verwachting dat 0-20 procent van de keringen een veiligheidsopgave heeft.

5.2.2 *Piping*

Voor piping is de inschatting van de veiligheidsopgave gebaseerd op diverse analyses. Op basis van VNK2, de Consequentieanalyse aangepaste pipingregel (Arcadis, 2012), de impactanalyse nieuwe normering (RWS, 2015) en de analyses die binnen WBI voor kalibratie zijn uitgevoerd, wordt langs de Nederrijn-Lek een grote veiligheidsopgave voor piping verwacht. De veiligheidsopgave wordt vooral bepaald door de aangepaste rekenregel en minder door de nieuwe normering

De eenvoudige toetsregel uit het WBI2017 zal vrijwel nergens tot goedkeuring leiden.

Op de delen met een dikkere deklaag of breed voorland is de veiligheidsopgave kleiner. Lokaal zal in het benedenstroomse deel het meenemen van tijdsafhankelijkheid en heterogeniteit bij voorlanden in een 'toets op maat' tot een scherpere beoordeling leiden. Monitoring in combinatie met het concept bewezen sterkte kan hier mogelijk een belangrijke bijdrage leveren aan het scherper in beeld krijgen van de veiligheidsopgave.

5.2.3 *Macrostabieliteit*

Richting het Oosten worden de klei en veenlagen steeds dunner en komen zandlagen direct onder maaiveld voor. Hierdoor zal het systeem steeds meer gedraineerd reageren, waardoor de invloed van CSSM, het nieuwe materiaalmodel voor klei en veenlagen, afneemt.

Met name door de scherpere eisen vanuit de nieuwe normen wordt langs de Nederrijn - Lek een veiligheidsopgave door macrostabieliteit verwacht.

5.3 Cases langs de Nederrijn-Lek

Langs de Nederrijn-Lek zijn cases in de trajecten 44-1 (Kromme Rijn) en 43-2 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden) uitgewerkt. Er wordt onderscheid gemaakt tussen waterstanden voor de beoordeling van geotechnische mechanismen, hydraulische belastingniveaus (HBN) voor bepaling van de benodigde kruinhoogte en piping.

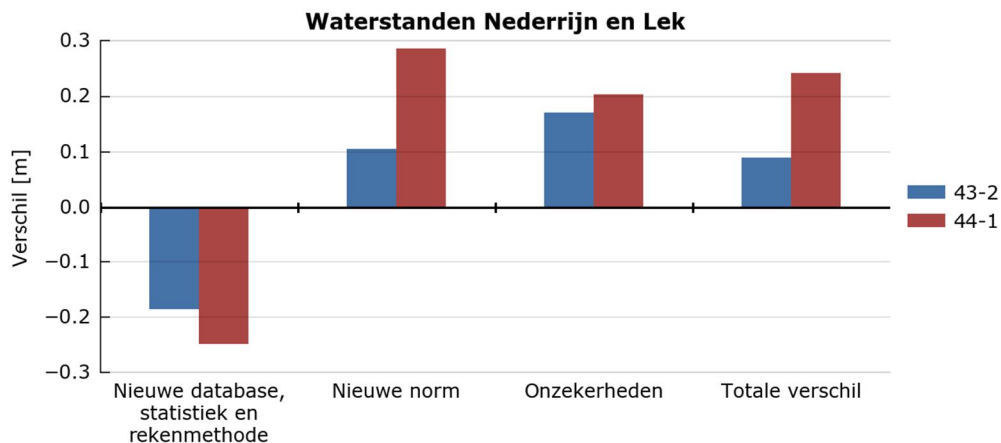
5.3.1 Waterstanden

Voor de waterstanden zijn in onderstaande figuur de veranderingen weergegeven. De waterstanden op de Nederrijn-Lek dalen met ongeveer 20 cm door nieuwe afvoerstatistiek en fysieke veranderingen in het riviergebied. Dit wordt veroorzaakt door Ruimte voor de Rivier maatregelen en de nieuwe GRADE afvoerstatistiek.

De eisen langs de Waal nemen toe door de nieuwe norm. Hierdoor moet met hogere waterstanden rekening worden gehouden. Langs de trajecten 43-2 stijgt de waterstand met ongeveer 10 cm en langs 44-1 met bijna 30 cm.

Statistische- en modelonzekerheden resulteren op de Nederrijn Lek in een stijging van orde 20 cm.

De totale verhoging van de waterstand in de Nederrijn Lek is op de locatie langs 43-2 circa 10 cm en voor de locatie langs 44-1 ongeveer 25 cm.



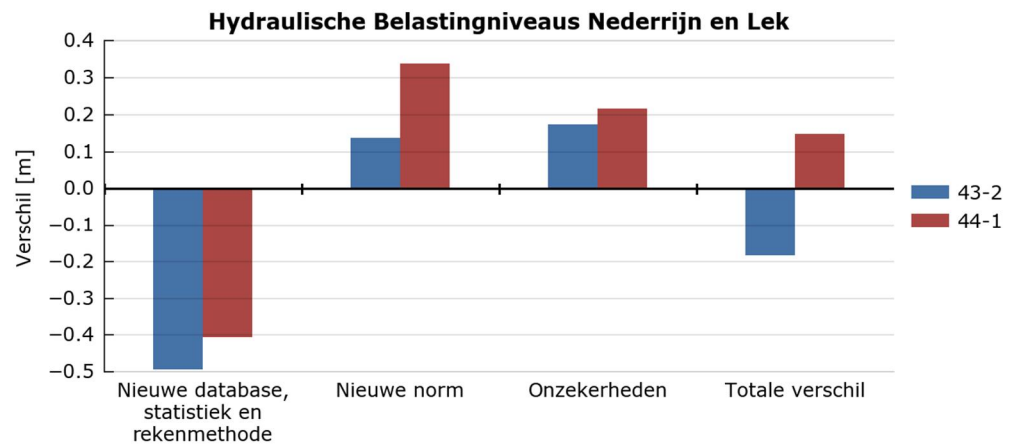
5.3.2 Hydraulische belastingniveaus

Het HBN daalt op de locatie in traject 43-2 met circa 50 cm door nieuwe, statistiek, schematisaties van de rivierbodem en rekenmethode. Voor de locatie langs 44-1 wordt een HBN dat 40 cm lager is berekend. Dit wordt vooral veroorzaakt door Ruimte voor de Rivier maatregelen en de nieuwe afvoerstatistiek (GRADE).

Door de scherpere eisen vanuit de nieuwe norm neemt het HBN langs traject 43-2 toe met iets meer dan 10 cm en voor de locatie bij traject 44-1 iets meer dan 30 cm.

Het meenemen van onzekerheden leidt voor beide situaties tot een toename van het HBN van ongeveer 20 cm.

In totaal daalt het HBN voor de locatie in traject 43-1 bijna 20 cm. Voor de locatie bij traject 44-1 neemt het HBN toe, namelijk ongeveer 15 cm.



5.3.3

Piping

Voor piping is de verandering uitgedrukt in benodigde kwelweglengte. **Deze kwelweglengte is niet direct een maat voor de aan te leggen berm!** Er zijn vele andere soortige oplossingen die mogelijk veel meer voor de hand liggen.

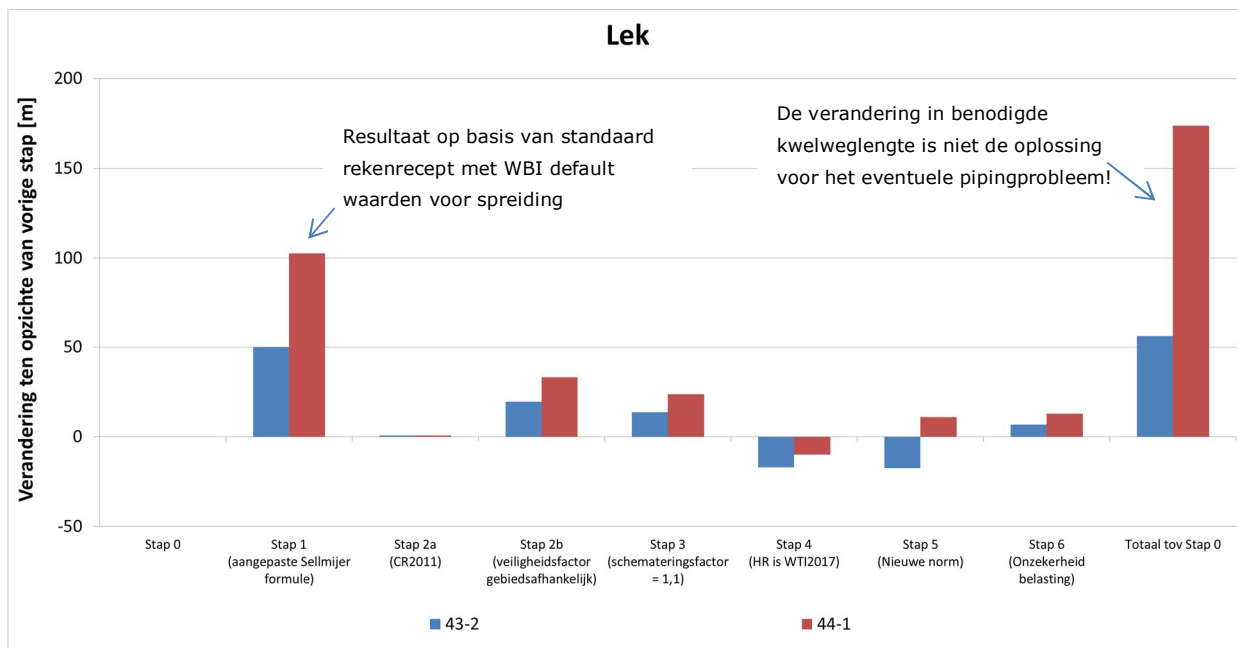
In Figuur 4 is de invloed van de verschillende veranderingen in de beoordeling van het mechanisme Piping voor de Nederrijn-Lek weergegeven. De figuur laat zien dat met name de aangepaste formulering van de rekenregel van Sellmeijer leidt tot een grote toename van de benodigde kwelweglengte.

In stap 2b wordt overgestapt naar een gebiedsafhankelijke veiligheidsfactor. Voor de dijkvakken d betekent dit dat de veiligheidsfactor bij stap 2b is verhoogd van 1,2 naar 1,4.

Uit stap 4 blijkt dat met de hydraulische belastingen uit het WBI2017 (inclusief GRADE en Ruimte voor de Rivier) de benodigde kwelweglengte afneemt.

De nieuwe norm leidt langs de Nederrijn-Lek tot zwaardere eisen met betrekking tot piping. De benodigde veiligheidsfactor is hoger dan in het WTI 2006, echter lager dan voor de situatie 2011 (stap 2b) was afgeleid. Ten opzichte van het WTI 2006 neemt de kwelweglengte toe, echter ten opzichte van stap 2b is sprake van een afname van de benodigde kwelweglengte.

Uit de figuur blijkt dat het effect van het meenemen van de onzekerheid in de belasting een relatief beperkt effect heeft op de benodigde kwelweglengte.



Figuur 4: Invloed van de verschillende stappen op het faalmechanisme piping voor de Nederrijn-Lek.

Bovenstaande illustratie van de cases voor piping laat zien dat de opgave voor dit faalmechanisme groot is. Dit komt overeen met de inschatting op systeemniveau uit paragraaf 5.2.2.

6 IJssel

6.1 Kenmerken systeem

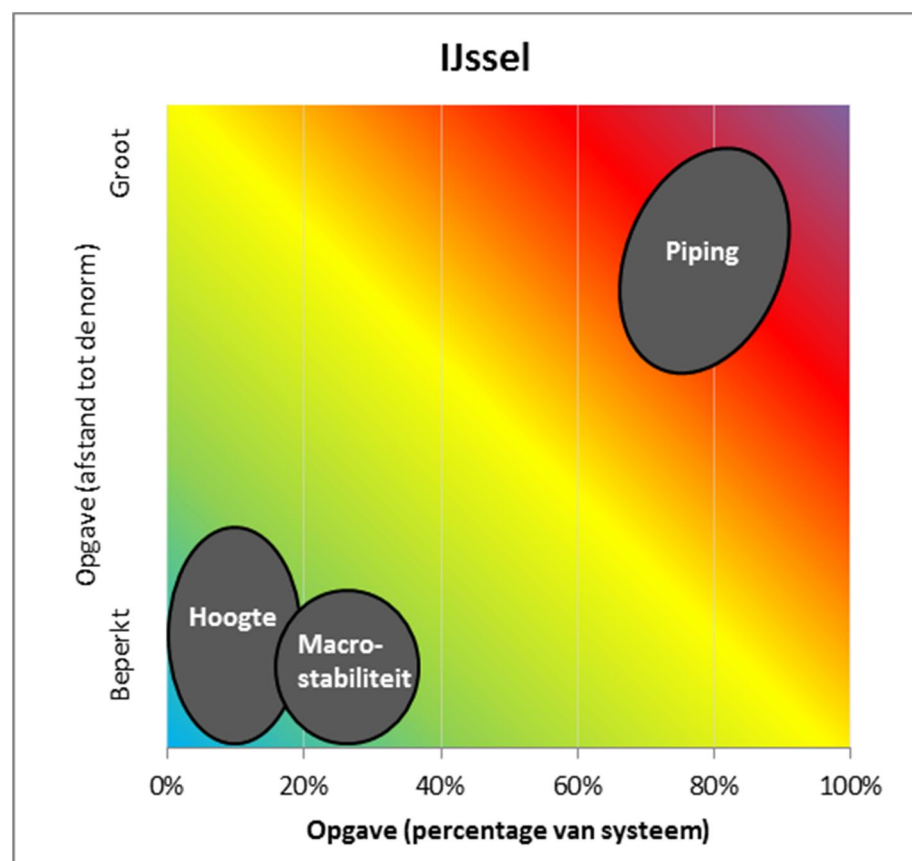
De IJssel wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van stroomruggen, rivierduinen en oeverwallen. De overwegend groene dijken met uiterwaarden langs de IJssel worden afgewisseld met waterkeringen in stadsfronten, zoals in Doesburg, Zutphen en Deventer.

De belasting op het systeem wordt bepaald door de rivierafvoer. Het verval over de kering neemt in benedenstroomse richting af. De dikte van de deklaag is wisselend en vaak afwezig. In het algemeen is de deklaag benedenstrooms dikker.

De laatste grote dijkversterkingsronde langs de IJssel heeft plaatsgevonden in de jaren 70-80. Daarnaast zijn er op kleinere schaal dijkversterkingen uitgevoerd tussen 2000 en 2010 in de regio Zutphen. Verder zijn en worden er langs de IJssel enkele Ruimte voor de Rivier projecten uitgevoerd.

6.2 Inschatting op systeemniveau

Voor de verschillende faalmechanismen is op systeemniveau een inschatting gemaakt van de veiligheidsopgave. Voor de IJssel is de inschatting dat over een groot gedeelte van de keringen voor het faalmechanisme piping een relatief grote veiligheidsopgave aanwezig is. Voor de faalmechanismen Hoogte en Macrostabiliteit is er voor een beperkt aantal dijkvakken een beperkte veiligheidsopgave. In de volgende paragrafen zal per mechanisme de inschatting worden toegelicht.



Figuur 5: Inschatting opgave voor de IJssel.

6.2.1 *Hoogte*

Ten opzichte van de toetsing met het WTI 2006 leiden Ruimte voor de Rivier, GRADE en een hoger toelaatbaar overslagdebiet tot een lagere benodigde kruinhoogte. Het meenemen van onzekerheden leidt tot een toename van de benodigde kruinhoogte. Deze toename is echter minder dan de afname. De normhoogten langs de IJssel lopen uiteen van 1/300 tot 1/30.000 per jaar. De verwachting is dat er ook op trajecten met een strenge norm geen hoogteopgave ontstaat.

6.2.2 *Piping*

Voor piping is de inschatting van de veiligheidsopgave gebaseerd op diverse reeds uitgevoerde analyses. Op basis van VNK2, de Consequentieanalyse aangepaste pipingregel (Arcadis, 2012), impactanalyse nieuwe normering (RWS, 2015) en de WBI kalibratieberekeningen wordt langs de IJssel een grote veiligheidsopgave voor piping verwacht.

De veiligheidsopgave is kleiner bij aanwezigheid van brede uiterwaarden en dikkere deklagen. Door monitoring van waterspanningen kan het effect van het voorland worden bepaald.

6.2.3 *Macrostabiliteit*

Voor het faalmechanisme Macrostabiliteit wordt de opgave met name bepaald door de nieuwe normering en de aanscherping van de bijbehorende eisen aan dit mechanisme.

De verwachting is dat er langs de IJssel met name gedraineerd zal worden gerekend, waardoor de impact van ongedraineerd rekenen (CSSM) beperkt is. Lokaal, bij aanwezigheid van kleilagen in de ondergrond, kan CSSM tot een veiligheidsopgave leiden.

6.3 **Cases langs de IJssel**

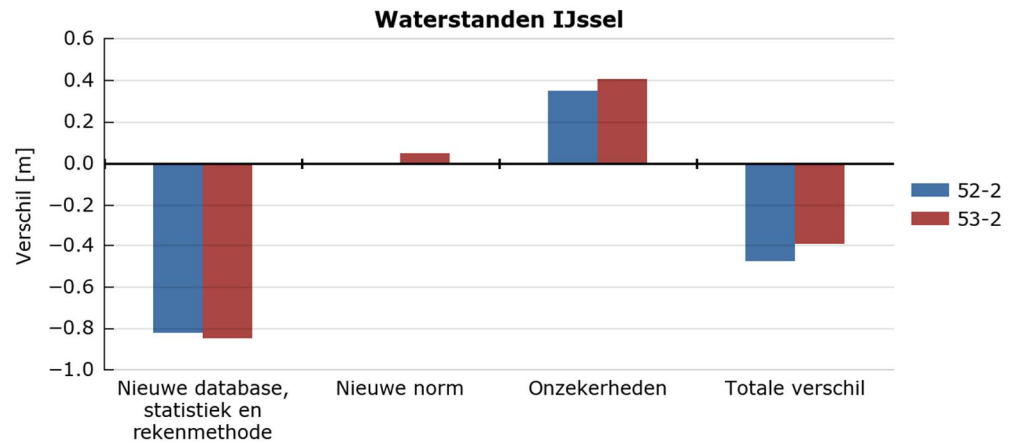
Langs de IJssel zijn cases in de trajecten 52-2 (Oost Veluwe) en 53-2 (Salland) uitgewerkt. Er wordt onderscheid gemaakt tussen waterstanden voor de beoordeling van geotechnische mechanismen, hydraulische belastingniveaus (HBN) voor bepaling van de benodigde kruinhoogte en piping.

6.3.1 *Waterstanden*

Voor de waterstanden zijn in onderstaande figuur de veranderingen weergegeven. De waterstanden langs de IJssel dalen voor beide beschouwde locaties met 80 cm door de nieuwe schematisatie van de rivierbodem, statistiek en rekenmethode. Deze daling wordt net als bij de Waal veroorzaakt door de nieuwe afvoerstatistiek (GRADE) en Ruimte voor de Rivier.

Het waterstandsverschil door andere eisen vanuit de nieuwe norm is klein, omdat het verschil tussen de oude en de nieuwe eisen relatief klein is.

Het meenemen van onzekerheden bij de bepaling van hydraulische belastingen voegt gemiddeld 40 cm aan de waterstand toe. Het totale verschil tussen het WTI2006 en het WBI2017 komt voor zowel de locatie bij 52-2 als de locatie bij 53-2 uit op een verlaging van de waterstand van 40 cm.



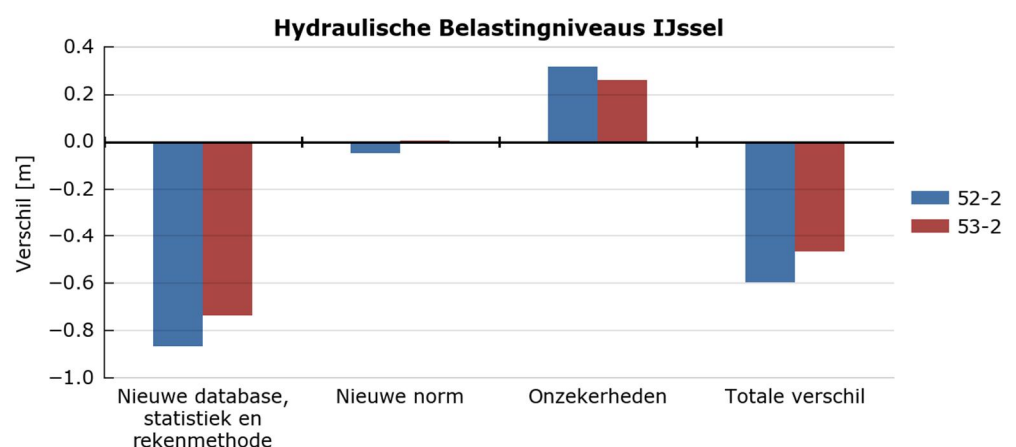
6.3.2 *Hydraulische belastingniveaus*

De hydraulisch belastingniveaus geven een zelfde beeld als de waterstanden. De afname van het HBN door aangepaste schematisaties en statistiek bedraagt ongeveer 85 cm voor traject 52-2 en 75 cm voor traject 53-2.

Andere eisen vanuit de nieuwe norm leidt bij beide locaties nauwelijks tot wijzigingen in het HBN.

Het meenemen van onzekerheden leidt tot een toename van het HBN bij locatie 52-2 met 30 cm en bij 53-2 met 25 cm.

In totaal daalt het HBN voor de locatie in traject 52-2 met ruim 40 cm en voor de locatie in traject 53-2 met 60 cm. De verschillen voor het HBN zijn in dezelfde orde grootte als de waterstand omdat de afvoer dominant is.

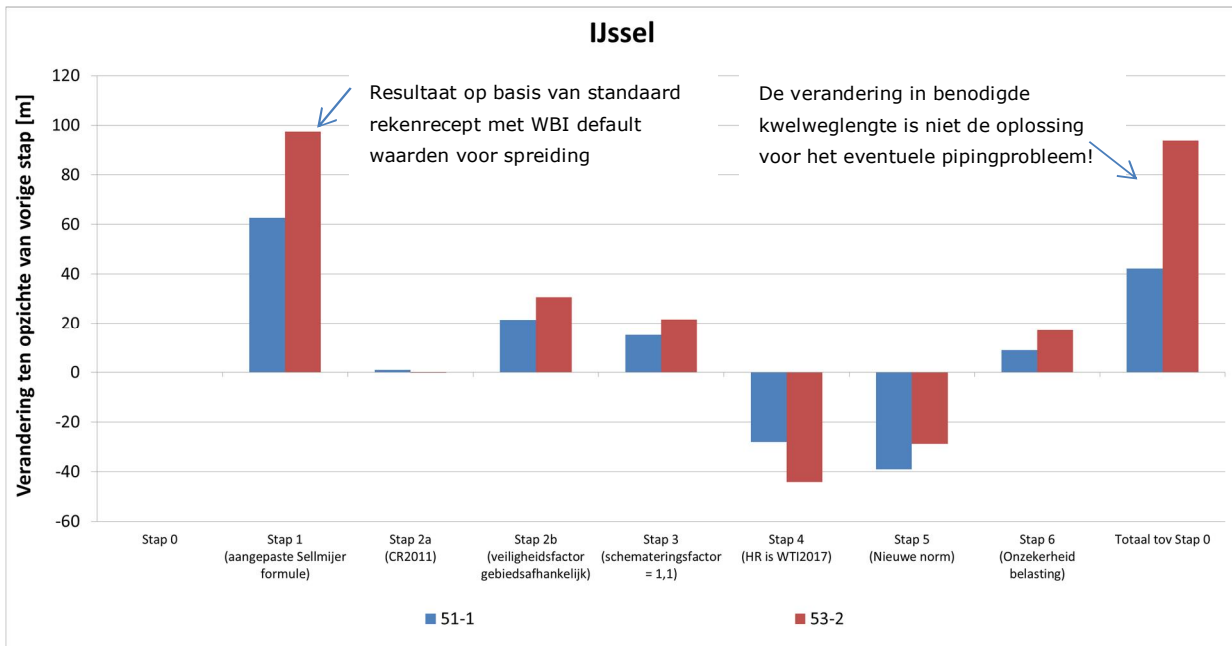


6.3.3 *Piping*

Voor piping is de verandering uitgedrukt in benodigde kwelweglengte. **Deze kwelweglengte is niet direct een maat voor de aan te leggen berm!** Er zijn vele ander soortige oplossingen die mogelijk veel meer voor de hand liggen.

In Figuur 6 is de invloed van de verschillende veranderingen voor de beoordeling van Piping voor de IJssel weergegeven.

De figuur laat zien dat met name de aangepaste formulering van de rekenregel van Sellmeijer tot een grote toename van de benodigde kwelweglengte leidt. Bij de IJssel is sprake van een relatief soepele norm in combinatie met een beperkt lengte-effect. Dit leidt tot een afname van de benodigde kwelweglengte (stap 5).



Figuur 6: Invloed van de verschillende stappen op het faalmechanisme piping voor de IJssel.

7 Brabantse Maas

7.1 Kenmerken systeem

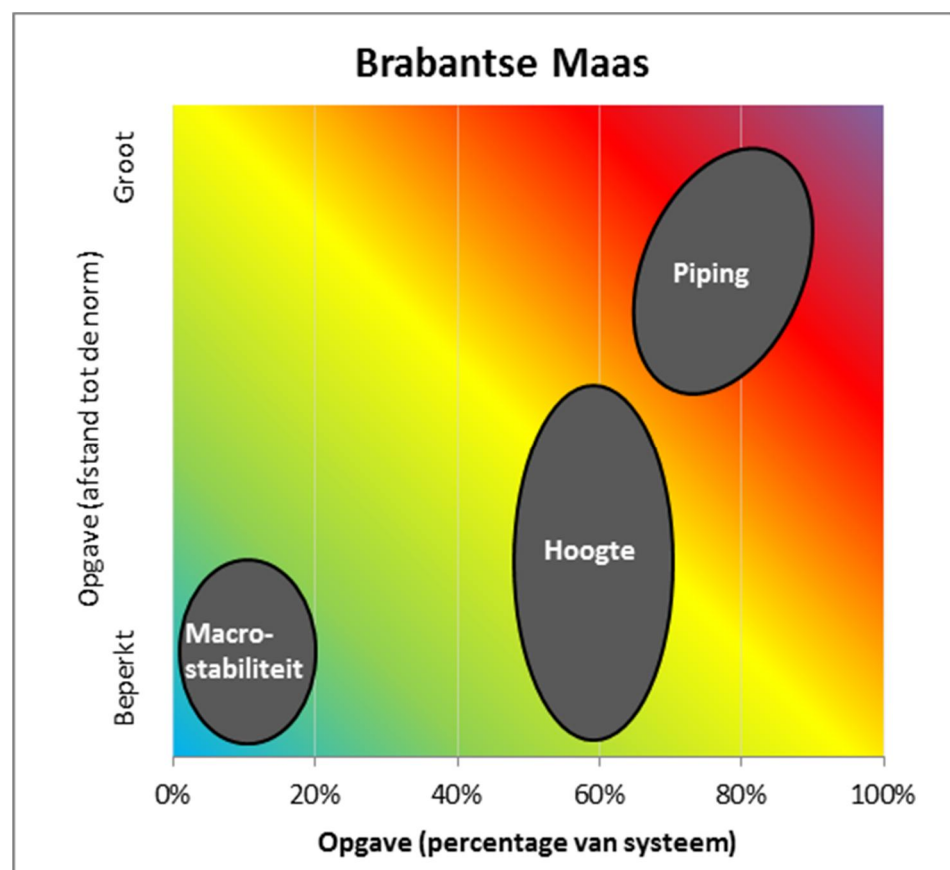
Het systeem langs de Brabantse Maas kenmerkt zich door dijken die in de jaren 90 zijn versterkt. In de recente dijkversterkings-programma's zijn op enkele stukjes na geen verbeteringen uitgevoerd. Ook de resultaten van de derde toetsronde gaven geen aanleiding voor grote dijkverbeteringen.

Het gebied strekt zich uit van het bovenrivierengebied waarbij direct onder maaiveld pleistocene zandlagen aanwezig zijn tot dijken in het overgangsgebied/benedenrivierengebied met kleilagen op de pleistocene zandafzettingen. Dikke veenpakketten zijn nauwelijks aan de orde.

De belasting op het systeem gedurende hoogwater verschilt in het bovenstroomse en benedenstroomse deel. Het grootste deel vanaf het oosten wordt langdurig belast. De vorm van de hoogwatergolf wordt hier vooral bepaald door de rivierafvoer. In het benedenrivierengebied is de invloed van stormvloed op de belasting dominant. Het verval is over het algemeen minder groot dan langs de Waal.

7.2 Inschatting op systeemniveau

Voor de verschillende faalmechanismen is op systeemniveau een inschatting gemaakt van de veiligheidsopgave. Voor de Brabantse Maas is met name voor piping en hoogte een significante veiligheidsopgave te verwachten. De opgave voor macrostabiliteit zal naar verwachting kleiner zijn.



Figuur 7: Inschatting opgave voor de Brabantse Maas.

7.2.1 *Hoogte*

Ten opzichte van de toetsing met het WTI 2006 leiden Ruimte voor de Rivier en het grotere toelaatbare overslagdebiet tot een verlaging van de benodigde kruinhoogte. De nieuwe afvoerstatistiek (GRADE) heeft een zeer beperkt effect en zorgen met de scherpere eisen vanuit de nieuwe norm en het meenemen van onzekerheden tot een verhoging van de benodigde kruinhoogte. Met name de invloed van de onzekerheid op de hydraulische belastingen in dit systeem is groot. Voor de Brabantse Maas is de inschatting dat ordegruotte 50-70 procent van de riviervak een beperkte tot gemiddelde opgave heeft.

7.2.2 *Piping*

Voor piping is de inschatting van de veiligheidsopgave gebaseerd op diverse reeds uitgevoerde analyses. Op basis van VNK2, Consequentieanalyse aangepaste pipingregel (Arcadis, 2012), impactanalyse (RWS, 2015) en de WBI kalibratieberekeningen wordt langs de Brabantse Maas een grote veiligheidsopgave voor piping verwacht.

De opgave wordt met name bepaald door de aangepaste rekenregels.

De veiligheidsopgave is kleiner bij aanwezigheid van brede voorlanden en dikkere dekkingen. Monitoring kan mogelijk een belangrijke bijdrage leveren aan een nauwkeuriger beeld van de veiligheidsopgave.

7.2.3 *Macrostabieliteit*

Voor macrostabieliteit is de opgave beperkt. Waar er een opgave is, wordt dit met name bepaald door de nieuwe normering en de aanscherping van de bijbehorende eisen aan dit mechanisme. Richting het oosten worden de klei en veenlagen steeds dunner. Hierdoor zal het systeem steeds meer gedraineerd reageren, waardoor de invloed van het CSSM afneemt.

7.3 **Cases langs de Brabantse Maas**

Langs de Brabantse Maas zijn cases in de trajecten 36-3 (Land van Heusden/de Maaskant) en 35-1 (Donge) uitgewerkt. Er wordt onderscheid gemaakt tussen optredende waterstanden voor de geotechnische mechanismen, hydraulische belastingniveaus (HBN) voor bepaling van de benodigde kruinhoogte en piping.

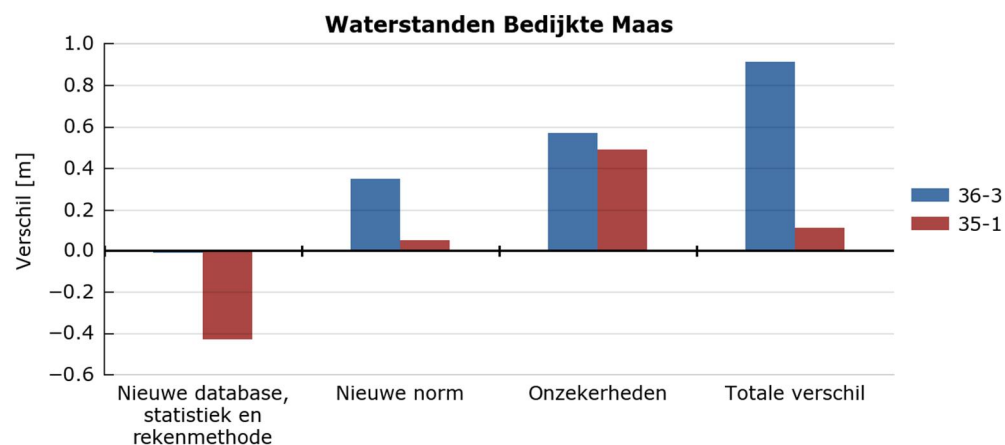
7.3.1 *Waterstanden*

Voor de Bedijkte Maas en Bergse Maas is het algemeen beeld dat de waterstanden stijgen, vooral door de toevoeging van onzekerheid. Door nieuwe schematisaties van de rivierbodem en nieuwe statistiek daalt de waterstand voor de locatie bij traject 35-1 met ongeveer 40 cm terwijl de waterstand langs traject 36-3 ongeveer gelijk blijft.

Door de andere eisen vanuit de nieuwe norm stijgt de waterstand voor traject 36-3 met iets minder 40 cm terwijl de waterstand langs traject 35-1 nauwelijks toeneemt.

Het meenemen van onzekerheden in de hydraulische belastingen zorgen voor beide trajecten voor een stijging van de waterstand. Voor traject 36-3 is dit iets minder dan 60 cm en voor traject 35-1 is de stijging ongeveer 50 cm.

In totaal stijgt de waterstand met het WBI 2017 ten opzichte van het WTI 2006 in traject 36-3 in totaal met 90 cm. Voor traject 35-1 is deze stijging veel kleiner, ongeveer 10 cm. Dit komt vooral omdat voor de locatie 35-1 sprake is van een effect van Ruimte voor de Rivier.



7.3.2

Hydraulische belastingniveaus

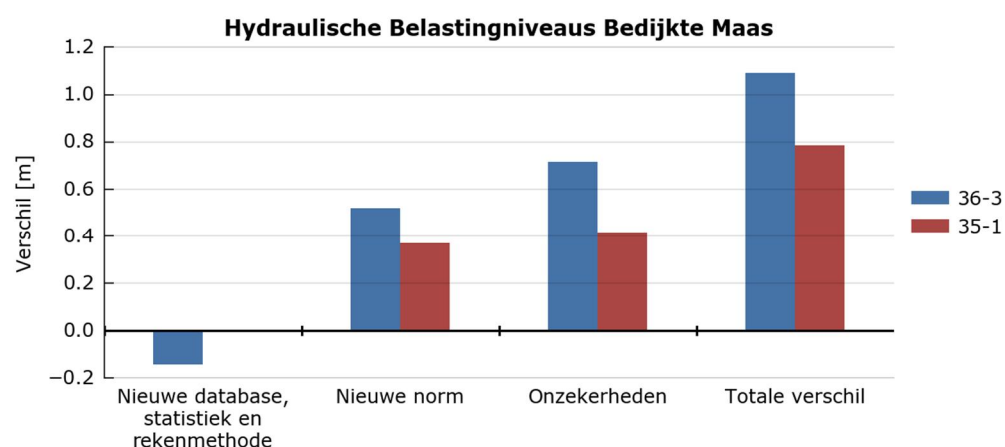
De hydraulisch belastingniveaus geven een zelfde beeld als de waterstanden.

In traject 36-3 wordt door aangepaste schematisaties en statistiek een beperkte daling van 10 cm verwacht terwijl bij traject 35-1 het netto effect van alle veranderingen ongeveer nul is.

Door veranderende eisen vanuit de nieuwe norm stijgt het HBN. Voor traject 35-1 met ongeveer 40 cm en voor traject 36-3 met ongeveer 50 cm.

Door het meenemen van onzekerheden stijgt het HBN bij 36-3 met iets meer 70 cm terwijl het HBN voor traject 35-1 maar met 40 cm toe neemt.

In totaal stijgt het HBN bij traject 36-3 sterk, met iets meer dan 1,1 m. Bij de locatie langs traject 35-1 is de stijging orde 80 cm.



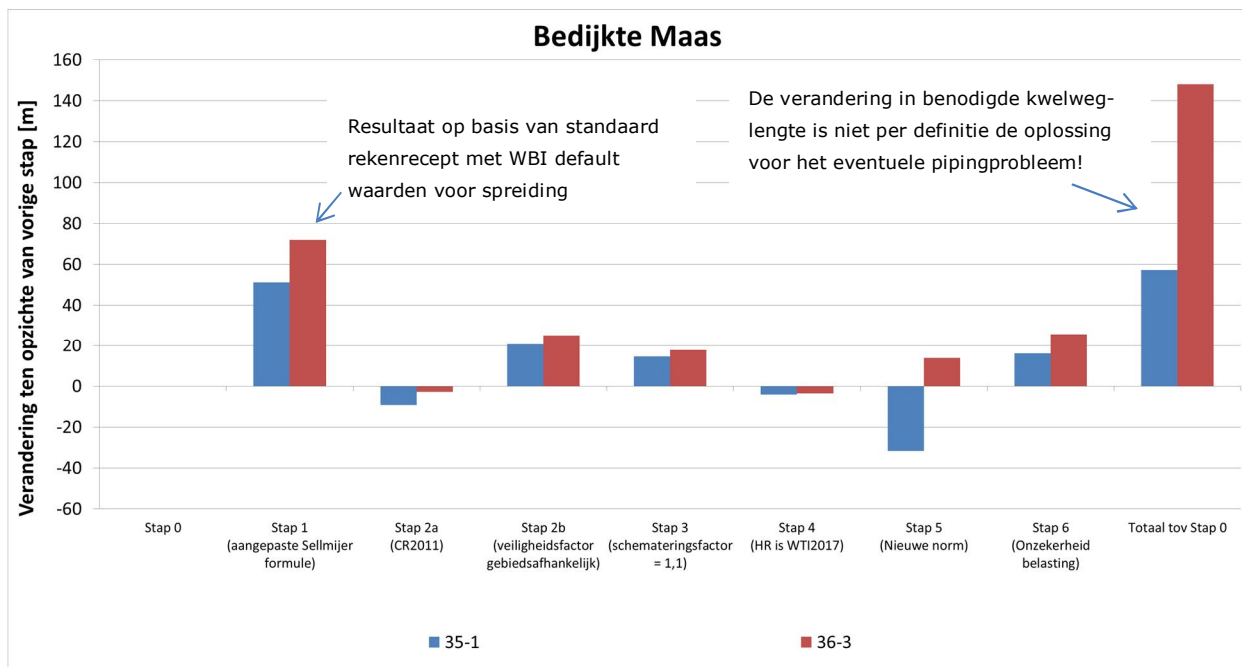
7.3.3

Piping

In Figuur 8 is de invloed van de verschillende stappen op het faalmechanisme Piping voor de Bedijkte Maas weergegeven.

De figuur laat zien dat met name de invoering van de aangepaste Sellmeijer formule voor een grote toename van de benodigde kwelweglengte zorgt. Verder vallen de volgende punten op:

- Voor de Brabantse Maas is het effect van het toepassen van de hydraulische randvoorwaarden WBI2017 relatief klein.
- Voor traject 35-1 zorgt een ontwerp volgens het OI2014 met de nieuwe norm tot een relatief grote afname van de benodigde kwelweglengte. Dit komt omdat de norm relatief soepel is, waardoor er een veiligheidsfactor van 1,2 mag worden toegepast. Dit is een flinke afname ten opzichte van 1,4 bij stap 2b.
- Opvallend is ook dat het effect van het meenemen van onzekerheden in de belasting relatief groot is.



Figuur 8: Invloed van de verschillende stappen op het faalmechanisme piping voor Brabantse Maas

8 Limburgse Maas

8.1 Kenmerken systeem

De Maas komt net ten zuiden van Eijsden Limburg binnen. Na 166 km stroomt de rivier bij Molenhoek Limburg uit. Rond Maasbracht en Roermond zijn vele grindgaten en zandafgravingen aanwezig. Deze zorgen ervoor dat bij hoogwater het water minder snel stijgt en de hoogwaterpieken enigszins worden gedempt maar de hoogwaterperiode wel langer duurt. Het gebied rond Maasbracht en Roermond is ook wel bekend als Plassenmaas. Benedenstrooms hiervan spreekt men van de Zandmaas.

Van oudsher kende de Maas weinig keringen. Naar aanleiding van de overstromingen in 1993 en 1995 zijn echter een groot aantal 'overstroombare' keringen aangelegd. Op dit moment kent de Limburgse Maasdal enkele tientallen dijktrajecten. De trajecten hebben een relatief lage norm en bestaan veelal uit een combinatie van een primaire kering gecombineerd met een hoge grond. In een aantal gevallen is sprake van een waterkerende hoge grond (achter de hoge grond ligt een deel van het lager gelegen dijkkringgebied. In totaal gaat het om circa 173 – 176 km primaire keringen.

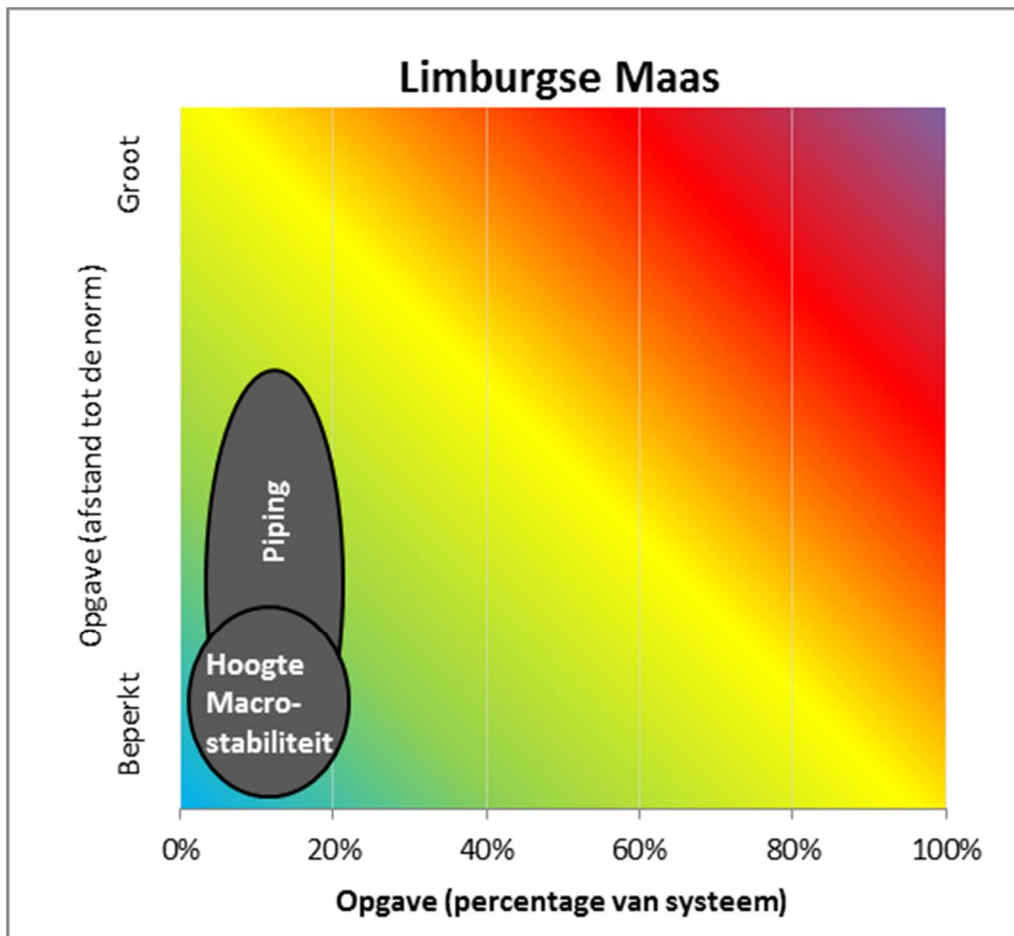
Het Limburgse Maasdal is door terasvorming ontstaan. Tijdens de ijstijd stroomde de Maas door een wirwar van beddingen en zijn over een brede vlakte zand en grind afgezet. In de periode erna kreeg de Maas een vaste loop en sneed zich diep in de riviervlakte in. Door bewegingen in de aardkorst kwam het gehele gebied omhoog. De bewegingen langs breuken waardoor horsten en slenken zijn ontstaan hebben ook hun invloed op het verloop van de rivier. Als gevolg hiervan komen grote verschillen in de opbouw van de ondergrond voor. Een die uniek is in Nederland. Voor de geotechnische faalmechanismen zijn de relatief dunne deklaag in combinatie met grind en leemlagen belangrijk.

De belasting op het systeem gedurende hoogwater is langdurig. De vorm van de hoogwatergolf wordt bepaald door de rivierafvoer. Het verval gedurende dit hoogwater is sterk afhankelijk van de locatie. Lokaal is het verval groot.

Zeker in vergelijking tot andere systemen wordt nog opgemerkt dat in de Limburgse situatie een groot aantal demontabele keringen benodigd zijn tijdens hoogwatersituaties. Deze demontabele keringen leveren een significante bijdrage aan de overstromingskans.

8.2 Inschatting op systeemniveau

Voor de Limburgse Maas is de verwachting dat de veiligheidsopgave beperkt is. Met name op de locaties waar de norm relatief streng is geworden is er mogelijk een opgave te verwachten.



Figuur 9: Inschatting opgave voor de Limburgse Maas

8.2.1 Hoogte

Ten opzichte van de toetsing met het WTI 2006 leiden de Maaswerken en het grotere overslagdebiet tot een verlaging van de benodigde kruinhoogte, de nieuwe afvoerstatistiek (GRADE) heeft een zeer beperkt effect en zorgt lokaal met scherpere eisen vanuit de nieuwe norm tot hogere benodigde kruinhoogtes. Het meenemen van onzekerheden leidt voor het hele systeem tot een verhoging van de benodigde kruinhoogte. Voor de Limburgse Maas is de inschatting dat ordegrootte 0-20 procent van de riviertak een beperkte opgave heeft.

8.2.2 Piping

Piping geeft volgens VNK2 een significante bijdrage aan de overstromingskans. Dit kan niet worden uitgesloten met de eenvoudige en gedetailleerde rekenregels uit het WBI.

Voor de Limburgse maas geldt echter dat de beschikbare gedetailleerde rekenregels slecht toepasbaar zijn. Het is moeilijk om de grondmechanische en geohydrologische situatie te schematiseren tot betrouwbare invoerparameters. Veelal zal een Toets om Maat nodig zijn. Een optie is om de veiligheidsopgave te bepalen met geohydrologische modellen of mogelijk kan worden aangetoond dat piping fysisch niet kan optreden.

Verwacht wordt dat de veiligheidsopgave door piping beperkt is wanneer rekening wordt gehouden met de specifieke bodemopbouw in Limburg.

8.2.3 Macrostabiliteit

Op basis van VNK2 wordt verwacht dat macrostabiliteit lokaal tot een veiligheidsopgave leidt. Deze conclusie kan ook uit de verschillanalyses worden getrokken.

Macrostabiliteit speelt daarbij vooral een rol op locaties met een significant verval en waarbij een holocene deklaag van enkele meters aanwezig. Een veiligheidsopgave wordt verwacht op de locaties waar nu ook al een opgave ligt. De invloed van ongedraineerd (CSSM) rekenen is vanwege de zandige ondergrond niet groot.

8.3 Cases langs de Limburgse Maas

Langs de Limburgse Maas zijn cases in trajecten 87-1 (Meers) en 65-1 (Arcen) uitgewerkt. Er wordt onderscheid gemaakt tussen waterstanden voor de beoordeling van geotechnische mechanismen en hydraulische belastingniveaus (HBN) voor bepaling van de benodigde kruinhoogte. De benodigde kruinhoogte wordt in de cases bepaald door de eisen die aan erosie van kruin en binnentalud worden gesteld.

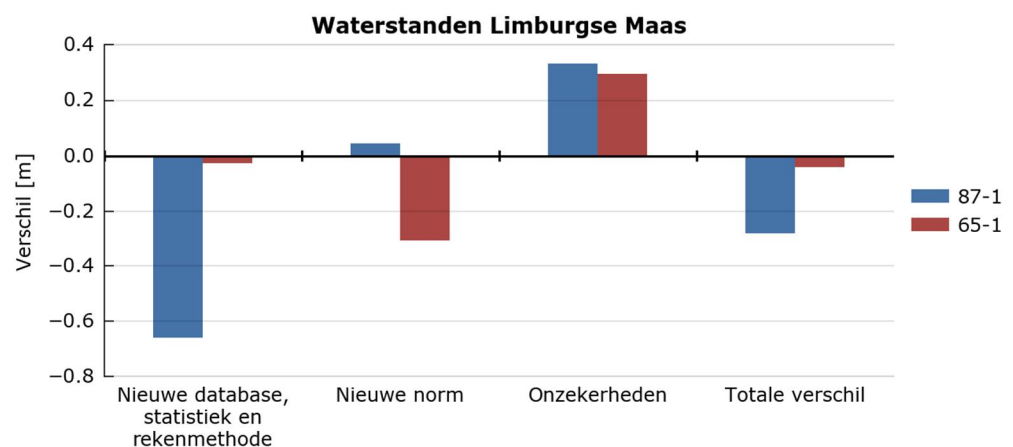
8.3.1 Waterstanden

Door de Maaswerken neemt de waterstand voor de beoordeling van geotechnische mechanismen langs traject 87-1 sterk af. De waterstand daalt met meer dan 60 cm. Bij traject 65-1 blijft de daling beperkt tot enkele centimeters.

Door gewijzigde eisen vanuit de nieuwe norm stijgt de waterstand in traject 87-1 met enkele centimeters. Voor traject 65-1 is sprake van een daling van in totaal 30 cm.

Door het meenemen van onzekerheden neemt de waterstand toe, ongeveer 30 cm voor beide locaties.

In totaal daalt met het WBI2017 de waterstand voor de beoordeling van geotechnische mechanismen in traject 87-1 met ongeveer 30 cm. Voor traject 65-1 is de daling in totaal niet meer dan enkele centimeters.



8.3.2 Hydraulische belastingniveaus

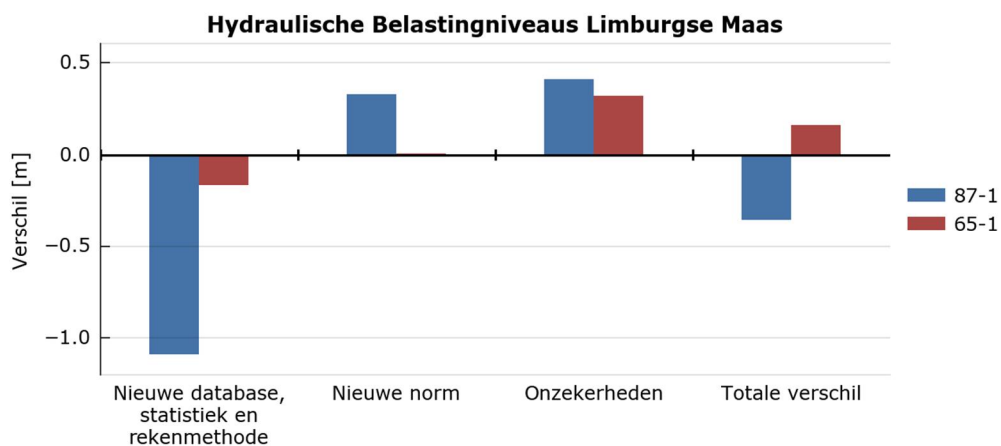
De hydraulisch belastingniveaus geven een zelfde beeld als de waterstanden. De daling van het HBN door uitvoering van de Maaswerken is groter in vergelijking met de daling van de waterstand omdat de nieuwe rekenwijze resulteert in een

grotere reductie. Het HBN daalt voor traject 87-1 met 1,1 m en voor traject 65-1 daalt het HBN iets meer dan 10 cm.

Door de andere eisen vanuit de nieuwe norm neemt het HBN bij traject 87-1 met ongeveer 30 cm toe terwijl het HBN bij traject 65-1 door de nieuwe norm nauwelijks wijzigt.

Door het meenemen van onzekerheden bij de bepaling van hydraulische belastingen stijgt het HBN bij traject 87-1 met ongeveer 40 cm en bij traject 65-1 is dit iets meer dan 30 cm.

In totaal daalt het HBN ten opzichte van het WTI 2006 in traject 87-1 met ongeveer 40 cm. Het HBN voor de locatie bij traject 65-1 stijgt in totaal ongeveer 15 cm.



9 IJssel-Vecht delta

9.1 Kenmerken systeem

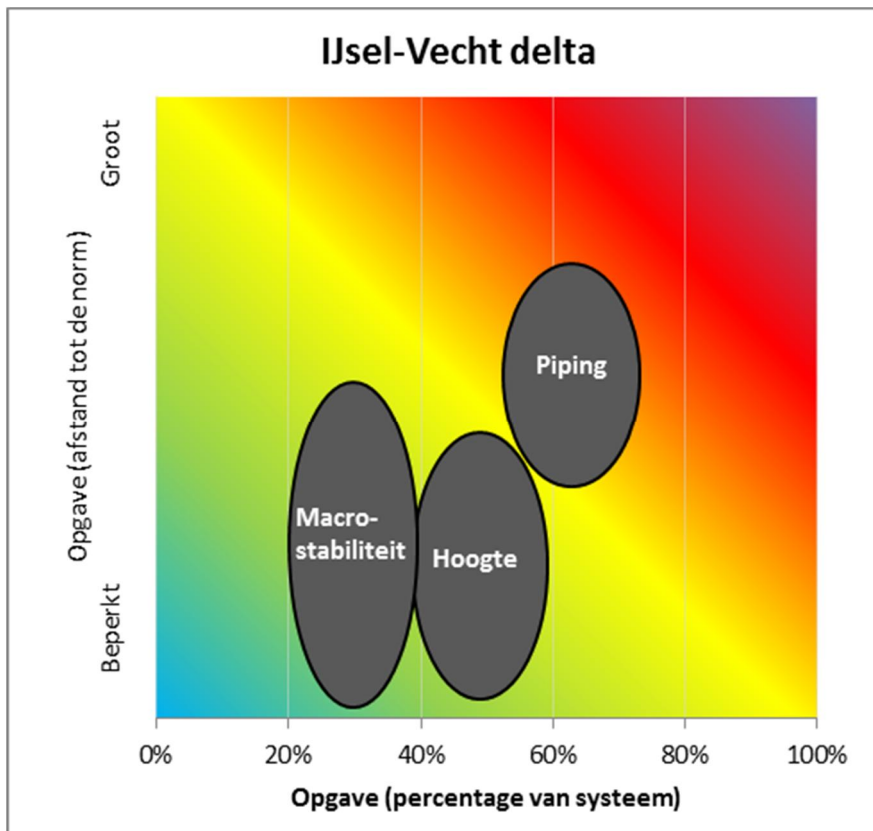
De IJssel-Vecht delta is het gebied rond Zwolle en Kampen, waar de IJssel en de Vecht uitmonden in respectievelijk het Ketelmeer en het Zwarte Water. Centraal in de IJssel-Vecht delta ligt de polder Mastenbroek. De polder met de dorpen IJsselmuiden en Genemuiden lag vroeger aan de Zuiderzee en daarna aan het IJsselmeer. Na het gereedkomen van de inpolderingen van Flevoland en de Noordoostpolder heeft de polder een meer beschutte ligging. In 2002 is de verbindende waterkering tussen de polder Mastenbroek en de Noordoostpolder in gebruik genomen. De balgstuw Ramspol maakt onderdeel uit van deze verbindende waterkering. Het doel van de verbindende waterkering is om grootschalige dijkversterkingen in het achterliggende gebied te voorkomen.

De ondergrond in de IJssel-Vecht delta is in vergelijking met de IJssel wat meer klei-venig. Er zijn veel locaties waar rivier- of zeeklei is afgezet. Langs de Vecht bestaat de ondergrond voor een deel uit slechtdoorlatend keileem. De waterkering langs de Vecht bestaat voor een deel uit verholten keringen.

De belasting in het systeem wordt vooral bepaald door de wind op het IJsselmeer. In mindere mate door de rivierafvoer van Vecht en IJssel. Bij noordwesten wind kunnen hoge waterstanden voorkomen.

9.2 Inschatting op systeemniveau

Voor de verschillende faalmechanismen is op systeemniveau een inschatting gemaakt van de veiligheidsopgave. Voor de IJssel-Vecht delta is de inschatting dat een relatief groot gedeelte van de keringen voor het faalmechanisme piping een veiligheidsopgave aanwezig is. Voor de faalmechanismen Hoogte en Macrostabieliteit is er voor een aanzienlijke hoeveelheid dijkvakken een beperkte veiligheidsopgave. In de volgende paragrafen zal per mechanisme de inschatting worden toegelicht.



Figuur 10: Inschatting opgave voor IJssel-Vecht delta.

9.2.1

Hoogte

Voor het faalmechanisme Hoogte geldt dat de opgave zich concentreert langs het Zwarte Meer, het Ketelmeer en op enkele locaties langs de Vecht. Deze opgave wordt met name veroorzaakt door het grote effect van onzekerheden in de belasting. Langs de IJssel is de verwachting dat er geen opgave zal zijn. De belangrijkste reden hiervoor is dat er langs de IJssel enkele Ruimte voor de Rivier projecten worden uitgevoerd, zoals het project Westenholtte bij Zwolle.

9.2.2

Piping

Voor het faalmechanisme Piping geldt dat de opgave relatief groot is. De opgave zal zich met name focussen op de Vecht en in mindere mate ook op het Zwarte Water en de IJssel. Voor de IJssel geldt echter dat de maatgevende waterstanden lager worden, waardoor opgave voor piping hier wordt beperkt. De 'toets op maat' kan in dit gebied tot een scherpere beoordeling leiden en daarmee de veiligheidsopgave verkleinen.

Lokaal zal door het meenemen van tijdsafhankelijkheid en heterogeniteit in een 'toets op maat' tot een scherpere beoordeling leiden. Monitoring in combinatie met het concept bewezen sterkte kan hier een belangrijke bijdrage leveren aan het scherper in beeld krijgen van de veiligheidsopgave.

9.2.3

Macrostabiliteit

De opgave voor het faalmechanisme Macrostabiliteit is relatief beperkt. Voor het faalmechanisme Macrostabiliteit wordt de opgave met name bepaald door de nieuwe normering en de aanscherping van de bijbehorende eisen aan dit mechanisme. Gedeelten van de waterkeringen langs het Zwarte Meer, Zwarte Water en de Vecht

hebben slappe lagen als ondergrond. Voor deze waterkeringen kan het rekenen met CSSM nog impact hebben.

9.3 Cases in de IJssel-Vecht delta

In de IJssel-Vecht delta zijn cases in de trajecten 7-1 (Noordoostpolder), 53-3 (Salland) en 10-3 (Mastenbroek) uitgewerkt. Er wordt onderscheid gemaakt tussen waterstanden voor de beoordeling van geotechnische mechanismen en hydraulische belastingniveaus (HBN) voor bepaling van de benodigde kruinhoogte. De benodigde kruinhoogte wordt in de cases bepaald door de eisen die aan erosie van kruin en binnentalud worden gesteld.

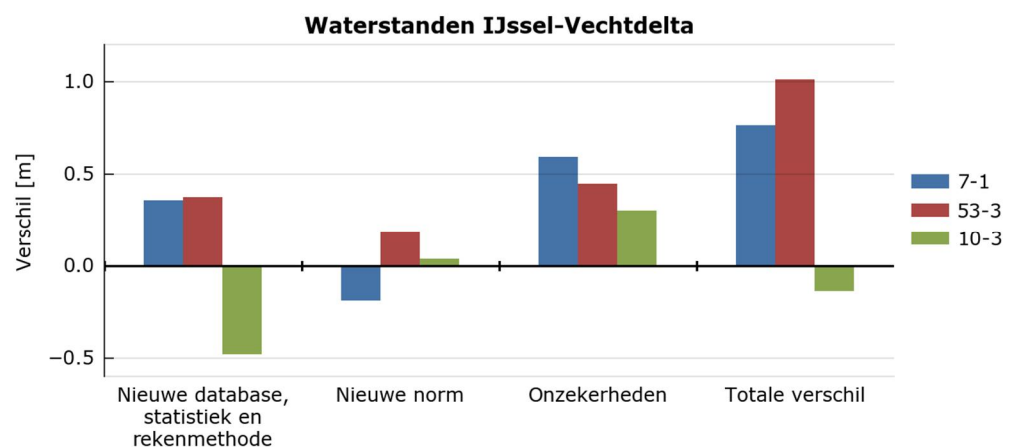
9.3.1 Waterstanden

Door nieuwe waterstands en golfberekeningen, afvoer- en windstatistiek gaan de waterstanden voor de beoordeling van geotechnische mechanismen in de Vechtdelta omhoog en in de IJsseldelta naar beneden. In de Vechtdelta stijgt de waterstand voor traject 7-1 en 53-3 orde grootte 40 cm. In de IJsseldelta daalt de waterstand door nieuwe afvoerstatistiek (GRADE) en Ruimte voor de Rivier. Langs traject 10-3 is dit bijna 50 cm.

Door nieuwe eisen vanuit de overstromingskansnorm stijgt de waterstand bij traject 53-3 20cm en bij traject 10-3 ongeveer 5cm. Bij traject 7-1 daalt de waterstand door de nieuwe norm 20 cm.

Het meenemen onzekerheden bij de bepaling van hydraulische belastingen neemt de in rekening te brengen waterstand toe. Langs traject 10-3 is deze stijging 30 cm, langs traject 7-1 orde grootte 60 cm en op de Vecht langs traject 53-3 stijgt de waterstand 45 cm.

In totaal daalt ten opzichte van het WTI 2006 in het WBI2017 de in rekening te brengen waterstand in de IJsseldelta voor de locatie bij traject 10-3 met 15 cm. Voor de locatie langs trajecten 7-1 en 53-3 stijgt de waterstand deze waterstand met respectievelijk 80 en 100 cm.



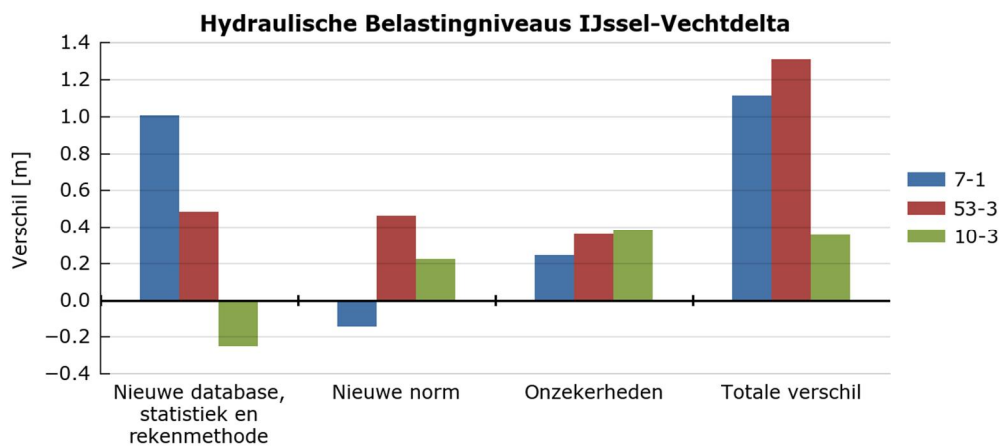
9.3.2 Hydraulische belastingniveaus

De hydraulisch belastingniveaus geven een zelfde beeld als de waterstanden. In traject 7-1 stijgt het HBN met 1,0 m door de nieuwe rekenmethode en statistiek. Voor traject 53-3 is de stijging 50 cm. Voor traject 10-3 daalt het HBN met 25 cm.

Door de nieuwe norm wordt het HBN in traject 7-1 ongeveer 15 cm lager. Bij de trajecten 53-3 en 10-3 stijgt het HBN respectievelijk 45 cm en 25 cm.

Door het meenemen van onzekerheden bij de bepaling van hydraulische belastingen stijgt het HBN. Voor traject 7-1 is de stijging 25 cm, voor traject 10-3 is deze stijging 40 cm en voor traject 53-3 ongeveer 35 cm.

Voor traject 7-1 is de totale stijging van het HBN tussen de HR2006 en het WBI2017 1,1 m. Voor traject 53-3 is dit ongeveer even groot, de totale stijging is dan 1,3 m. Langs traject 10-3 is de stijging minder groot, namelijk 40 cm.



10 Rijn-Maasmonding

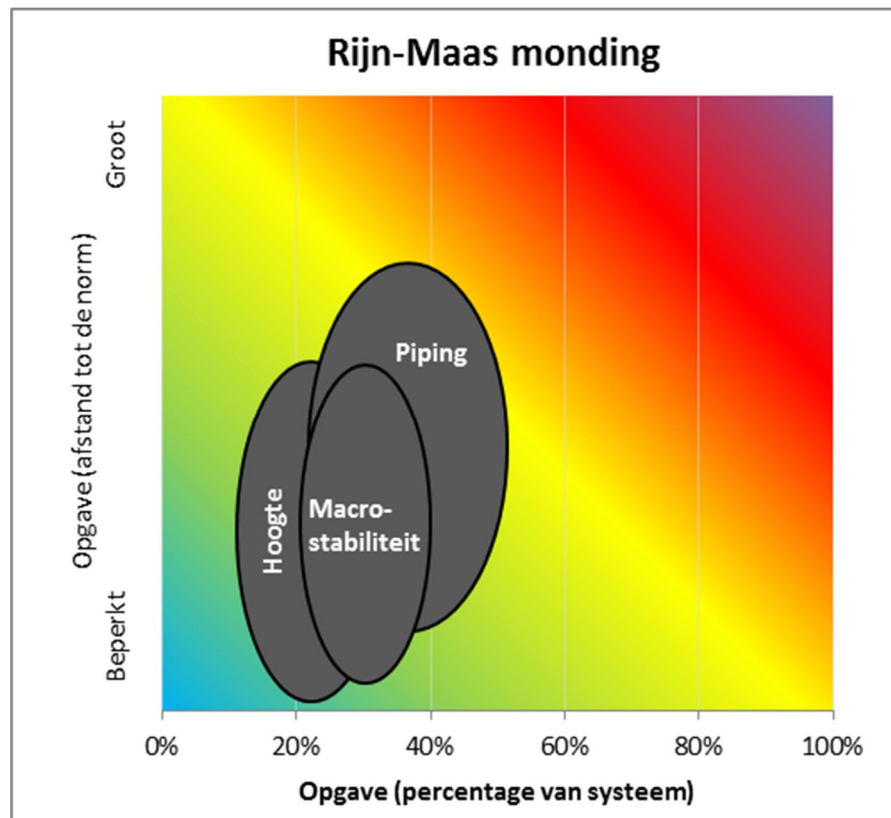
10.1 Kenmerken systeem

Het gebied Rijn-Maasmonding kenmerkt door een zeer gevarieerd systeem aan belastingen, ondergrond en waterkeringen. De belasting tegen de waterkeringen is van korte duur in het westelijk deel (stormgedomineerde situaties). In het oostelijk deel wordt de duur van hoogwater ook bepaald door rivierafvoer. De bodem is ook zeer heterogeen.

Naar aanleiding van de stormvloed in 1953 en de hoge rivierafvoeren in 1993 en 1995 zijn de keringen in de Rijn Maasmonding continue verbeterd. In het overgangsgebied waar zowel de rivierafvoer als stormvloeden op zee een significante invloed hebben op de maatgevende waterstand zijn de waterkeringen vaak meerdere keren versterkt. Tussen 1950 en 1975 zijn de waterkeringen voornamelijk verhoogd en in mindere mate versterkt. Waar weinig ruimte was werden verhogingen 'provisorisch' met muurtjes en schotbalken gerealiseerd. De dijkversterkingen na 1975 betroffen voornamelijk versterkingen en in mindere mate verhogingen.

10.2 Inschatting op systeemniveau

Voor het gehele Rijn-Maas monding systeem is ingeschat dat er voor hoogte lokaal een veiligheidsopgave aanwezig is. De verwachting is dat deze opgave met name op de trajecten met een zeer strenge norm op zal treden. Ook voor macrostabiliteit is de verwachting dat er een veiligheidsopgave zal zijn, deze is waarschijnlijk iets groter dan de opgave voor hoogte. Voor piping zal er een veiligheidsopgave zijn, deze zal met name in het oostelijk deel, riviergedomineerd, aanwezig zijn.



Figuur 11: Inschatting opgave voor de Rijn-Maas monding.

10.2.1 *Hoogte*

De uitgevoerde Ruimte voor de Rivier maatregelen, nieuwe afvoerstatistiek (GRADE) en een groter toelaataar overslagdebiet zorgen voor reductie van de benodigde hoogte. Het meenemen van onzekerheden in de hydraulische belastingen leidt tot een toename van de benodigde hoogte. De range aan nieuwe normen in de gebied is zeer groot. Bij trajecten met een relatief strenge norm kan een veiligheidsopgave ontstaan. Met name de aanwezige overhoogte in de huidige situatie, kan er toe leiden dat de opgave voor hoogte mogelijk kleiner is. Voor Rijn-Maas monding is de inschatting dat ordegrootte 0-20 procent van de riviertak een beperkte tot gemiddelde opgave heeft.

10.2.2 *Piping*

In de periode 1960-2000 hebben verschillende versterkingen plaatsgevonden waarbij piping in de meeste gevallen niet bepalend was voor dimensies van de waterkering. De analyses voor piping zijn zowel uitgevoerd met de 'oude' regel van Sellmeijer als met de regel van Bligh.

Gegeven de complexiteit van het systeem is het moeilijk om een veiligheidsopgave voor piping te bepalen. Dit heeft met name te maken met de heterogeniteit van de ondergrond met sterk wisselende dikte en samenstelling van de deklaag. Het verval neemt af in Westelijke richting en verandert ook de vorm van de hoogwatergolf. Al deze eigenschappen hebben een grote invloed op de mogelijke veiligheidsopgave.

Op basis van VNK2, impactanalyse (RWS, 2015) en de WBI kalibratieberekeningen wordt voor het hele systeem lokaal een veiligheidsopgave van beperkte omvang verwacht. In het oosten is de deklaag relatief dik en treedt piping vooral lokaal op waar de deklaag afwezig is. Door rekening te houden met tijdsafhankelijkheid kan de veiligheidsopgave hier worden beperkt.

De opgave wordt met name bepaald door de nieuwe rekenregel en in mindere mate door nieuwe norm. De veiligheidsopgave ligt vooral in riviervedomineerde deel waar de deklaag dun is.

Door de eerder geschetste heterogeniteit van het gebied is de inschatting van de veiligheidsopgave onzeker. Voor piping kan de 'toets op maat' in dit gebied tot een scherpere beoordeling leiden en daarmee de veiligheidsopgave verkleinen.

10.2.3 *Macrostabieliteit*

Voor macrostabieliteit wordt het gebied gekenmerkt door de aanwezigheid van slappe zeeklei. Deze eigenschap in combinatie met CSSM leidt er toe dat het beeld met het WBI2017 voor macrostabieliteit ongunstiger wordt ten opzichte van het WTI 2006. Daarnaast zorgt de nieuwe normering en de aanscherping van de bijbehorende eisen voor dit mechanisme ook een ongunstiger beeld. Voor macrostabieliteit wordt een veiligheidsopgave verwacht.

10.3 **Cases in de Rijn-Maasmonding**

In de Rijn-Maasmonding zijn cases uitgewerkt in de trajecten 17-2 (IJsselmonde), 20-4 (Voorne-Putten) en 22-2 (Dordrecht). Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen waterstanden voor de beoordeling van geotechnische mechanismen en hydraulische belastingniveaus (HBN) voor bepaling van de benodigde kruinhoogte.

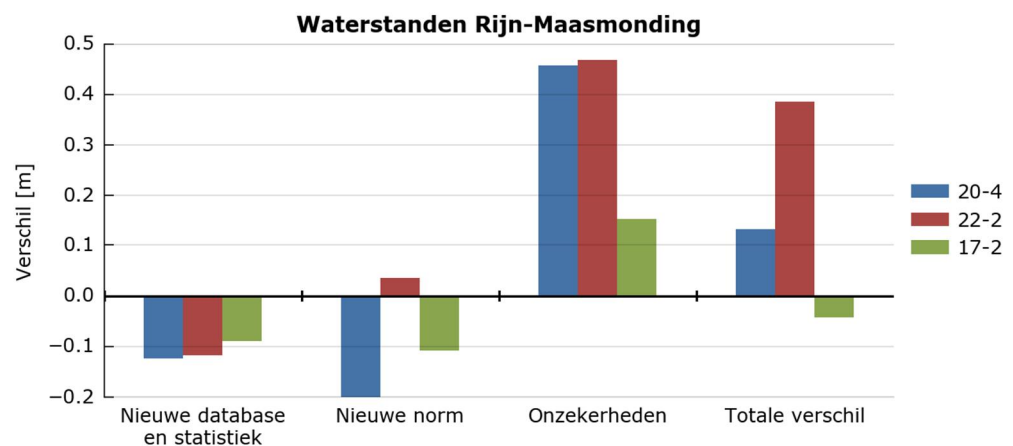
10.3.1 Waterstanden

Door nieuwe waterstands en golfberekeningen en nieuwe statistiek dalen de waterstanden voor het beoordelen van geotechnische mechanismen in de trajecten 17-2, 20-4 en 22-2 met circa 10cm.

Door de nieuwe norm daalt de waterstand voor het traject 17-2 nog eens 10 cm en voor 20-4 met circa 20 cm. Bij traject 22-2 stijgt de waterstand 20 cm door toepassing van de nieuwe norm.

Het meenemen van onzekerheden zorgt in de Rijn Maasmonding altijd voor een waterstandstijging. Bij traject 17-2 is deze 15 cm en bij trajecten 20-4 en 22-2 is dat circa 45 cm.

In totaal daalt de waterstand met het WBI 2017 ten opzichte van het WTI 2006 in traject 17-2 met orde 5 cm, bij traject 20-4 stijgt de waterstand circa 10 cm en langs traject 22-2 neemt de waterstand ongeveer 30 cm toe.



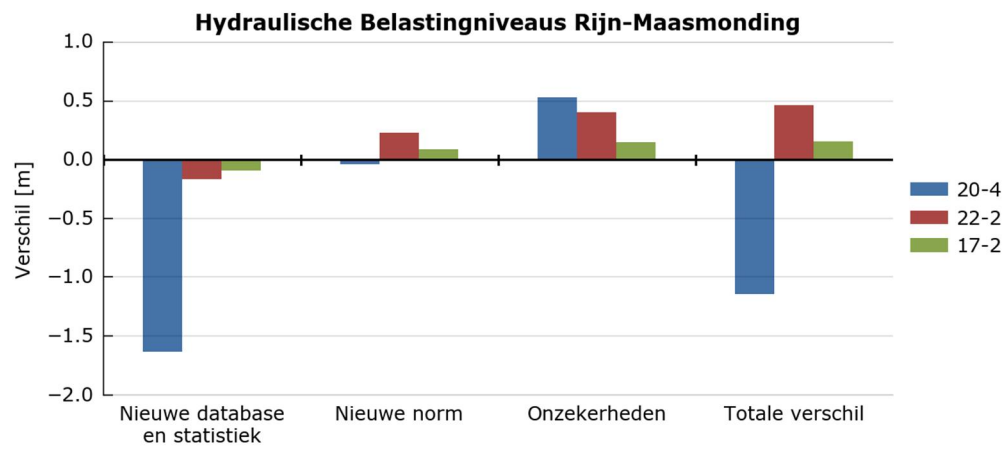
10.3.1.1. Hydraulische belastingniveaus

In de Rijn Maasmonding wordt het HBN door nieuwe waterstands en golfberekeningen en een nieuwe statistiek lager. Voor het traject 17-2 is dit 10 cm en voor het traject 22-2 is dit 20 cm. Voor het traject 20-4 is de daling groter, namelijk 1,6 m.

De verschillen door de nieuwe norm zijn voor alle drie de trajecten klein. Voor traject 17-2 stijgt het HBN 10cm, voor traject 22-2 is dit 15 cm en voor traject 20-4 maakt de nieuwe norm praktisch geen verschil.

Door het meenemen van onzekerheden neemt het HBN toe. Langs traject 17-2 neemt het HBN 15 cm toe. Langs de trajecten 20-4 en 22-2 is de toename groter, orde grootte 50 cm voor traject 20-4 en 40 cm voor traject 22-2.

Voor traject 17-2 neemt het HBN tussen de HR2006 en het WBI2017 in totaal 15 cm toe. Voor traject 20-4 domineert de verandering van de database fysica (nieuwe waterstands- en golfberekeningen) het totaalbeeld wat resulteert in een totale verlaging van meer dan 1 m van het HBN. Voor traject 22-2 domineert het effect van onzekerheden wat leidt tot een verhoging van het HBN van 50 cm ten opzichte van het HBN.



11 IJsselmeer

11.1 Kenmerken systeem

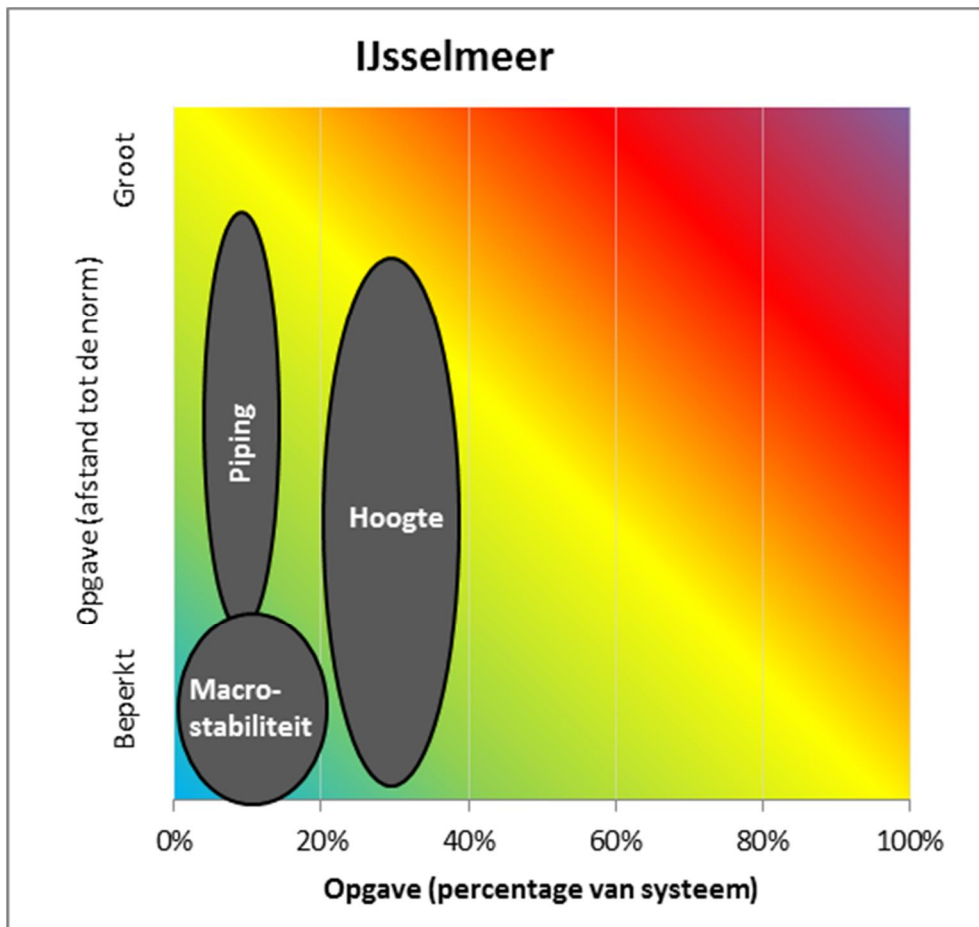
Naar aanleiding van de watersnood van 1916 is de Zuiderzee afgesloten. Door het afsluiten van de Zuiderzee in 1932 werd de belasting op de waterkeringen lager. Het gevolg was dat de meeste keringen langs het IJsselmeer tot nu toe voldoende hoogte en ondanks relatief steile taluds voldoende sterkte hebben. Slechts een enkel traject is na 1932 nog versterkt. Deze versterkingen betreffen vooral verbeteringen van de stabiliteit. In de polders achter de keringen vindt een actief peilbeheer plaats.

Na de eerste wereldoorlog was er grote behoefte aan landbouwgrond in Nederland. Besloten werd om delen van het IJsselmeer in te polderen. Na het Wieringermeer werd in 1942 de Noordoostpolder, in 1950 Oostelijk Flevoland en in 1959 Westelijk Flevoland ingepolderd. Daartoe zijn nieuwe waterkeringen met relatief flauwe taluds op zandcunetten aangelegd. De dijken van deze polders zijn tot het eind van de 20e eeuw niet versterkt. Tussen 1999 en 2003 zijn de dijken van de Noordoostpolder en Westelijk Flevoland lokaal verhoogd (0-50 cm) en versterkt (taludbekleding en drainage vervangen, binnenbermen aangelegd). Achter de keringen vindt een peilbeheer plaats.

De ondergrond bestaat uit getijdeafzettingen. Op de bodem van het IJsselmeer is een dikke kleilaag aanwezig. Deze holocene afzettingen worden over het algemeen ook onder de waterkeringen aangetroffen. In Noordelijke richting komen meer geulen voor en komen op sommige strekkingen, bijvoorbeeld bij Gaasterland, zandige afzettingen hoger voor.

11.2 Inschatting op systeemniveau

Voor de verschillende faalmechanismen is op systeemniveau een inschatting gemaakt van de veiligheidsopgave. Voor het IJsselmeer is de verwachting dat de opgave van beperkte omvang is en dat dit met name voor de hoogte van de keringen is. De mechanismen piping en macrostabiliteit spelen op lokaal niveau een rol. In de volgende paragrafen zal per mechanisme de inschatting worden toegelicht.



Figuur 12: Inschatting opgave voor het IJsselmeer.

11.2.1 Hoogte

In het IJsselmeer is sprake van een wisselend beeld van de overgang van de HR2006 naar het WBI2017. Langs de oostkant van het IJsselmeer gaan het benodigde HBN ten opzicht van de HR2006 omlaag. De belangrijkste oorzaak ligt bij een nieuwe rekenmethode. Hierin zit o.a. het effect van een ander golfmodel (verhoging van de golfcondities) en een ander winddrag coëfficiënt (verlaging van het HBN). Daarnaast liggen de locaties waar in het WBI2017 de hydraulische belastingen worden bepaald dichter op de oever dan in de HR2006, dit zorgt voor lagere golven. Bij het WTI 2006 is dit effect bij de uitvoering van de toetsing meegenomen via de voorlandmodule.

Langs de kust van Flevoland is een duidelijke tweedeling terug te vinden. Langs de zuidoevers van het Ketelmeer en Vossemeer nemen de HBN's toe, terwijl voor de overige locaties de verschillen veelal niet toenemen of zelfs afnemen. In de toename van het HBN langs het Ketelmeer en het Vossenmeer spelen de nieuwe norm en onzekerheden ongeveer een even grote rol en zorgen ze allemaal voor een stijging. Langs de overige delen van de Flevokust wordt de stijging door het meenemen van onzekerheden vaak opgeheven door het effect van de nieuwe norm waardoor de netto verandering vaak klein is.

Langs de kust van Noord-Holland nemen de HBN's vooral af door de wijziging van de norm. Langs de zuidzijde van de Houtribdijk (omgeving Lelystad) nemen de

HBN's juist toe. Daar wordt bij een hogere norm het verschil door het meenemen van onzekerheden groter.

Voor de hoogte van de keringen langs het IJsselmeer zal de opgave met name optreden bij de keringen van Flevoland. Voor die keringen wordt de norm relatief streng en ook het meenemen van onzekerheden zorgt voor een toename in benodigde kruinhoogte. Voor de overige keringen langs het IJsselmeer is de veiligheidsopgave beperkter en meer lokaal van aard. Voor het IJsselmeer is de inschatting dat ordegrootte 20-40 procent van het systeem een beperkte tot grote opgave heeft.

11.2.2 Piping

Op basis van de impactanalyse van de nieuwe normen en resultaten van VNK2 wordt een kleine veiligheidsopgave verwacht. De verschilanalyse van het WBI leidt niet tot een ander inzicht.

Door de aanwezigheid van een holocene kleilaag op de bodem van het IJsselmeer is er vaak geen intredepunt aan de buitenzijde van de kering waardoor de stijghoogte onder de kering niet kan toenemen tijdens hoogwater. Door de aanwezigheid van deze en getijdeafzettingen zal piping in de meeste gevallen geen rol van betekenis spelen.

Ter plaatse van voormalige getijdegeulen of daar waar de morene afzettingen aan de oppervlakte kan komen (onder andere Gaasterland), kan piping niet worden uitgesloten. Uit analyses met WBI volgt dat op die locaties de afstand tot de norm groot kunnen zijn.

De veiligheidsopgave kan worden gereduceerd door rekening te houden met de korte duur van de hoge belasting.

11.2.3 Macrostabieliteit

Voor macrostabieliteit is de opgave voor het IJsselmeer beperkt en zal lokaal van aard zijn. Deze lokale opgave wordt met name bepaald door de nieuwe normering en de aanscherping van de bijbehorende eisen aan dit mechanisme.

11.3 Cases langs het IJsselmeer

Langs het IJsselmeer zijn cases uitgewerkt in de trajecten 6-2 (Friesland-IJsselmeer), 12-2 (Wieringen) en 13-6 (Noord-Holland-IJsselmeer).

Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen waterstanden voor de beoordeling van geotechnische mechanismen en hydraulische belastingniveaus (HBN) voor bepaling van de benodigde kruinhoogte.

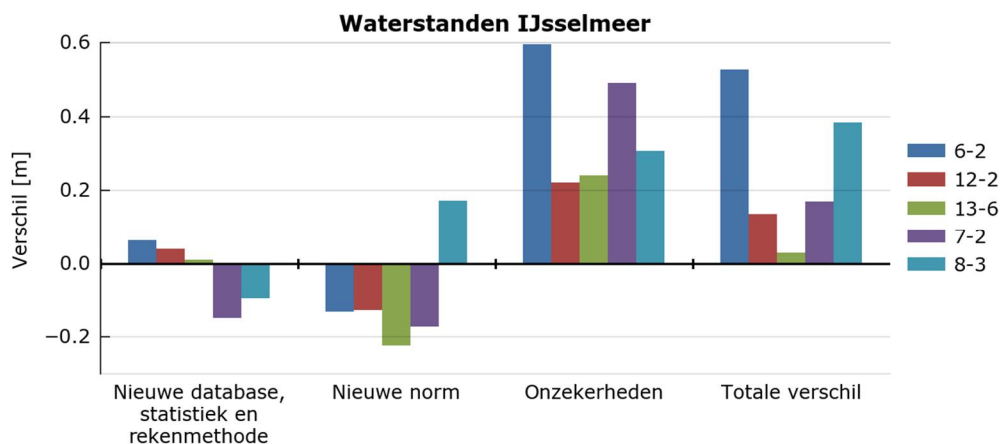
11.3.1 Waterstanden

Door toepassing van nieuwe rekenmodellen en nieuwe statistiek veranderen de waterstanden. De verschillen zijn over het algemeen klein. Voor traject 6-2, 12-2 en 13-6 stijgt de waterstand circa 10 cm en voor traject 7-2 en 8-3 daalt de waterstand met circa 10 cm.

Door de norm nieuwe wijziging daalt de waterstand voor de beoordeling van geotechnische mechanismen in het IJsselmeer, behalve langs Zuidelijk Flevoland. Voor de trajecten 7-2 en 13-6 is de daling circa 20 cm en voor de trajecten 6-2 en 12-2 is dit iets meer dan 10 cm. Langs traject 8-3 is de stijging 20 cm.

Het meenemen van onzekerheden bij het afleiden van hydraulische belastingen leiden vooral langs de kust van de Noordoostpolder en Friesland tot een sterke stijging van de waterstand. Voor de trajecten 6-2 en 7-2 stijgt de waterstand respectievelijk 60 cm en 50 cm. Langs de trajecten 12-2, 13-6 en 8-3 is de stijging door het meenemen van onzekerheden ongeveer 20 cm.

In totaal stijgt de waterstanden voor de beoordeling van geotechnische mechanismen in de trajecten 7-2 en 12-2 met circa 20 cm. Voor de locatie langs traject 6-2 en 8-3 is dit respectievelijk 50 en 40 cm en bij traject 13-6 is de stijging minder dan 10 cm.



11.3.2 Hydraulische belastingniveaus

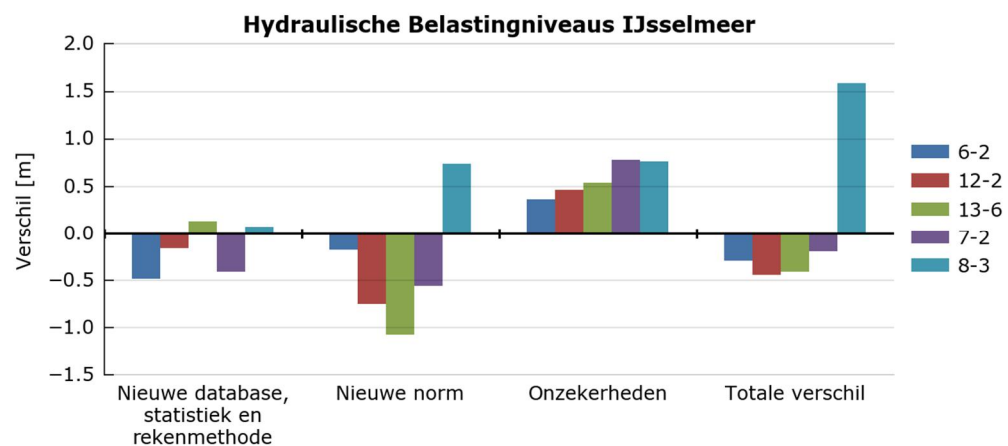
In onderstaande figuur is de invloed van de verschillende stappen op het hydraulisch belastingniveau weergegeven.

Door toepassing van nieuwe rekenmodellen en nieuwe statistiek daalt het HBN voor traject 6-2 met 80 cm, langs traject 7-2 is de daling 20 cm en bij traject 12-2 40 cm. Bij traject 13-6 en 8-3 stijgt het HBN met circa 10 cm. De verschillen worden vooral veroorzaakt door nieuwe golfmodellen.

Net zoals bij de waterstanden daalt het HBN ten gevolge van de nieuwe norm langs alle trajecten behalve 8-3, die een hogere norm krijgt. Langs traject 6-2 is de daling bijna 40 cm, voor traject 7-2 en 12-2 is de daling 60 cm en voor traject 13-6 orde grootte 1,1 m. Voor traject 8-3 is de stijging 75 cm.

Door het meenemen van onzekerheden bij het afleiden van hydraulische belastingen stijgt het HBN. Het HBN stijgt voor de trajecten 6-2, 12-2 en 13-6 met circa 50 cm en het HBN wordt circa 60 cm hoger langs traject 7-2 en 8-3.

In totaal wordt het HBN langs het IJsselmeer lager. Voor de locatie bij traject 6-2 is het HBN in vergelijking met het WTI 2006 circa 80 cm lager en langs traject 7-2 circa 10 cm. De totale HBN verlaging langs traject 12-2 is 60 cm en bij traject 13-6 is dit 50 cm. Langs traject 8-3 is de verhoging ruim 1,5 meter, door een combinatie van vooral de scherpere eisen vanuit de nieuwe norm en het meenemen van onzekerheden bij het afleiden van hydraulische belastingen.



12 Markermeer

12.1 Kenmerken systeem

Het Markermeer ontstond na het afsluiten van het zuidwestelijk deel door de aanleg van de Houtribdijk of Markerwaarddijk (de weg Enkhuizen-Lelystad) in 1976.

In het Markermeer is een actief peilbeheer waardoor er weinig fluctuatie in de waterstand zal optreden. De belasting op de waterkeringen wordt gedomineerd door de maatgevende belastingssituatie, die wordt gekenmerkt door sterke windopzet en golfaanval uit westelijke richting.

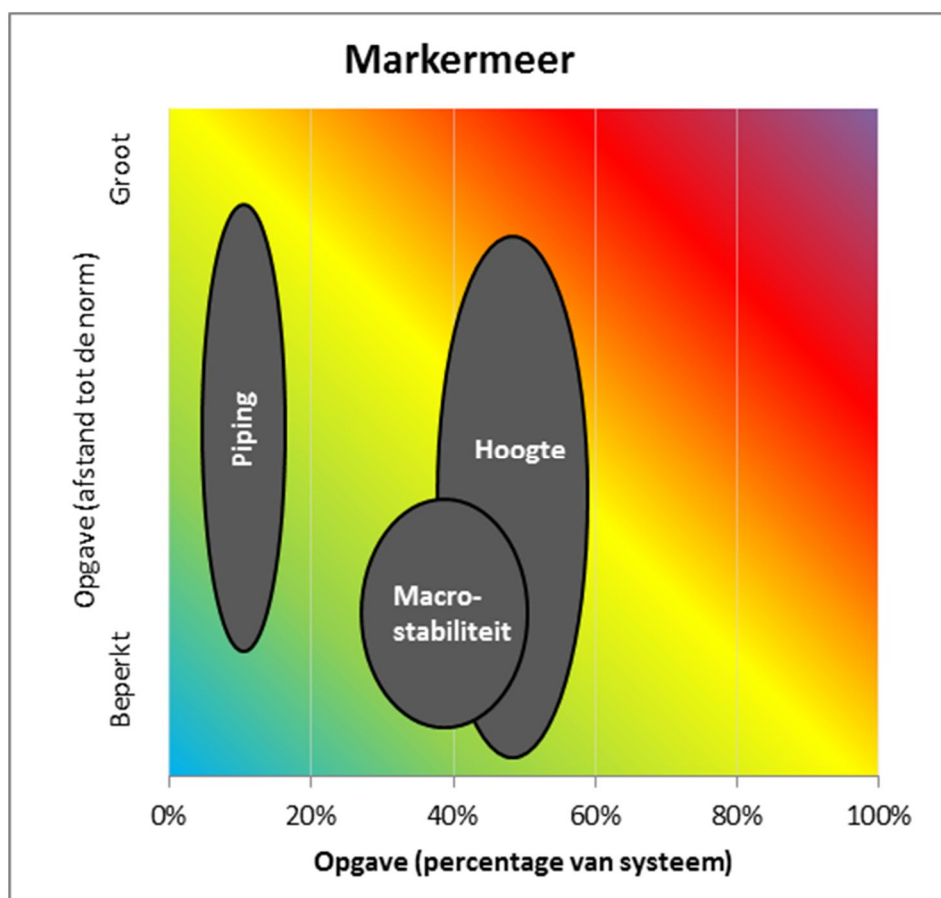
De dijken langs het Markermeer in Noord-Holland (zuid en westzijde) zijn voormalige zeedijken. In het Westen zijn de keringen gebouwd op dikke pakketten klei- en veenlagen en kennen de dijken steil taluds. Een groot deel van de keringen van deze Markermeerdijken is recent versterkt of zijn versterkingen in voorbereiding.

Steile tauldhellingen komen bij de dijken ten zuiden van het Markermeer niet voor. De deklaag van klei en veenlagen neemt hier in dikte naar het westen toe van circa 2 m bij Naarden tot 10 m bij Diemen. De belasting is door de aanleg van de Houtribdijk relatief laag en veel lager dan de belastingen die in het verleden zijn gekeerd.

Aan de oostzijde wordt het Markermeer begrensd door de waterkeringen van Flevoland. Deze dijken kennen relatief flauwe taludhellingen en zijn aangelegd op een zandcunet. Het pakket klei en veenlagen is hier veel dunner dan aan de westzijde van het Markermeer.

12.2 Inschatting op systeemniveau

Voor de verschillende faalmechanismen is op systeemniveau een inschatting gemaakt van de veiligheidsopgave. Voor het Markermeer is de verwachting dat de opgave van gemiddelde omvang is en dat dit met name voor de hoogte van de keringen en macrostabiliteit is. Het mechanisme piping speelt alleen op lokaal niveau een rol. In de volgende paragrafen zal per mechanisme de inschatting worden toegelicht.



Figuur 13: Inschatting opgave voor het Markermeer.

12.2.1 *Hoogte*

Bij het inschatten van de opgave voor de hoogte van de kering is rekening gehouden met onder andere, veranderingen van rekenmodellen en statistiek, het meenemen van onzekerheden, een ruimer toelaatbaar overslagdebiet en andere eisen vanuit de nieuwe norm. Voor het Markermeer is de inschatting dat ordegrootte 40-60 procent van het systeem een beperkte tot grote opgave heeft. Deze veiligheidsopgave zal met name optreden bij de keringen van Flevoland. Voor die keringen worden de eisen vanuit de norm strenger en ook het meenemen van onzekerheden zorgt voor een toename in benodigde kruinhoogte. Voor de overige keringen langs het Markermeer is de veiligheidsopgave beperkt en meer lokaal van aard.

12.2.2 *Piping*

Geen tot beperkte opgave wordt verwacht uit de impactanalyse nieuwe normering en VNK2. De verwachting is dat het WBI dit beeld bevestigt. Door de aanwezigheid van kleilagen voor de kering kan op de meeste locaties geen piping optreden. Alleen waar de deklaag lokaal ontbreekt is mogelijk een veiligheidsopgave.

12.2.3 *Macrostabiliteit*

Voor macrostabiliteit wordt een opgave bij 30 tot 50% van de keringen verwacht.. Dit is met name het deel van het systeem dat vanuit de derde toetsronde ook al een opgave heeft. Aan de westzijde kunnen de zwaardere eisen vanuit de nieuwe normering leiden tot een versterkingsopgave.

Door het meenemen van bewezen sterkte de veiligheidsopgave mogelijk kunnen worden verkleind.

12.3 Cases langs het Markermeer

Langs het Markermeer zijn cases uitgewerkt in de trajecten 8-2 (Flevoland), 13-7 (Noord-Holland-Markermeer) en 45-2 (Gelderse Vallei). Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen waterstanden voor de beoordeling van geotechnische mechanismen en hydraulische belastingniveaus (HBN) voor bepaling van de benodigde kruinhoogte.

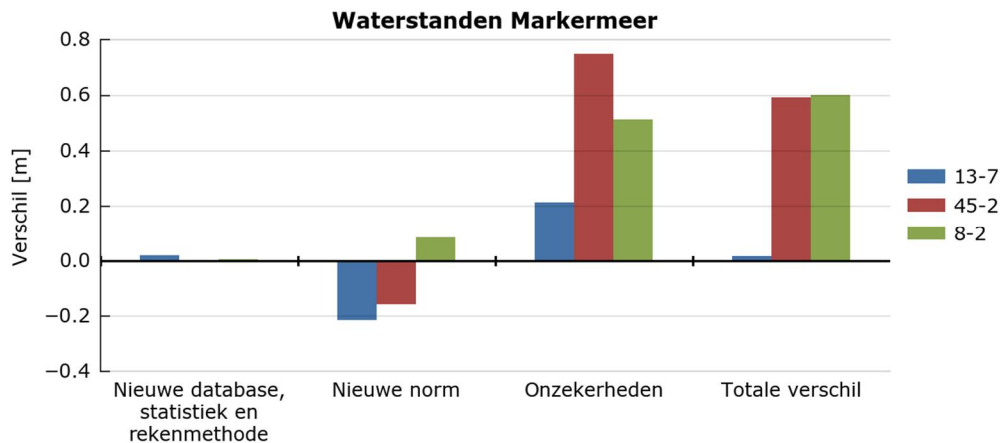
12.3.1 Waterstanden

Door toepassing van nieuwe rekenmodellen en nieuwe statistiek wordt een stijging van de waterstand voor de beoordeling van geotechnische mechanismen berekend van maximaal 10 cm.

Door de nieuwe norm neemt de waterstand voor traject 8-2 met 10 cm toe en voor de trajecten 13-7 en 45-2 wordt de waterstand respectievelijk 20 en 15 cm lager.

Door het meenemen van onzekerheden bij het afleiden van de hydraulische belastingen stijgt de waterstand opnieuw. Bij traject 8-2 is de stijging 50 cm, bij traject 13-7 is dit 20 cm en bij traject 54-2 orde grootte 70 cm.

In totaal stijgt de waterstand voor de beoordeling van geotechnische mechanismen in het WBI 2017. Voor traject 8-2 en 45-2 is de stijging het grootst, namelijk 60 cm. Voor het traject 13-7 is de stijging kleiner; 10 cm.



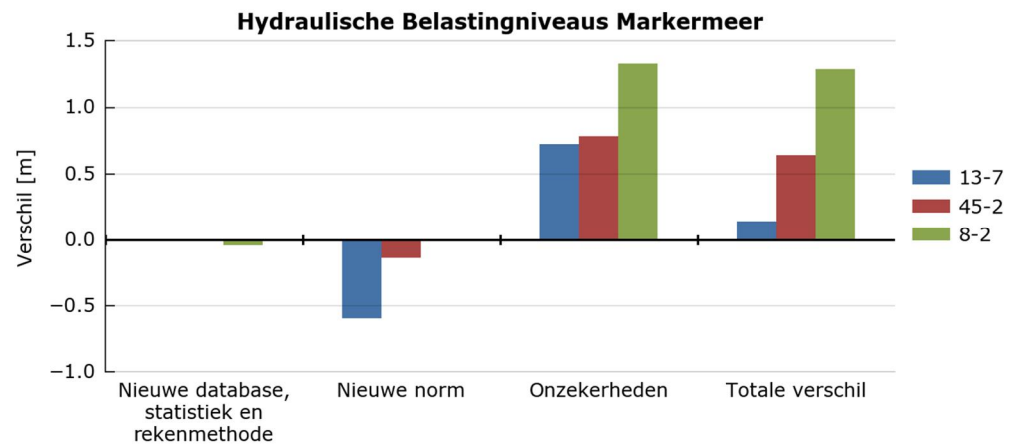
12.3.2 Hydraulische belastingniveaus

Door nieuwe rekenmodellen verandert het HBN niet of nauwelijks.

Het HBN bij de trajecten 13-7 en 45-2 daalt respectievelijk 50 en 15 cm door de nieuwe norm. Bij traject 8-2 is de invloed hiervan verwaarloosbaar.

Door het meenemen van onzekerheden bij het afleiden van hydraulische belastingen stijgt het HBN flink. Voor de trajecten 8-2, 45-2 en 13-7 is de stijging respectievelijk 140, 80 en 70 cm.

Voor traject 8-2 en traject 45-2 wordt het verschil in HBN tussen het WTI 2006 en het WBI 2017 voornamelijk bepaald door het meenemen van onzekerheden. De stijging van het HBN is daardoor respectievelijk ongeveer 1,3 m en 60 cm. Voor de trajecten 13-7 is de stijging door het meenemen van onzekerheden ongeveer even groot als de daling door minder scherpe eisen vanuit de norm waardoor het totale verschil op circa 15 cm uitkomt.



13 Westerschelde

13.1 Kenmerken systeem

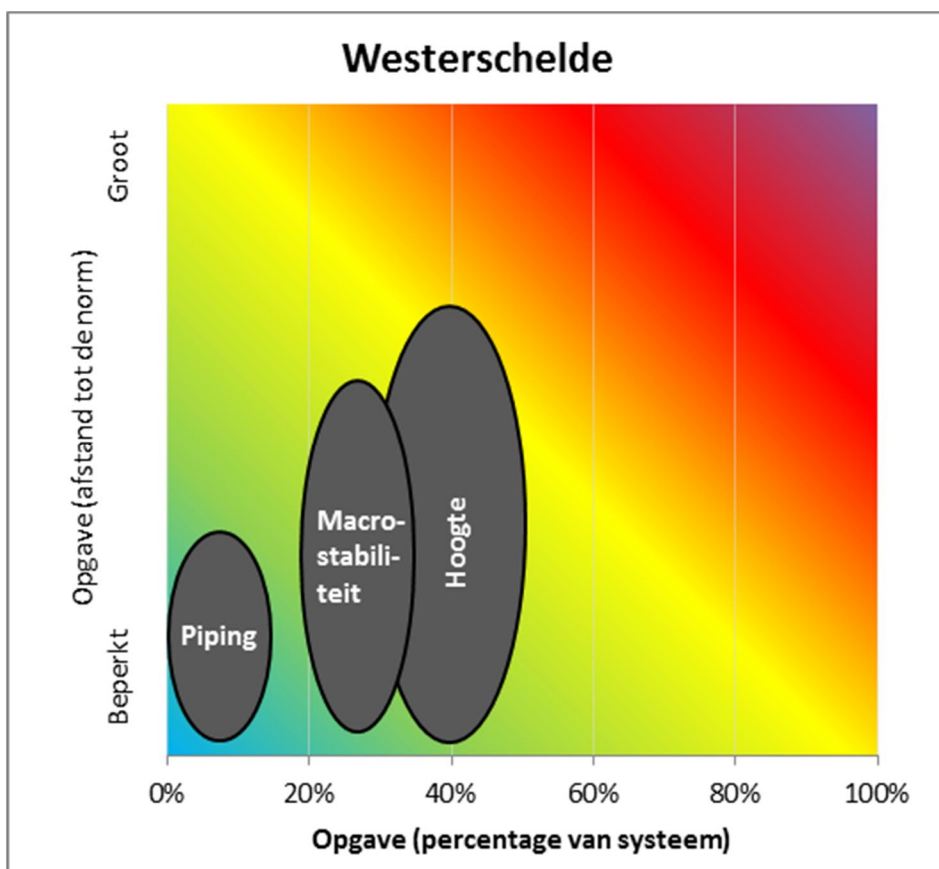
De keringen langs de Westerschelde worden vooral bij stormvloed door hoge waterstanden en golven belast. De belasting is van relatief korte duur. De ondergrond bestaat uit een afwisseling van zandige en kleiige zeeafzettingen.

Na het noodherstel na de watersnood van 1953 zijn de waterkeringen tussen 1957 en 1990 versterkt. Het projectbureau Zeeweringen heeft sinds 1996 325 kilometer bekledingen langs de Wester- en Oosterschelde vervangen.

Bijzonder kenmerk van de Westerschelde is een grote getalsmatige variatie van de nieuwe normen

13.2 Inschatting op systeemniveau

Voor de Westerschelde is met name de hoogte van de keringen het belangrijkste element dat voor de veiligheidsopgave zorgt. Piping zal lokaal tot een opgave leiden en voor macrostabiliteit komt de opgave met name voort op locaties met strengere eisen vanuit de nieuwe norm.



Figuur 14: Inschatting opgave voor de Westerschelde.

13.2.1 Hoogte

Bij het inschatten van de opgave voor de hoogte van de kering is rekening gehouden met onder andere, veranderingen van rekenmodellen en statistiek, het meenemen van onzekerheden bij het afleiden van hydraulische belastingen, een ruimer toelaatbaar overslagdebiet en nieuwe normen. Voor de Westerschelde ligt

met name de veiligheidsopgave in de meest westelijke trajecten en de trajecten waarbij de esien vanuit de norm strenger worden. Voor het westelijk deel van de Westerschelde is de verandering van nieuwe rekenmodellen en statistiek en het meenemen van onzekerheden bij het afleiden van de hydraulische belastingen van grote invloed op de veiligheidsopgave.

13.2.2 *Piping*

Wanneer in het verleden geen zandmeevoerende wellen zijn aangetroffen kan op basis van een eenvoudige toets worden aangetoond dat de overstromingskans door piping zeer klein is. De hoogwatersituatie duurt te kort om een doorbraak te veroorzaken. In die gevallen waarbij wel pipingverschijnselen zijn waargenomen is een gedetailleerde beoordeling nodig om de veiligheidsopgave vast te stellen. Lokaal wordt een veiligheidsopgave verwacht.

Een veiligheidsopgave door piping is mogelijk op locaties waarbij zich direct onder de kering zandige afzettingen bevinden. De veiligheidsopgave (afstand tot de norm) is vermoedelijk klein wanneer rekening wordt gehouden met de korte duur van de hoogwatergolf en kan verder worden gereduceerd door bewezen sterkte in rekening te brengen.

13.2.3 *Macrostabieliteit*

De zandige keringen langs de Westerschelde zijn relatief hoog. De deklaag onder de keringen is relatief dun. Voor deze situaties wordt een beperkte opgave verwacht als gevolg van het nieuwe materiaalmodel (CSSM). Scherpere eisen vanuit de nieuwe normering zal naar verwachting tot een beperkte veiligheidsopgave leiden.

13.3 **Cases langs de Westerschelde**

Langs de Westerschelde zijn cases uitgewerkt in de trajecten 29-2 en 32-4. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen waterstanden voor de beoordeling van geotechnische mechanismen en hydraulische belastingniveaus (HBN) voor bepaling van de benodigde kruinhoogte.

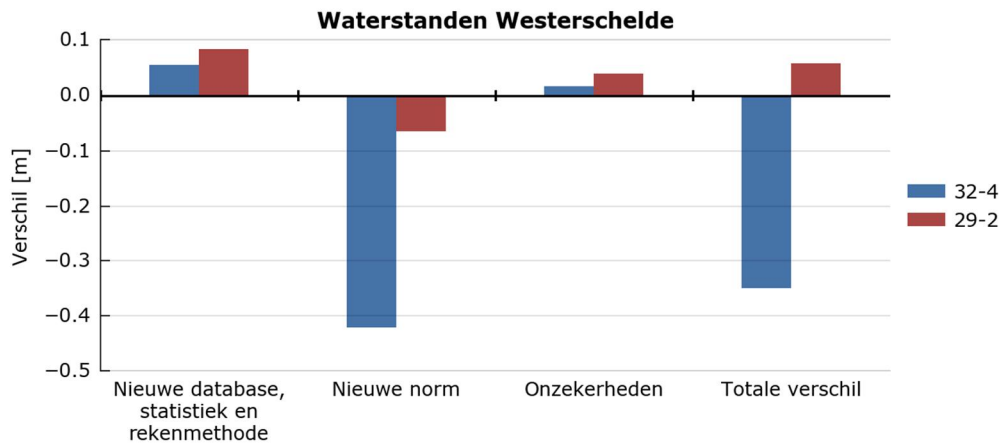
13.3.1 *Waterstanden*

De verschillen door de toepassing van een nieuw rekenmodel en windstatistiek zijn klein. Voor de geanalyseerde locatie langs traject 29-2 en 32-4 stijgt de waterstand voor de beoordeling van geotechnische mechanismen iets minder dan 10 cm.

Door de verandering van de norm daalt de waterstand 10 cm langs traject 29-2 en 45 cm langs traject 32-4.

Het effect van het meenemen van onzekerheden bij het afleiden van hydraulische belastingen is voor deze trajecten klein. De waterstand voor de beoordeling van geotechnische mechanismen stijgt bij beide trajecten minder dan 5 cm.

In totaal heffen de verschillen elkaar in traject 29-2 op en is de totale stijging van de waterstand voor de beoordeling van geotechnische mechanismen 5 cm. Bij traject 32-4 is de totale daling 35 cm. De daling wordt hier vooral veroorzaakt door het meenemen van onzekerheden bij het afleiden van de hydraulische belastingen.

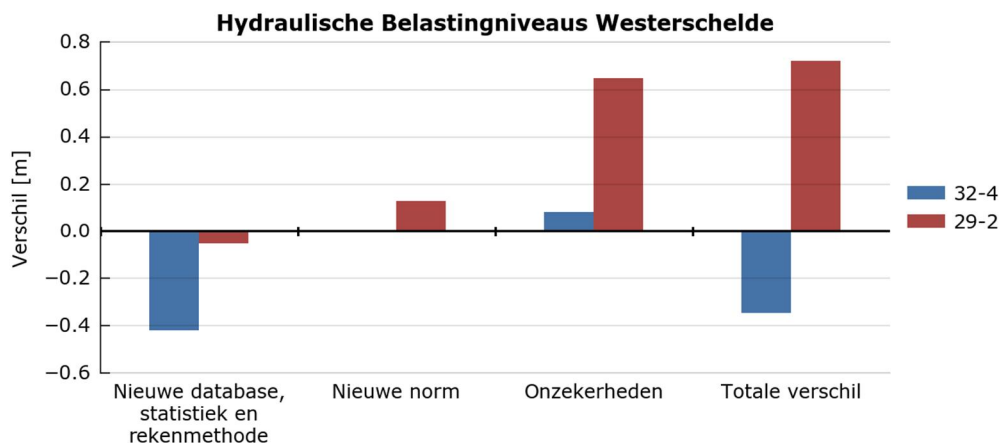


13.3.1.1. Hydraulische belastingniveaus

Door nieuwe rekenmodellen en statistiek daalt het HBN voor de locatie langs traject 32-4 ongeveer 40 cm. Voor traject 29-2 verandert het HBN nauwelijks.

Op traject 32-4 heeft de norm nauwelijks invloed op het HBN. Bij traject 29-2 resulteert de nieuwe norm in een stijging van iets meer dan 10 cm.

Door het meenemen van onzekerheden bij het afleiden van hydraulische belastingen neemt het HBN bij traject 29-2 fors toe, namelijk met meer dan 60 cm. Het totaal verschil tussen de WTI2006 en het WBI2017 is voor deze locatie is daarom 70 cm. Bij traject 32-4 hebben onzekerheden weinig effect, het HBN stijgt daar 10 cm. In totaal neemt het HBN in het WBI2017 met ruim 30 cm af ten opzicht van het WTI 2006.



14 Oosterschelde

14.1 Kenmerken systeem

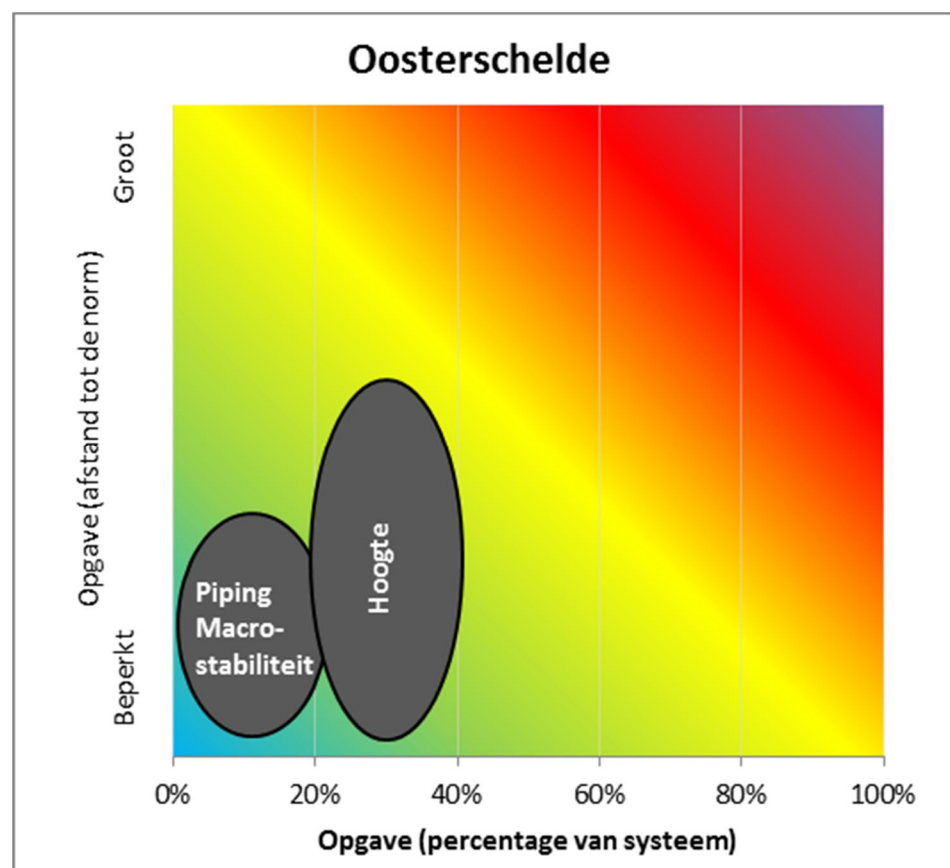
De Oosterschelde is een complex watersysteem. De hydraulische belasting wordt sterk beïnvloedt door de open of gesloten toetsand van de Oosterscheldekering. Bij een stormvloed op de Noordzee sluit de Oosterscheldekering waardoor de waterstanden in de Oosterschelde niet verder oplopen. Waterstanden en golven worden sterk bepaald door windkracht en richting.

De ondergrond is gevormd door mariene afzettingen. De bodemopbouw onder de keringen bestaat uit een wisselend pakket van zandige klei en kleiige zandlagen met door zand opgevulde getijgeulen.

Tijdens de stormvloed in 1953 zijn veel gebieden rondom de Oosterschelde overstroomd. Direct na de watersnood zijn herstelmaatregelen uitgevoerd. Tegelijkertijd is opdracht gegeven aan aannemers voor definitief herstel van zwakke plekken. Soms zijn daarbij nieuwe dijken aangelegd. Na het besluit tot realisering van de van de stormvloedkering in de Oosterschelde zijn tussen eind jaren 70 en begin jaren 80 veel Oosterscheldekeringen versterkt. Begin van de 21e eeuw zijn op sommige strekkingen bekledingen vervangen.

14.2 Inschatting op systeemniveau

Zowel uit VNK2, de impactanalyse nieuwe normering als de vershilanalyses van WBI geven aan dat geen grote veiligheidsopgave bij de trajecten langs de Oosterschelde wordt verwacht.



Figuur 15: Inschatting opgave voor de Oosterschelde

14.2.1 Hoogte

Bij het inschatten van de opgave voor de hoogte van de kering is rekening gehouden met onder andere, veranderingen in rekenmethode en statistiek, het meenemen van onzekerheden bij het afleiden van hydraulische belastingen, het verruimen van het toelaatbaar overslagdebiet en de nieuwe norm. De verwachting is dat er op lokaal niveau een veiligheidsopgave is. De verandering in rekenmethode en statistiek en het meenemen van onzekerheden zorgt voor een verhoging van de benodigde kruinhoogte. De overstap naar de nieuwe norm met bijbehorende grotere overslagdebieten zorgt voor de hele Oosterschelde voor een reductie in benodigde kruinhoogte. In totaliteit is het beeld voor de Oosterschelde dat met name de noordzijde een beperkte en gemiddelde veiligheidsopgave heeft.

14.2.2 Piping

Wanneer in het verleden geen zandmeevoerende wellen zijn aangetroffen kan op basis van een eenvoudige toets worden aangetoond dat de overstromingskans door piping zeer klein is. De hoogwatersituatie duurt te kort om een doorbraak te veroorzaken. In die gevallen waarbij wel pipingverschijnselen zijn waargenomen is een gedetailleerde beoordeling nodig om de veiligheidsopgave vast te stellen. Lokaal wordt een veiligheidsopgave verwacht.

Een veiligheidsopgave door piping is mogelijk op locaties waarbij zich direct onder de kering zandige afzettingen bevinden. De veiligheidsopgave (afstand tot de norm) is vermoedelijk klein wanneer rekening wordt gehouden met de korte duur van de hoogwatergolf en kan verder worden gereduceerd door bewezen sterkte in rekening te brengen.

14.2.3 Macrostabieliteit

De keringen voldoen in de huidige situatie aan de veiligheidseisen. Door de nieuwe normen wordt een beperkte veiligheidsopgave in kilometers en afstand tot de norm verwacht. Uit de verschilanalyses wordt geconcludeerd dat de nieuwe rekenregels met ongedraineerd rekenen (CSSM) niet leiden tot een significante veiligheidsopgave.

14.3 Cases langs de Oosterschelde

Langs de Oosterschelde zijn cases uitgewerkt in de trajecten 26-3 (Schouwen Duiveland) en 28-1 (Noord-Beveland). Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen waterstanden voor de beoordeling van geotechnische mechanismen en hydraulische belastingniveaus (HBN) voor bepaling van de benodigde kruinhoogte.

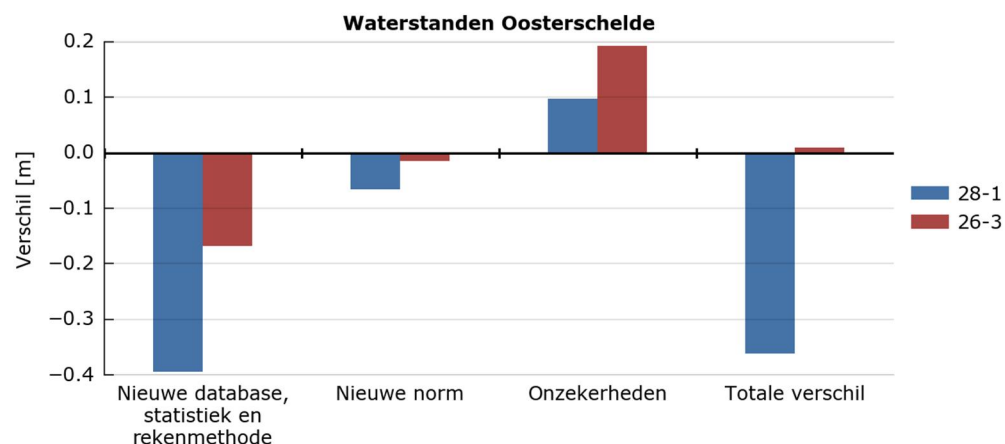
14.3.1 Waterstanden

Voor de geanalyseerde locaties langs traject 26-3 en 28-1 daalt de waterstand voor de beoordeling van geotechnische mechanismen door de nieuwe rekenmethode, zeewaterstand en windstatistiek 40 cm bij traject 28-1 en 20 cm bij traject 26-3.

De normwijziging heeft weinig effect en leidt niet tot een verschil van meer dan 5 cm voor de twee trajecten.

Door het meenemen van onzekerheden bij het afleiden van hydraulische belastingen neemt de waterstand toe, voor traject 26-3 met ongeveer 20 cm en voor traject 28-1 met ongeveer 10 cm.

Het totale verschil in de waterstand voor de beoordeling van geotechnische mechanismen van het WTI2006 en het WBI2017 blijft voor traject 26-3 beperkt tot enkele centimeters, voor traject 28-1 is dit 35 cm.



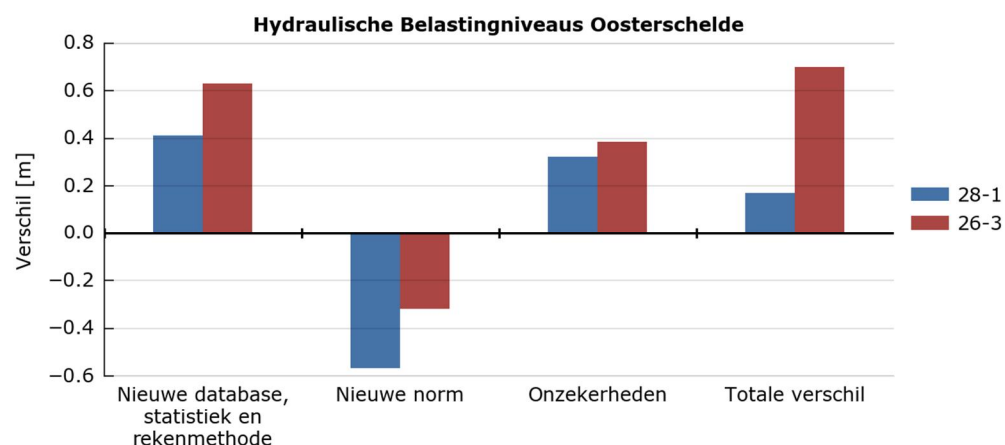
14.3.2 *Hydraulische belastingniveaus*

Het HBN bij traject 26-3 en 28-1 neemt toe door een nieuwe rekenmethode en andere statistiek. De stijging voor traject 26-3 is 60 cm en voor traject 28-1 ongeveer 40 cm.

Door de nieuwe norm daalt het HBN langs de trajecten. Bij traject 26-3 met ongeveer 30 cm en bij traject 28-1 met orde grootte 60cm.

Door het meenemen van onzekerheden bij het afleiden van de hydraulische belastingen neemt het HBN toe. Voor de trajecten 26-3 en 28-1 is dit respectievelijk 40 cm en 30 cm.

In totaal is de stijging van het HBN met het WBI 2017 ten opzichte van het WTI 2006 bij traject 26-3 het grootst, namelijk 70 cm. Bij traject 28-1 is de totale stijging tussen de HR2006 en het WBI2017 20 cm.



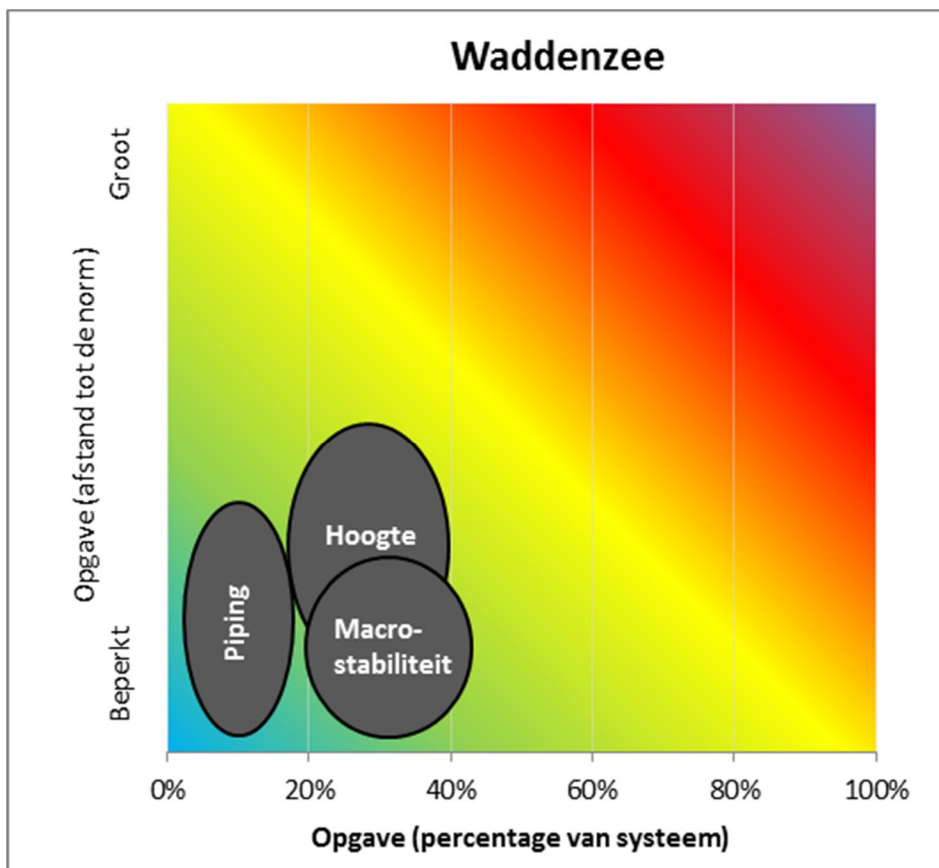
15 Waddenzee

15.1 Kenmerken systeem

De keringen langs de Waddenzee bestaan grotendeels uit Zeedijken met een flauw talud en een brede dijkbasis. Het belastingsysteem kenmerkt zich door een korte belastingduur. In de periode 1960-1980 hebben er langs de Waddenzee grootschalige dijkversterkingen plaatsgevonden waarbij de keringen significant verhoogt zijn. Deze versterkingen zijn in zand uitgevoerd met bijbehorende bekleding. De dijken bestaan na de versterkingen uit een kleikern met daaroverheen zand. De ondergrond van de keringen bestaan uit getijafzettingen waarbij ook zandige geulen aanwezig zijn. In Groningen en Friesland komen dikke deklagen van klei en veen voor.

15.2 Inschatting op systeemniveau

Zowel uit VNK2, de impactanalyse nieuwe normering als de verschilanalyses van het WBI geven aan dat in het algemeen geen grote veiligheidsopgave bij de trajecten langs de Waddenzee wordt verwacht. Alleen bij de keringen in de Provincie Groningen wordt een hoogteopgave verwacht.



Figuur 16: Inschatting opgave voor de Waddenzee

15.2.1 Hoogte

Bij het inschatten van de opgave voor de hoogte van de kering is rekening gehouden met onder andere, veranderingen van rekenmodellen en statistiek, het meenemen van onzekerheden bij het afleiden van hydraulische belastingen, het verruimen van het overslagdebiet en de nieuwe norm.

De veranderingen van rekenmodellen en statistiek zorgen voor grote delen van de Waddenzee voor een lager hydraulisch belastingniveau met uitzondering van het Noordelijk deel van Groningen, daar zorgt de verandering voor een significante verhoging van het hydraulisch belastingniveau.

De nieuwe norm met bijbehorende overslagdebieten hebben met name een relatief grote consequentie voor het oostelijk deel van Groningen. Voor het overig deel van de keringen is de invloed beperkt.

Het meenemen van onzekerheden heeft een beperkte invloed op de veiligheidsopgave.

Het totaalbeeld is dat er met name voor waterkeringen langs de Provincie Groningen een significante verhoging van het hydraulisch belastingniveau optreedt. Op basis daarvan is de inschatting dat 20-40 procent een veiligheidsopgave heeft en dat deze zich in die regio zal concentreren.

15.2.2 Piping

Wanneer in het verleden geen zandmeevoerende wellen zijn aangetroffen kan op basis van een eenvoudige toets worden aangetoond dat de overstromingskansen door piping zeer klein is. De hoogwatersituatie duurt te kort om een doorbraak te veroorzaken. In die gevallen waarbij wel pipingverschijnselen zijn waargenomen is een gedetailleerde beoordeling nodig om de veiligheidsopgave vast te stellen. Lokaal wordt een veiligheidsopgave verwacht.

Een veiligheidsopgave door piping is mogelijk op locaties met geulafzettingen, locaties waarbij zich direct onder de kering zandige afzettingen bevinden. De veiligheidsopgave (afstand tot de norm) is vermoedelijk klein wanneer rekening wordt gehouden met de korte duur van de hoogwatergolf en kan verder worden gereduceerd door bewezen sterkte in rekening te brengen.

De veiligheidsopgave wordt vooral veroorzaakt door de nieuwe rekenregel.

15.2.3 Macrostabieliteit

Een veiligheidsopgave ten gevolge van het nieuwe materiaalmodel CSSM is mogelijk op locaties met dikke dekkingen van klei en veen. Deze komen zowel in Groningen als in Friesland voor. Op de Eilanden wordt geen veiligheidsopgave verwacht

15.3 Cases langs de Waddenzee

Langs de Waddenzee zijn cases uitgewerkt in de trajecten 6-3 (Friesland-Groningen), 6-6 (Friesland-Groningen) en 6-7 (Friesland-Groningen). Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen waterstanden voor de beoordeling van geotechnische mechanismen en hydraulische belastingniveaus (HBN) voor bepaling van de benodigde kruinhoogte.

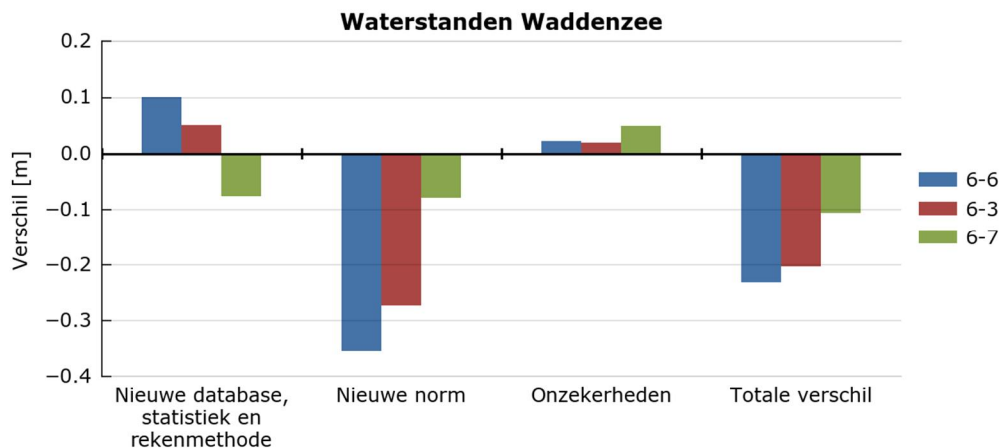
15.3.1 Waterstanden

Langs traject 6-3, 6-6 en 6-7 is het verschil door de nieuwe database en statistiek klein. In 6-3 en 6-6 stijgt de waterstand voor de beoordeling van geotechnische mechanismen met circa 10 cm. In traject 6-7 daalt de waterstand met circa 10 cm.

Het effect van de nieuwe norm is een afname van de waterstand met circa 30 cm voor traject 6-3 en 6-6 en een afname van 10 cm voor traject 6-7.

Het meenemen van onzekerheden bij het afleiden van de hydraulische belastingen leidt niet tot een significant verschil in waterstand voor de beoordeling van geotechnische mechanismen.

In totaal daalt de waterstand langs traject 6-3 en 6-6 met circa 20 cm, en langs traject 6-7 met circa 10 cm.



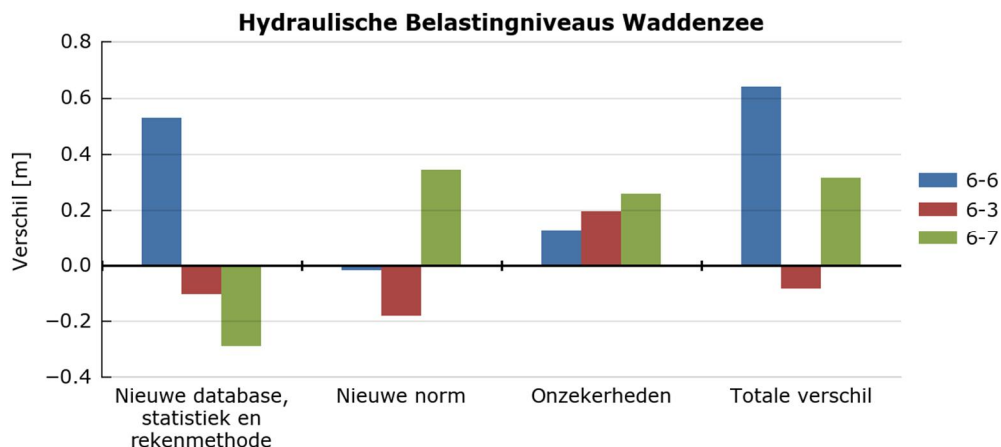
15.3.2 Hydraulische belastingniveaus

Ten gevolge van nieuwe rekenmethode en statistiek stijgt het HBN langs traject 6-6 met circa 50 cm en daalt het HBN langs 6-3 en 6-7 met respectievelijk 10 en 30 cm.

De nieuwe norm geeft een verwaarloosbare stijging van het HBN langs traject 6-6. Langs traject 6-3 en traject 6-7 leidt de nieuwe norm tot respectievelijk een afnamen van 20 cm en een toename van 30 cm.

Het meenemen van onzekerheden bij het afleiden van hydraulische belastingen leidt overal tot een stijging van het HBN van ongeveer 20 cm.

In totaal stijgt het HBN langs traject 6-6 met ruim 60 cm, voornamelijk door de nieuwe rekenmethode en statistiek. Langs 6-3 is er een kleine afname van circa 10 cm. De verschillende factoren heffen hier elkaar ongeveer op. Langs traject 6-7 is de stijging ongeveer 30 cm.



16 Kust

De kust bestaat harde keringen en duinen. Uit onder andere [Referentie 5] blijkt dat de veiligheid van de Nederlandse duinenkust zeer groot is, zeker na uitvoering van versterking van de 'zwakke schakels' langs de kust. De verwachting is dan ook dat de overstap naar de nieuwe normering geen grote invloed heeft op de duinenkust, een eventuele opgave zal zeer lokaal zijn. Ditzelfde geldt voor de beperkt aanwezige harde keringen langs de kust, daar zal het mogelijk ook alleen zeer lokaal tot een opgave leiden. Het meenemen van de belastingonzekerheden is de belangrijkste factor waardoor er mogelijk zeer lokaal een opgave ontstaat.

16.1 Cases op de Kust

Vanwege zeer beperkte opgave geen cases langs de kust

17 Referenties

[1] Verschilanalyse Hydraulische Belastingen, Landelijk beeld verschilanalyse WBI2017. HKV rapport PR3280.10. J. Stijnen en T. Botterhuis. April 2016.

[2] Verschilanalyse Piping

[3] Verschilanalyse Macrostabieleit

[4] SBW Piping. HP.9 *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen*. Herziene versie 2011, *Deltares, kenmerk 1202123-003-GEO-0002, 28 maart 2012*

[5] Overstromingskansen voor de Nederlandse kust. V. Vuik en W van Balen. HKV rapport PR2334.10. Opdrachtgever: Deltaprogramma Kust, 1 oktober 2012.