



Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017

Bijlage II Voorschriften bepaling hydraulische belasting primaire waterkeringen

Colofon

Uitgegeven door	Ministerie van Infrastructuur en Milieu
Informatie	Helpdesk Water <a href="http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/pri
maire/beoordelen-(wbi)/">http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/pri maire/beoordelen-(wbi)/
Uitgevoerd door	Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving

Inhoud

1	Inleiding 6
1.1	Het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 6
1.2	Gehanteerde begrippen 6
1.3	Basisrapport en achtergrondrapporten 7
1.4	Leeswijzer 7
2	Van bedreiging naar hydraulische belasting 9
2.1	Inleiding 9
2.2	Watersystemen 10
2.3	De hydraulische belasting 12
3	Afleiden van hydraulische belastingen 14
3.1	Inleiding 14
3.2	Uitvoerpunten 14
3.3	Proces afleiding hydraulische belastingen met WBI 2017-software 15
3.3.1	Algemeen 15
3.3.2	Voorlanden en dammen 16
3.4	Relatie tussen faalkanseis en norm en hydraulische belastingen 17
3.5	Belastingparameters voor de eenvoudige en gedetailleerde toets 22
3.5.1	Waterstand bij de norm 22
3.5.2	Gemiddelde waterstand en gemiddelde laagwaterstand 22
3.5.3	Belastingduur en waterstandverloop 22
3.5.4	Waterstandsfrequentielijn 24
3.5.5	Waterstanden en golfhoogten voor de eenvoudige toets 24
3.5.6	Combinatie van waterstanden en golfcondities voor de gedetailleerde toets 24
3.5.7	Overslagdebiet 24
3.5.8	Waterstanden en golfcondities voor bekledingen buitentalud 25
3.6	Toeslagen 25
3.7	Mogelijkheden toets op maat 26
3.7.1	Beheerdersoordeel 26
3.7.2	Analyse lokale hydraulische effecten 26
3.7.3	Geavanceerde analyse 27
4	Schematisering 28
4.1.1	Eenvoudige toets 28
4.1.2	Gedetailleerde toets 28
5	Belastingmodellen en watersystemen 29
5.1	Inleiding 29
5.2	Bovenrivierengebied 30
5.2.1	Beschrijving 30
5.2.2	Waterlichamen 30
5.2.3	Bedreigingen 31
5.2.4	Voorliggende waterkeringen 32
5.3	Benedenrivierengebied 32
5.3.1	Beschrijving 32
5.3.2	Waterlichamen 34
5.3.3	Bedreigingen 34
5.3.4	Voorliggende waterkeringen 35

5.4	Vecht- en IJsseldelta	36
5.4.1	Beschrijving	36
5.4.2	Waterlichamen	37
5.4.3	Bedreigingen	37
5.4.4	Voorliggende waterkeringen	38
5.5	Merengebied	38
5.5.1	Beschrijving	38
5.5.2	Waterlichamen	39
5.5.3	Bedreigingen	39
5.5.4	Voorliggende waterkeringen	40
5.6	Kustgebied	40
5.6.1	Beschrijving	40
5.6.2	Waterlichamen	40
5.6.3	Bedreigingen	41
5.6.4	Voorliggende waterkeringen	41
5.7	Oosterschelde	42
5.7.1	Beschrijving	42
5.7.2	Waterlichamen	42
5.7.3	Bedreigingen	43
5.7.4	Voorliggende waterkeringen	43
5.8	Duinen	44
5.8.1	Beschrijving	44
5.8.2	Waterlichamen	45
5.8.3	Bedreigingen	45

Referenties 47

Achtergrondrapporten	47
----------------------	----

Appendix A Uitvoerpunten per type kering 50

A.1	Uitvoerpunten per type kering	50
A.2	Speciale uitvoerlocaties	52
A.3	Bovenrivierengebied	53
A.4	Benedenrivierengebied	54

Appendix B Overzicht waterbeweging- en golfmodellen 56

1 Inleiding

1.1 Het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium

Het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (hierna: WBI 2017) bevat zowel de regels voor het bepalen van de hydraulische belastingen en de sterkte, als de procedurele regels voor de beoordeling van de veiligheid van de primaire waterkeringen. Het WBI 2017 bestaat uit een ministeriële regeling (Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017) met de volgende bijlagen:

- Bijlage I Procedure beoordeling veiligheid primaire waterkeringen (hierna: Bijlage I Procedure).
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 (hierna: Bijlage II Hydraulische belastingen).
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 (hierna: Bijlage III Sterkte en veiligheid).
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 kering.

Het voorliggende document is Bijlage II Hydraulische belastingen.

Toelichtende teksten bij de regels zijn cursief weergegeven.

1.2 Gehanteerde begrippen

Hieronder staan de definities van de meest voorkomende begrippen. Voor een uitgebreid overzicht van de begrippen wordt verwezen naar Bijlage I Procedure, appendix B.

Tabel 1-1 Definities van de meest voorkomende begrippen

Dijktraject	Gedeelte van een primaire waterkering dat afzonderlijk genormeerd is.
Faalkans	Kans op overschrijden van de uiterste grenstoestand van een waterkering of een onderdeel daarvan. De uiterste grenstoestand wordt vastgelegd door een faaldefinitie. ¹
Faalkans per vak of Faalkans per doorsnede of Faalkans per kunstwerk	Faalkans voor een vak voor een toetsspoor als resultaat van de analyse in de gedetailleerde toets per vak. Een vak heeft betrekking op een dijkdoorsnede, duinenraai of kunstwerk.
Faalkans per traject	Faalkans voor een dijktraject voor een toetsspoor of combinatie van toetssporen als resultaat van de analyse in de gedetailleerde toets per traject of in de toets op maat.

¹ Deze definitie van faalkans wijkt af van de definitie van faalkans in artikel 1.1. van de Waterwet. Het begrip "faalkans" in de Waterwet is specifiek gekoppeld aan voorliggende keringen, en komt daar in de plaats van het begrip "overstromingskans" dat voor de overige primaire keringen wordt gebruikt.

Faalkanseis per traject	Toelaatbare faalkans voor een dijktraject voor een toetsspoor of combinatie van toetssporen voor een faalkansbegroting afgeleid uit de norm.
Faalkanseis per vak of Faalkanseis per doorsnede of Faalkanseis per kunstwerk	Toelaatbare faalkans voor een vak per toetsspoor afhankelijk van de faalkansbegroting, het lengte-effect en de norm.
Norm	Toelaatbare overstromingskans van een dijktraject. De norm wordt uitgedrukt in de ondergrens of signaleringswaarde.
Toetsoordeel	Resultaat van een eenvoudige toets, gedetailleerde toets of toets op maat.
Toetsoordeel per traject	Resultaat van een toetsspoor of een combinatie van toetssporen voor een dijktraject.
Toetsoordeel per vak of Toetsoordeel per vak per toetsspoor	Resultaat van een toetsspoor voor een vak
Toetsspoor	De wijze waarop een mechanisme of een onderdeel van de waterkering wordt beoordeeld.
Signaleringswaarde	Overstromingskans van het dijktraject waarvan overschrijding gemeld moet worden aan de Minister van I en M.
Ondergrens	Overstromingskans van het dijktraject die hoort bij het minimale beschermingsniveau dat de kering moet bieden.
Vak	Een deel van een waterkering - dijkdoorsnede, duinenraai of kunstwerk - met uniforme eigenschappen en belasting ² .
Veiligheidsoordeel	Oordeel over de veiligheid tegen overstromen van het dijktraject.

1.3

Basisrapport en achtergrondrapporten

In deze bijlage wordt beschreven op welke manier de hydraulische belastingen moeten worden afgeleid voor de beoordeling. Het afleiden van deze hydraulische belastingen gebeurt met de WBI 2017-software. In deze software zijn daarvoor databases van statistiek opgenomen. De databases met fysische gegevens [ref 31] moeten per traject door de beheerder worden gekoppeld. Deze databases zijn beschikbaar via de Helpdesk Water. Voor de achtergronden en uitgangspunten die zijn gehanteerd voor deze databases wordt verwezen naar de achtergrondrapportage HB2017 [ref 48].

1.4

Leeswijzer

Hoofdstuk 2

Van bedreiging naar hydraulische belastingen beschrijft hoe vanuit de bedreigingen wind, waterstanden en golven de hydraulische belastingen worden afgeleid.

Hoofdstuk 3

Afleiden hydraulische belastingen beschrijft per toets en mechanisme welke hydraulische belastingen benodigd zijn en hoe deze bepaald moeten worden. In hoofdstuk 2 van bijlage III Sterkte en veiligheid worden daarvoor per toets de eisen gegeven.

² Hoe te komen tot een vakindeling staat in de schematiseringshandleidingen.

Hoofdstuk 4	Schematisering beschrijft op hoofdlijnen het proces van schematiseren voor het afleiden van de hydraulische belastingen.
Hoofdstuk 5	Belastingmodellen en watersystemen beschrijft de belastingmodellen en de watersystemen.
Appendix A	bevat de koppeling tussen waterlichamen en belastingsysteem.
Appendix B	geeft een overzicht van types uitvoerpunten en kaarten met direct beschikbare uitvoerpunten.
Appendix C	geeft een overzicht van de gebruikte waterbeweging- en golfmodellen.

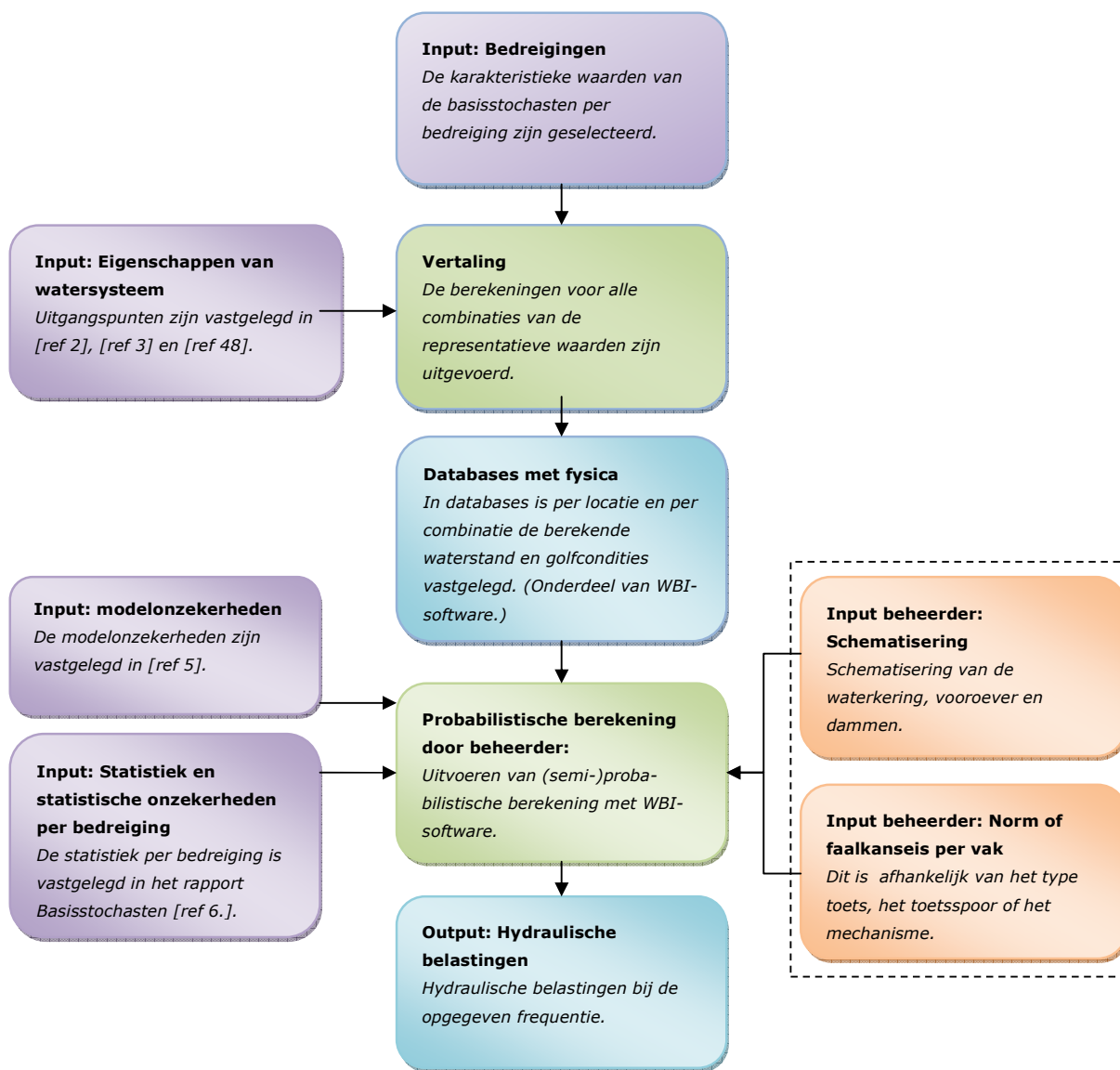
2 Van bedreiging naar hydraulische belasting

2.1 Inleiding

Om de beoordeling uit te kunnen voeren zijn hydraulische belastingen benodigd. Deze verschillen per toetsspoor en per toets en bestaan uit combinaties van waterstanden (inclusief het verloop daarvan) en golfcondities. De wijze waarop de hydraulische belastingen worden bepaald, is per toetsspoor, per toets en per mechanisme voorgeschreven (zie hoofdstuk 3). Het afleiden van de hydraulische belastingen gebeurt met behulp van de WBI 2017-software op basis van de door de beheerder ingevoerde schematisering en, afhankelijk van het toetsspoor of toets, de norm of faalkanseis per vak. Voor het weergeven van het verloop van de waterstanden over de tijd wordt aparte software gebruikt: 'Waterstandsverloop' [ref 12]

De hydraulische belastingen (combinaties van waterstand en golven) op de waterkeringen worden veroorzaakt door de bedreigingen die in een gebied voorkomen, zoals wind, getij en afvoer van de rivier. De windrichting en snelheid, de afvoer van de rivier, de zeewaterstand, de interactie van opzet met het getij, het meerpeil, de voorspelnaauwkeurigheid van de sluiting van de stormvloedkeringen en de toestand (open of gesloten zijn) van de stormvloedkeringen worden de basisstochasten genoemd (zie [ref 6], [ref 13 t/m 16]), [ref 22]. De combinaties van basisstochasten die de hydraulische belasting bepalen, verschillen per gebied). Daarom zijn watersystemen gedefinieerd.

Figuur 2-1 geeft het proces voor het afleiden van de hydraulische belastingen schematisch weer. De gevraagde input van de beheerder (norm of faalkanseis per vak en schematisering) staat rechts.



Figuur 2-1: Processchema van bedreiging naar hydraulische belastingen.

2.2

Watersystemen

Een watersysteem is een gebied waar de waterveiligheid bedreigd wordt door een specifieke combinatie van stochasten (rivierafvoer, getijden, wind, meerpeil en toestand keringen), oftewel variabelen die de (variatie in) hydraulische belastingen bepalen.

Elk watersysteem kent een eigen wijze van vertaling van de basisstochasten naar de hydraulische belasting op de waterkering. De manier waarop deze vertaling plaatsvindt, heet het belastingmodel (zie figuur 2-1 en tabel 2-1) [ref 1], [ref 9 t/m 11] en [ref 22 t/m 26]. De statistiek van de basisstochasten, de correlatiemodellen en modelonzekerheden wordt daarvoor via een probabilistisch model gecombineerd met:

- Een windmodel (ref 53)
- Hydrodynamische waterbewegings- en golfmodellen inclusief een speciale dam- en voorlandmodule om de basisstochasten te vertalen in een hydraulische belasting nabij de kering [ref 32].
- Een schematisering van de kering en golfoploop tegen en golfoverslag over de kering, als aanvullende input voor een aantal toetssporen. zie ook [ref 4], [ref 28], ref [50], en [ref 51]

Modelonzekerheden zijn door het ministerie van I en M per watersysteem expliciet opgegeven (zie [ref 5]).

Voor een groot aantal realisaties³ (getalswaarden en combinaties daarvan) van de basisstochasten zijn waterbewegings- en golfmodellen gedraaid om voor elk van deze realisaties een vertaling van basisstochasten (die geldig zijn voor een heel watersysteem) naar een lokale hydraulische belasting op een uitvoerpunt (zie paragraaf 3.2) bij een specifieke kering te kunnen geven. Deze grote hoeveelheid modelberekeningen wordt ook wel aangeduid met de term "productieberekeningen". Het resultaat van de productieberekeningen is dat bij elke basisstochastwaarde (en combinatie daarvan) een lokale hydraulische belasting beschikbaar is aan de teen van de waterkering, en dat de "vertaalmatrix" van basisstochastwaarden (voor een compleet watersysteem) naar lokale hydraulische belasting beschikbaar is in één of meer databases.

In onderstaande tabel 2-1 staan de verschillende watersystemen en belastingmodellen weergegeven die worden onderscheiden binnen WBI 2017. In figuur 2-2 staat de opdeling van de watersystemen (inclusief de binnen WBI 2017 gehanteerde nummering) in Nederland.

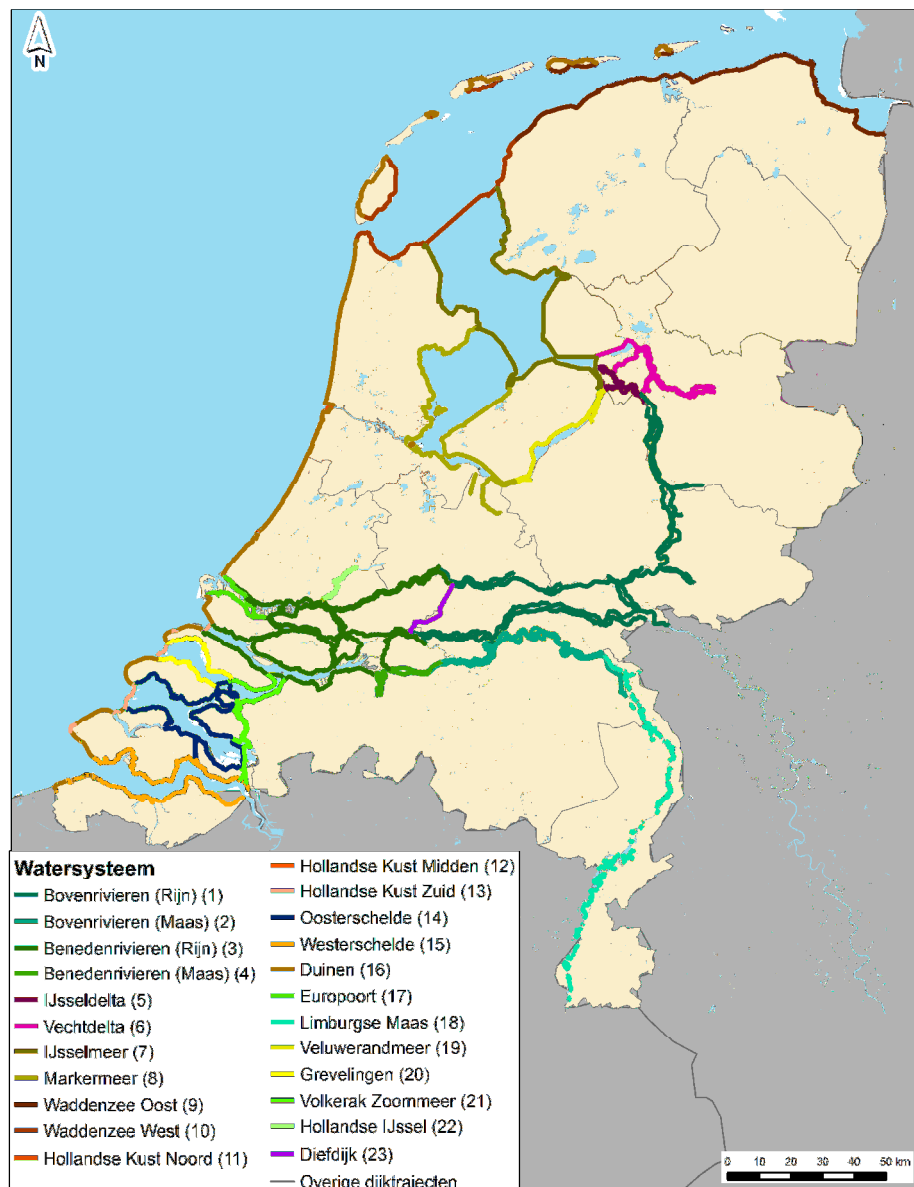
Tabel 2-1 Overzicht belastingmodellen en watersystemen.

Belastingmodel	Watersysteem	Nummer
Bovenrivierengebied	Bovenrivieren (Rijn)	1
	Bovenrivieren (Maas)	2
	Maasvallei ⁴	18
Benedenrivierengebied	Benedenrivieren (Rijn)	3
	Benedenrivieren (Maas)	4
	Europoort	17
	Volkerak-Zoommeer	21
	Hollandse IJssel	22
Vecht en IJssel-delta	IJsseldelta	5
	Vechtdelta	6
Merengebied	IJsselmeer	7
	Markermeer	8
	Veluwerandmeer	19
	Grevelingen	20
Kustgebieden (dijken) (Kust)	Waddenzee Oost	9
	Waddenzee West	10
	Hollandse Kust Noord	11
	Hollandse Kust Midden	12
	Hollandse Kust Zuid	13

³ Trekking die hoort bij de kansverdeling van basisstochast of combinatie daarvan.

⁴ voorheen Limburgse Maas

Belastingmodel	Watersysteem	Nummer
	Westerschelde	15
Oosterschelde (OS)	Oosterschelde	14
Duinen (D)	Duinen	16
Droge keringen	Diefdijk	23



Figuur 2-2: Overzichtskartaal watersystemen zoals die onderverdeeld zijn in de WBI 2017-software.

De belastingmodellen en watersystemen worden in hoofdstuk 5 nader toegelicht.

2.3

De hydraulische belasting

De hydraulische belasting door golven en waterstanden wordt uitgedrukt in belastingparameters: duur, richting en hoogte van combinaties van waterstanden en

golven. De te gebruiken hydraulische belastingen verschillen per toets, toetsspoor, maar ook per mechanisme binnen een toetsspoor. In paragraaf 3.4, tabel 3-2, is een overzicht gegeven van de te gebruiken belastingparameters.

De hydraulische belastingparameters per vak om de beoordeling uit te voeren zijn:

- Waterstanden:
 - waterstand bij de norm of per faalkanseis per vak,
 - gemiddelde waterstand en gemiddelde laagwaterstand,
 - laagwaterstand met overschrijding 1/10 per jaar en
 - waterstandsfrequentielijn.
- Golven voor bekledingen: waterstandsniveau, golfhoogte, golfperiode en golfrichting bij de norm óf bij een faalkanseis per vak.
- Waterstandsverloop: verloop van de waterstand gedurende de hoogwatergolf.
- Golfhoogteverloop voor bekledingen: Verloop van golfhoogte en golfperiode, als functie van het windverloop of waterstandsverloop.
- Val van hoogwater: voor de stabiliteit van voorlanden zijn extreme vallen van de waterstand van belang.
- Belastingduur: de duur van de belasting. De manier waarop deze wordt bepaald is afhankelijk van het toetsspoor en het watersysteem. Dit wordt in detail aangegeven in de schematiseringshandleidingen.

Bij de toets per traject worden belastingen en sterkte geheel in samenhang probabilistisch beoordeeld.

Het afleiden van de hydraulische belasting gebeurt middels een probabilistische analyse die wordt uitgevoerd met behulp van probabilistische WBI-software, op basis van een door de beheerder ingevoerde schematisering van de waterkering, inclusief voorland of voorliggende dammen (zie figuur 1 en paragraaf 4.3) en norm of faalkanseis per vak.

De hydraulische belastingen die uit de probabilistische software van WBI 2017 volgen zijn topwaterstanden en golfmaxima uit de hydrodynamische berekeningen. De tijdsafhankelijkheid is per toetsspoor uitgewerkt in de waterstandsverlopen.

Voor elk mechanisme is in de WBI 2017-software een sterktefunctie opgenomen die voor de betreffende kering de kritische combinatie van hydraulische parameters definieert. Dit gebeurt middels de grenstoestandfunctie Z. Deze functie beschrijft de kans dat de belasting (S) groter is dan de sterkte van een waterkering (R) en is daarmee een maat voor de faalkans.

De grenstoestandfunctie is de koppeling tussen de belastingen en sterkte van de waterkering bij de opgegeven faalkanseis per vak of voor de norm. Per combinatie van belastingparameters is bekend hoe groot de kans van voorkomen van die combinatie is. Op basis hiervan kan voor de semi-probabilistische toets per vak ook de meest waarschijnlijke combinatie van parameters worden bepaald die leidt tot de hydraulische belastingen (gegeven de faalkanseis). Voor een uitgebreide beschrijving van de probabilistiek en de grenstoestandfunctie Z wordt verwezen naar [ref 9].

Buistoten, buioscillaties en seiches zijn kortdurende waterstandveranderingen door zware buien en grote veranderingen of fluctuaties in de wind. Op dit moment zijn dergelijke toeslagen alleen in rekening gebracht in de databases en daarmee de eenvoudige en gedetailleerde toets voor het Europeoortgebied. Voor de overige gebieden is minder evident dat dergelijke toeslagen noodzakelijk zijn. Indien nodig kunnen ze voor deze gebieden alsnog worden toegevoegd in de toets op maat.

3 Afleiden van hydraulische belastingen

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft hoe per toetsspoor en per toets (eventueel per mechanisme) de hydraulische belastingen op de waterkering worden bepaald, en op welke wijze deze gecombineerd worden met de faalkanseis. Zo wordt duidelijk hoe, gegeven de norm, de benodigde belastingparameters moeten worden bepaald.

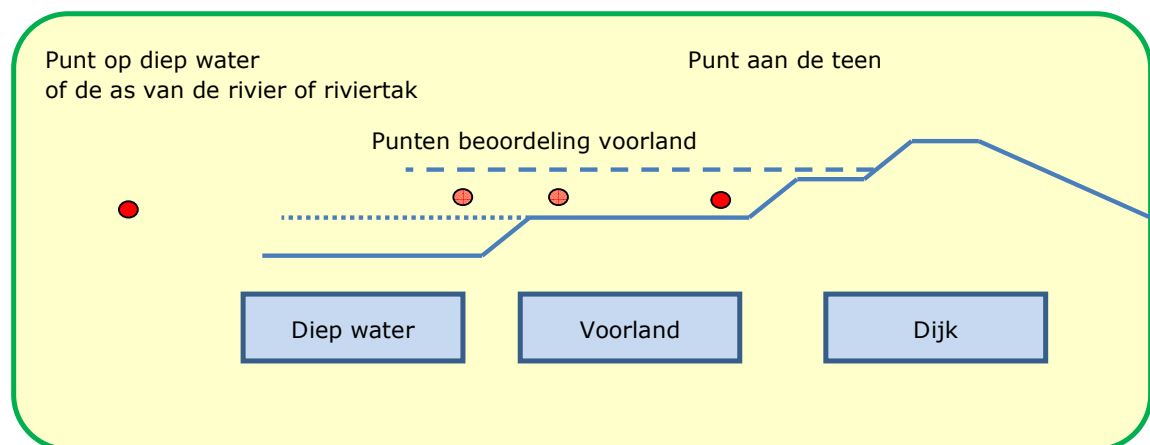
3.2 Uitvoerpunten

De databases met fysica (resultaten productieberekeningen van waterstanden en golfcondities behorende bij combinaties van basisstochastwaarden zijn afgeleid voor de uitvoerpunten zoals weergegeven in het zijaanzicht en het bovenaanzicht in figuur 3-1 en 3-2. Dit zijn ook de uitvoerpunten die in de beoordeling moeten worden gebruikt. In de WBI 2017-software koppelt de beheerder deze zelf aan de geschematiseerde doorsneden van de kering.

Standaard worden de uitvoerpunten om hydraulische belastingen mee te bepalen op diep water/as van de rivier en aan de teen van de waterkering uitgeleverd. De overige punten zijn opvraagbaar.

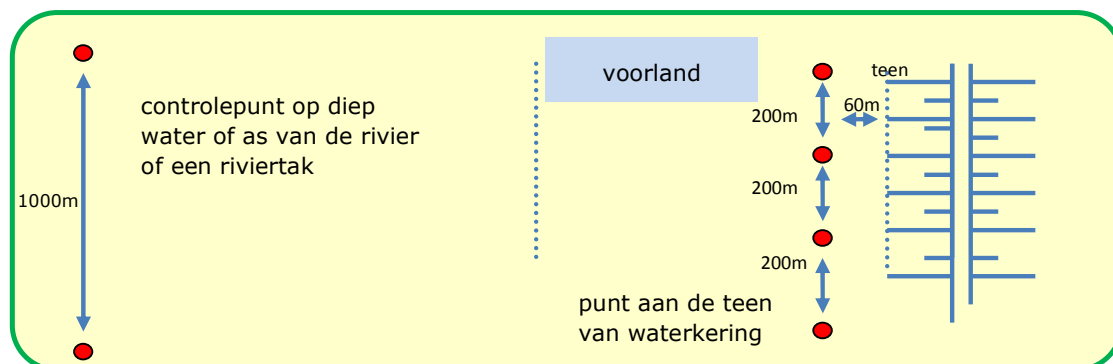
Voor het beoordelen van havendammen, strekdammen en duinen liggen de punten op enkele honderden meters uit de kering. Voor het beoordelen van dijken en kunstwerken liggen de punten, afhankelijk van het systeem tussen de tientallen en enkele honderden meters van de dijk of voor het kunstwerk. Voor het beoordelen van voorlanden⁵ worden punten voor en na het begin van het voorland gegeven.

Appendix A geeft een volledig overzicht van de beschikbare uitvoerpunten voor de verschillende watersystemen en figuren voor hoge gronden, kunstwerken en duinen.



Figuur 3-1: Locatie van de uitvoerpunten voor het afleiden van de hydraulische belastingen bij een dijk, zijaanzicht.

⁵ Extra punten kunnen worden opgevraagd bij de Helpdesk Water. Het productieproces daarvoor bedraagt enkele weken.

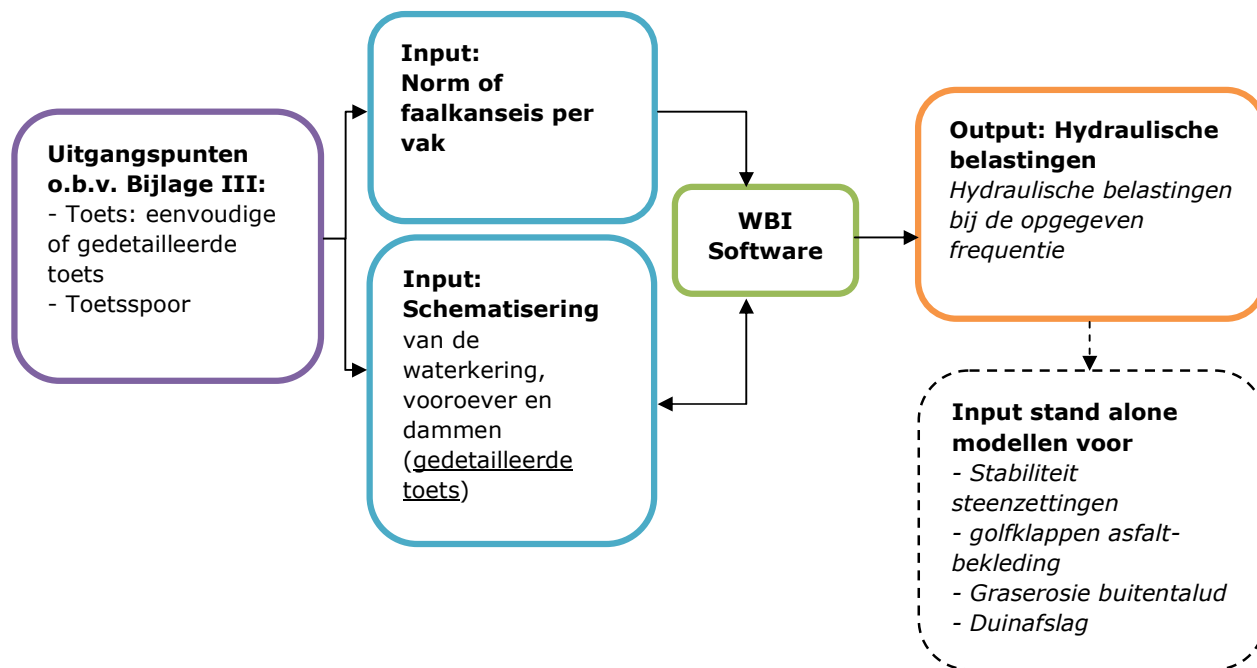


Figuur 3-2: Locatie van de uitvoerpunten voor het afleiden van de hydraulische belasting bij een dijk, bovenaanzicht.

3.3 Proces afleiding hydraulische belastingen met WBI 2017-software

3.3.1 Algemeen

Figuur 3-3 geeft schematisch het proces weer voor het bepalen van de hydraulische belastingen met behulp van de WBI 2017-software. Dit processchema is voor de eenvoudige toets en de gedetailleerde toets. Voor een toets op maat is geen vastgesteld processchema beschikbaar.



Figuur 3-3: Proces afleiden hydraulische belastingen met WBI 2017-software (voor het afleiden van de golfbelasting is dit een iteratief proces)

De gegevens die moeten worden ingevoerd in de WBI 2017-software voor het afleiden van de hydraulische belastingen voor de eenvoudige en gedetailleerde toets worden bepaald door het type toetsspoor (betreft het een probabilistisch of semi-probabilistisch toetsspoor) en het type toets (eenvoudig of gedetailleerd). In tabel 3-1 wordt aangegeven welke waarde wordt ingevoerd in de WBI 2017-software.

Het probabilistisch bepalen van de hydraulische belastingen voor de Grevelingen, Hollandse IJssel, Veluwerandmeer en Volkerak-Zoommeer gebeurt tot 1-1-2019 met Hydra-NL, daarna kunnen de hydraulische belastingen voor deze watersystemen ook met de WBI 2017-software worden afgeleid.

In Bijlage III Sterkte en veiligheid is een overzicht opgenomen van de verschillende typen toetssporen (zie paragraaf 2.1)

3.3.2

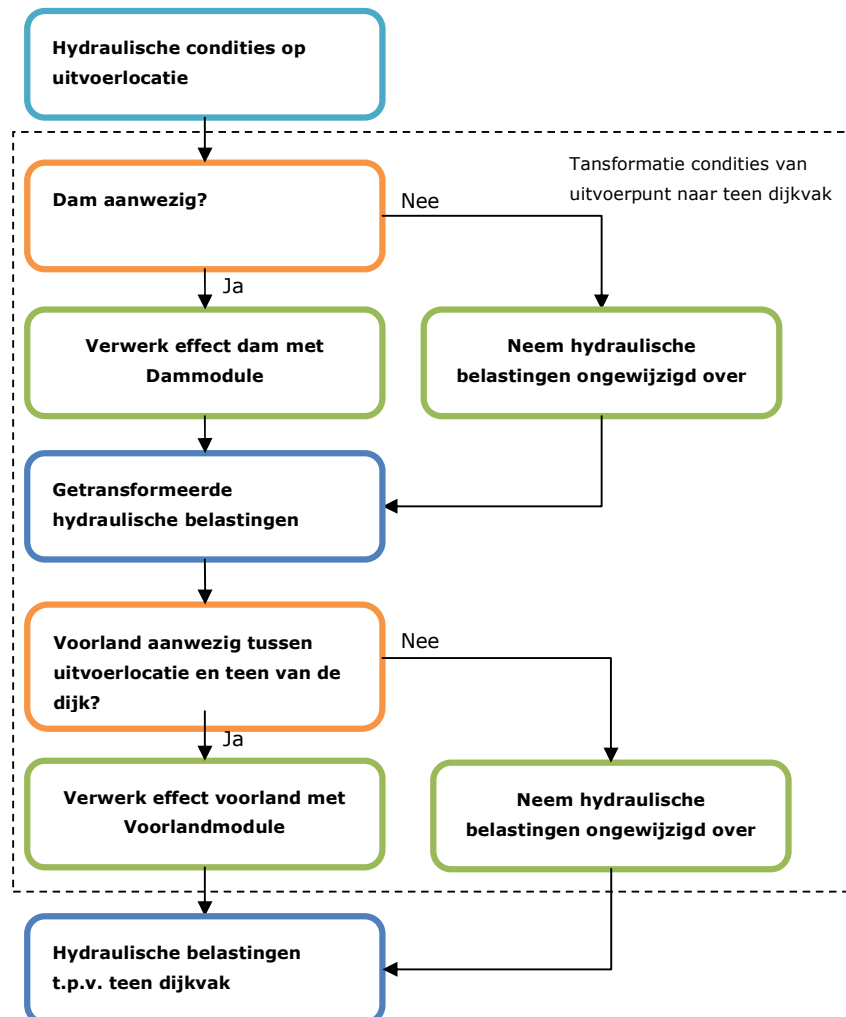
Voorlanden en dammen

Voorlanden of dammen zijn van invloed op de vertaling van de hydraulische belastingen van de uitvoerlocatie naar de teen van de waterkering. De golfcondities (met name de golfhoogte en -richting) kunnen veranderingen ondergaan door de aanwezigheid van een dam of een ondiep voorland. Als de aanwezigheid van een dam of voorland invloed heeft op de hydraulische belastingen moet deze worden opgenomen in de schematisering.

De transformatie van de hydraulische belastingen van de uitvoerlocatie (over het algemeen op 25-75m van de dijk) naar de dijkteen als er sprake is van voorland of een dam wordt uitgevoerd door de beheerder door middel van de voorland- en dammodules, die zijn opgenomen in de WBI 2017-software.

In sommige gevallen zijn dammen en voorlanden al meegenomen in de productieberekeningen voor de uitvoerpunten. In de achtergrondrapportages van HB2017 [ref 41 t/m 46] staan voor de verschillende watersystemen de uitgangspunten beschreven en welke dammen en voorlanden al zijn meegenomen in de productieberekeningen.

De werking van de modules is schematisch weergegeven in figuur 3-4



Figuur 3-4: Stroomschema voor de transformatie van de hydraulische condities op uitvoerlocatie naar de dijkteen (voorland- en dammodule).

3.4

Relatie tussen faalkanseis en norm en hydraulische belastingen

De hydraulische belastingen dienen te worden afgeleid voor een kans van voorkomen die getalsmatig gelijk is aan de norm of faalkanseis per vak. Dit kan per toets en toetsspoor verschillen.

Hoe de faalkanseis per vak voor de verschillende toetssporen wordt afgeleid staat beschreven in Bijlage III Sterkte en veiligheid. Tabel 3-2 legt het verband tussen het type toets en de te hanteren uitgangspunten voor het afleiden van de hydraulische belastingen per toetsspoor.

Voor havendammen geldt dat bepaalde toetssporen niet van toepassing zijn. De werkwijze voor de bepaling van de hydraulische belastingen voor havendammen is analoog aan die van dijken.

Tabel 3-2: Hydraulische belastingen per toetsspoor.

<i>Toetsspoor</i>	<i>Label toetsspoor</i>	<i>Eenvoudige toets</i>		<i>Gedetailleerde toets per vak</i>		
		<i>waterstand</i>	<i>golfcondities (hoogte, periode, richting)</i>	<i>Waterstand</i>	<i>golfcondities (hoogte, periode, richting)</i>	<i>Overslagdebiet</i>
Macrostabiliteit binnenwaarts	STBI	-waterstand bij de norm.	geen golfcondities benodigd.	-waterstand bij de norm, -waterstandverloop,	geen golfcondities benodigd.	Geen overslagdebiet benodigd.
Macrostabiliteit buitenwaarts	STBU	-waterstand bij de norm, -gemiddelde waterstand.	geen golfcondities benodigd.	-waterstand bij de norm, -gemiddelde laagwaterstand	geen golfcondities benodigd.	Geen overslagdebiet benodigd.
Piping	STPH	-waterstand bij de norm.	geen golfcondities benodigd.	-waterstand bij de norm, -waterstandverloop.	geen golfcondities benodigd.	Geen overslagdebiet benodigd.
Microstabiliteit	STMI	-waterstand bij de norm.	geen golfcondities benodigd.	-waterstand bij de norm	geen golfcondities benodigd.	overslagdebiet bij de norm.
Golfklappen op asfaltbekleding	AGK	-waterstand bij de norm.	significante golfhoogte, bepaald uit marginale golfstatistiek bij de norm.	Per waterstandsniveau wordt bij de norm de significante golfhoogte en -periode bepaald met WBI 2017-software ⁶ .		Geen overslagdebiet benodigd.
Wateroverdruk bij asfaltbekleding	AWO	-waterstand bij de norm, -gemiddelde waterstand.	geen golfcondities benodigd.	geen gedetailleerde toets beschikbaar.		Geen overslagdebiet benodigd.

⁶ Waterstanden en golven zijn over het algemeen gecorreleerd.

Toetsspoor	Label toetsspoor	Eenvoudige toets		Gedetailleerde toets per vak		
		waterstand	golfcondities (hoogte, periode, richting)	waterstand	golfcondities (hoogte, periode, richting)	Overslagdebiet
Grasbekleding erosie buitentalud	GEBU	-Waterstand bij de faalkanseis per doorsnede, -Gemiddelde laagwaterstand.	Significante golfhoogte bij de faalkanseis per doorsnede.	Per waterstandsniveau bij de faalkanseis per doorsnede wordt de significante golfhoogte en -periode bepaald met WBI 2017-software.		Geen overslagdebiet benodigd.
Grasbekleding afschuiven buitentalud	GABU	Geen waterstanden nodig.	Significante golfhoogte bij de norm.	Per waterstandsniveau bij de norm wordt de significante golfhoogte en -periode bepaald met WBI 2017-software.		Geen overslagdebiet benodigd.
Grasbekleding erosie kruin en binnentalud	GEKB	Geen eenvoudige toets beschikbaar.		Alle mogelijke combinaties van golven en waterstanden worden meegenomen in de uitvoering van de toets met de WBI 2017-software.		Geen overslagdebiet benodigd.
Grasbekleding afschuiven binnentalud	GABI	Waterstand bij de norm.	Significante golfhoogte bij de norm.			overslagdebiet bij de norm
Stabiliteit steenzetting	ZST	Geen eenvoudige toets beschikbaar.		Per waterstandsniveau bij de norm wordt de significante golfhoogte en periode bepaald met WBI 2017-software.		Geen overslagdebiet benodigd.

Toetsspoor	Label toetsspoor	Eenvoudige toets		Gedetailleerde toets per vak	
		waterstand	golfcondities (hoogte, periode, richting)	waterstand	golfcondities (hoogte, periode, richting)
Duinafslag	DA	Geen eenvoudige toets beschikbaar.		Waterstand op diep water voor een faalkanseis per doorsnede.	Conditionele verwachtingswaarde golfhoogte en -periode bij waterstand (op diep water).
Hoogte kunstwerk	HTKW	Geen waterstand benodigd.	Geen golfcondities benodigd.	Alle mogelijke combinaties van golven en waterstanden worden meegenomen in de uitvoering van de toets met de WBI 2017-software. waterstandsverloop (voor de berekening van de komberging) <i>De drukkrachten op de waterkering worden middels Goda-tabellen vertaald, zie software documentatie [ref 27].</i>	
Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk	BSKW	Geen waterstand benodigd.	Geen golfcondities benodigd.		
Sterkte en stabiliteit puntconstructies	STKWp	Geen eenvoudige toets beschikbaar.			
Piping bij kunstwerk	PKW	Waterstand bij de norm.	Geen golfcondities benodigd.	Waterstand bij de norm.	Geen golfcondities benodigd.
Sterkte en stabiliteit langsconstructies	STKWI	Waterstand bij de norm.	Significante golfhoogte bij de norm ⁷ .	Geen gedetailleerde toets beschikbaar.	
Technische innovaties	INN	Geen waterstand nodig.	Geen golfcondities benodigd.	Geen gedetailleerde toets beschikbaar. <i>Dit is een toets op maat. De WBI 2017-software kan benut worden voor het afleiden van de hydraulische belastingen.</i>	
Golfafslag voorland	VLGA	Per waterstandsniveau bij de norm wordt de significante golfhoogte en -periode bepaald met WBI 2017-software.		Geen gedetailleerde toets beschikbaar.	

⁷ In de bovenrivieren is deze benadering extreem conservatief, zie ook paragraaf 3.4.5.

<i>Toetsspoor</i>	<i>Label toetsspoor</i>	<i>Eenvoudige toets</i>		<i>Gedetailleerde toets per vak</i>	
		<i>waterstand</i>	<i>golfcondities (hoogte, periode, richting)</i>	<i>waterstand</i>	<i>golfcondities (hoogte, periode, richting)</i>
Afschuiving voorland	VLAF	Geen waterstand nodig.	Geen golfcondities nodig.	-Waterstand bij de norm, -Waterstandsverloop, -Gemiddelde laagwaterstand.	Geen golfcondities benodigd.
Zettingsvloeiing voorland	VLZV	-Waterstand bij de norm, -Gemiddelde waterstand.	-	-Waterstand bij de norm -Laag laag water spring (LLWS), -Overeengekomen Laag Water (OLW), -Overeengekomen Lage Rivierwaterstand (OLR) [ref 30]	geen golfcondities benodigd
Havendammen	HAV	Geen waterstand nodig.	Geen golfcondities nodig.	Zie relevante toetssporen.	Zie relevante toetssporen.
Bebouwing	NWObe	Benut hydraulische belastingen bij het betreffende toetsspoor ⁸		Geen gedetailleerde toets beschikbaar.	
Begroeiing	NWObo			Geen gedetailleerde toets beschikbaar.	
Kabels en leidingen	NWOkl			Zie NEN 3653.	Zie NEN 3654.
Overige constructies	NWOoc			Geen gedetailleerde toets beschikbaar.	

⁸ Het is niet toegestaan de hydraulische belasting te gebruiken uit een combinatie van waterstand bij de norm en golfhoogte en –periode uit de marginale statistiek.

3.5 Belastingparameters voor de eenvoudige en gedetailleerde toets

In deze paragraaf volgt een beschrijving van de verschillende belastingparameters die worden gebruikt in de eenvoudige en gedetailleerde toets. Het gaat daarbij om de volgende parameters:

- *Waterstand bij de norm,*
- *Gemiddelde waterstand en gemiddelde laagwaterstand,*
- *Belastingduur en waterstandverloop,*
- *Waterstandfrequentielijn,*
- *Waterstanden en golfhoogten,*
- *Combinatie van waterstanden,*
- *Overslagdebiet,*
- *Waterstanden en golfcondities.*

3.5.1 *Waterstand bij de norm*

Voor zowel de eenvoudige als de gedetailleerde toets wordt de waterstand afgeleid bij de norm⁹. Hierbij geldt dat als golven een rol spelen bij het toetsspoor de waterstand bij de norm alleen in de eenvoudige toets gebruikt mag worden.

In een eenvoudige toets hoeft, behoudens enkele in bijlage III Sterkte en Veiligheid specifiek benoemde uitzonderingen, geen rekening gehouden te worden met de faalkansbegroting en het lengte-effect. In de gedetailleerde toets wordt de waterstand bij de norm gehanteerd, behalve waar golven een rol bij de belastingen spelen.

3.5.2 *Gemiddelde waterstand en gemiddelde laagwaterstand*

De gemiddelde waterstand en gemiddelde laagwaterstand dienen te worden afgeleid op basis van meetreeksen. Meetreeksen van de formele meetstations zijn beschikbaar via de waternormalen¹⁰.

Voor het afleiden van de waterstanden voor tussengelegen stations kunnen berekeningen worden gemaakt of kan gebruik worden gemaakt van betrekkinglijnen voor de rivieren [ref 19 en 20] en voor de kustgebieden en het merengebied van triangulaire interpolatie.

3.5.3 *Belastingduur en waterstandverloop*

De manier waarop de belastingduur wordt bepaald is afhankelijk van het toetsspoor en het watersysteem. In de verschillende schematiseringshandleidingen wordt per toetsspoor en eventueel per watersysteem aangegeven hoe de duur van de belasting in rekening wordt gebracht. In die gevallen dat de belastingduur wordt afgeleid uit de waterstandverlopen, worden de waterstandverlopen afgelezen uit de software 'Waterstandsverloop'.

Voor een volledige beschrijving van de software 'Waterstandsverloop' wordt verwezen naar [ref 12] en per watersysteem is de informatie beschikbaar in [ref 42-44].

De belastingduur is niet gelijk aan de stormduur en de stormopzetduur die is gebruikt voor het afleiden van de databases met fysica [ref 48].

In windgedomineerde gebieden moeten de waterstandsverlopen worden gecorrigeerd, zoals beschreven in de schematiseringshandleidingen.

⁹ 'Bij de norm' is gedefinieerd als een kans van voorkomen die getalsmatig gelijk is aan de norm.

¹⁰ www.waternormalen.nl en in [ref 30]

In kustgebieden, benedenrivieren, meren worden de waterstandsverlopen voor waterstanden bij de norm grotendeels door wind bepaald en duren deze relatief kort (uren tot dagen).

In de meren worden de meerpeiltoppen bepaald door de wateraanvoer en het niet kunnen lozen op de Noordzee. De gehele duur van een verhoogd meerpeil is over het algemeen lang, in de orde van weken. Waterstanden bij de norm kunnen zowel door hoge meerpeilen veroorzaakt worden (bijvoorbeeld bij Uitdam (NH)) of door stormopzet (zoals bij het Ketelmeer).

In de bovenrivieren worden de waterstandsverlopen voor waterstanden bij de norm grotendeels door afvoer bepaald (deze duren van dagen tot weken). In de overgangsgebieden van de rivieren worden de waterstandsverlopen voor waterstanden bij de norm zowel door de wind als door de afvoer bepaald of door de wind, het meerpeil en de afvoer. De duur is van dagen tot weken.

De software (, [ref 12], [ref 36], [ref 37], [ref 38], en [ref 39]) biedt de mogelijkheid om een locatie en de norm of faalkans per vak te selecteren, waarna het waterstandsverloop wordt gepresenteerd. Het betreft een standaard-waterstandsverloop waarin de natuurlijke variatie en andere spreidings- en onzekerheidsfactoren niet expliciet zijn meegenomen.

Macrostabiliteit binnenwaarts en piping

Voor de toetssporen Macrostabiliteit binnenwaarts en Piping is de belastingduur af te leiden uit de waterstandsverlopen. Deze waterstandverlopen kunnen voor de verschillende watersystemen worden afgelezen uit de software 'Waterstandsverloop'.

Duinen

Voor het beoordelen van duinen is het waterstandsverloop geprogrammeerd in de software Morphan.

Grasbekleding

De waterstandsverlopen voor het toetsspoor Graserosie kruin en buitentalud worden als synthetische reeks ingevoerd in de WBI 2017-software. Deze werkwijze wordt beschreven in schematiseringshandleiding Grasbekledingen.

Steen- en asfaltbekleding

De belastingduur voor de beoordeling van steenbekledingen is impliciet verwerkt in de WBI 2017-software. De belastingduur verschilt per taluddeel, omdat de waterstanden over het algemeen tijdens een storm veranderen.

Voor het toetsspoor Golfklappen op asfaltbekleding AGK wordt voor het afleiden van de belastingduur dezelfde methode als voor steenbekledingen gebruikt.

Oosterschelde

De belastingduur voor bekledingen op keringen langs de Oosterschelde is afhankelijk van de waterstand. *Zie [ref 55]*

Beoordelen van kunstwerken

De belastingduur voor de beoordeling van kunstwerken (toetssporen HTKW, BSKW, STKWp) is standaard gelijk aan 6 uur (een halve getijperiode).

In een toets op maat kan deze waarde kan eventueel (onderbouwd) worden aangepast op basis van de software 'Waterstandsverloop'.

Voor de overige toetssporen is in de gedetailleerde toets geen waterstandverloop nodig.

3.5.4 Waterstandsfrequentielijn

De waterstandsfrequentielijn wordt samengesteld door de waterstand bij verschillende frequenties te berekenen.

De waterstandsfrequentielijn is nodig om een beoordeling bij verschillende overstromingskansen (anders dan de norm) uit te kunnen voeren, maar ook voor het bepalen van het toetsoordeel voor een aantal toetssporen (in het bijzonder Duinafslag en Grasbekleding erosie buitentalud). Hiervoor wordt de WBI 2017-software gebruikt, waarin de waterstandsfrequentielijn met één berekening kan worden afgeleid. De waterstandsfrequentielijn is onafhankelijk van de norm van de waterkering.

3.5.5 Waterstanden en golfhoogten voor de eenvoudige toets

In de eenvoudige toets wordt gebruik gemaakt van een waterstand en de significante golfhoogte, H_s of H_{m0} ¹¹. Hierbij dient uitgegaan te worden van de waterstand en significante golfhoogte bij de norm¹². De golfperiode is niet van belang in de eenvoudige toets.

Deze golfhoogte wordt niet bepaald bij een faalkanseis per vak, omdat niet wordt geschematiseerd, en daarmee in de hydraulische belasting geen rekening gehouden wordt met de faalkansbegroting of het lengte-effect. De berekende golfhoogten zijn gebaseerd op marginale golfstatistiek en zijn golven bij de norm. Er wordt geen rekening gehouden met het al dan niet aanwezig zijn van correlatie met de waterstanden. Voor de bovenrivieren waar geen correlatie is tussen wind en waterstand is deze benadering extreem conservatief. Daarnaast zijn voorland, dammen en de golfrichting niet beschouwd. Dit is een conservatieve benadering.

3.5.6 Combinatie van waterstanden en golfcondities voor de gedetailleerde toets

Alle mogelijke combinaties van waterstanden en golfcondities worden gebruikt om probabilistisch de faalkans te bepalen van de kering of een onderdeel daarvan. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de WBI 2017-software.

De wijze waarop waterstanden en golfcondities worden gecombineerd wordt toegelicht in het Basisrapport HB2017 en in [ref 33].

3.5.7 Overslagdebiet

Het overslagdebiet is nodig voor de toetssporen Hoogte kunstwerken (HTKW), Microstabiliteit (STMI) en Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI) en wordt met behulp van de WBI 2017-software berekend (in l/s/m). Het overslagdebiet is een zogenaamde afgeleide hydraulische belasting, die op basis van de software voor de hydraulische belasting wordt bepaald door de geometrie, ruwheid en ligging van de waterkering. Het overslagdebiet wordt afgeleid bij de faalkanseis per vak of bij de norm, zie tabel 3.2.

In de faalkanseis per vak dient rekening gehouden te worden met de faalkansbegroting en het lengte-effect zoals beschreven in bijlage III Sterkte en veiligheid, paragraaf 2.1. Het lengte-effect wordt gegeven in de schematiseringshandleiding Grasbekleding en Hoogte.

¹¹ H_s en H_{m0} zijn verschillende maar gelijkwaardige schatters voor de significante golfhoogte.

¹² Dit is een expliciete keuze in WBI 2017 om conservatisme tegen te gaan.

Het overslagdebiet bij dijken wordt bepaald via de WBI 2017-software met de formules uit het Technisch rapport golfoploop en golfoverslag bij dijken [ref 4], [ref 28] en [ref 49]. Daarnaast is voor golfreductie de voorland- en dammodule noodzakelijk ([ref 32] en [ref 50]). Golfbreking wordt hiermee in rekening gebracht. Extra opzet over het voorland wordt verwaarloosd.

Microstabiliteit

Het overslagdebiet wordt voor microstabiliteit bepaald bij de norm met de WBI 2017-software¹³. Daarbij wordt de schematisering van het toetsspoor Grasbekleding erosie kruin en binnentalud gebruikt.

Kunstwerken

Bij het toetsspoor Hoogte kunstwerk wordt formule 1.6 uit [ref 8] gebruikt voor de bepaling van het overslagdebiet. Dit is een volledige probabilistische berekening die rekening houdt met zowel lage als hoge waterstanden.

Met het overslagdebiet wordt beoordeeld of wordt voldaan aan de eisen ten aanzien van waterbezwaar/komberging in het achterland/achterliggende watersysteem en wordt de erosie van de bodem van het kunstwerk bepaald (standzekerheid).

3.5.8

Waterstanden en golfcondities voor bekledingen buitentalud

De combinaties van waterstanden en golfcondities voor de beoordeling van harde bekledingen (steen, asfalt) op het buitentalud in de gedetailleerde toets worden bepaald bij de norm. Voor zachte bekledingen (gras) bij de faalkanseis per vak (toetsspoor Grasbekledingen erosie buitentalud).

Voor de beoordeling van bekledingen zijn golfcondities nodig bij verschillende waterstandniveaus. Hierbij is de waterstand geen stochast, maar een vaste waarde¹⁴. Per waterstandniveau dient een belasting te worden bepaald die gebaseerd is op de gecombineerde kans van voorkomen van de waterstand en golfcondities. De waterstand en golfcondities zijn gecorreleerd en dragen beide bij aan de faalkans.

Het lengte-effect is verwerkt in de partiële veiligheidsfactoren. Uitzonderingen zijn het deelspoor golfklap onder Grasbekledingen erosie buitentalud en het toetsspoor Grasbekledingen kruin binnentalud waar het lengte-effect in de doorsnede-eis en de te hanteren belastingen verwerkt is. Bij Steenbekledingen is bovendien een conservatieve maat voor de reststerkte van de onderliggende klei verwerkt in de veiligheidsfactoren.

3.6

Toeslagen

Alleen voor de toetssporen Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB), Hoogte kunstwerk (HTKW) en eventueel Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk (BSKW) in het Europoortgebied dient in de gedetailleerde rekening gehouden te worden met toeslagen, voor buistoten, buioscillaties en seiches.

Deze fenomenen worden gekarakteriseerd door kortdurende waterstandsveranderingen en treden op tijdens zware buien of stormen [ref 40]. Een seiche is een resonantieverschijnsel in bekkens (zoals havens) ten gevolge van laagfrequente variaties van de buitenwaterstand door wind. Onder dit type bedreigingen worden ook de slingeren op de meren (IJsselmeer en Markermeer) gerekend. De toeslagen voor buistoten, buioscillaties en seiches zijn verwerkt in de databases voor het Europoortgebied die onderdeel zijn van de WBI 2017-software.

¹³ Deze mag niet bepaald worden met hydraulische belastingen voor de eenvoudige toets. Dit is een expliciete keuze in WBI 2017 om conservatisme tegen te gaan, zie ook paragraaf 3.4.5

¹⁴ Een indicatie van de kans op voorkomen van deze waterstand kan worden bepaald met de waterstandsfrequentielijn.

In de toets op maat kunnen toeslagen door de gebruiker worden toegevoegd voor andere gebieden dan Europoort in Nederland [ref 52]. De gebruiker moet zelf beoordelen of deze toegevoegd dienen te worden.

3.7 Mogelijkheden toets op maat

De toets op maat geeft een oordeel per vak, of per traject en per toetsspoor. Voor hydraulische belastingen omvat de toets op maat de mogelijkheid om door de beheerder veranderingen door te voeren in modellen of schematiseringen in golfmodellen zoals Bretschneider en SWAN. Dit kan leiden tot aangepaste waterstanden of golfbelastingen [ref 54] en [ref 7].

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

In deze paragraaf worden de diverse mogelijkheden binnen de toets op maat beschreven. De toets op maat maakt het mogelijk om:

- een beheerdersoordeel op te stellen;*
- locatiespecifieke analyses uit te voeren;*
- geavanceerde analyses uit te voeren.*

3.7.1 Beheerdersoordeel

De toets op maat kan bestaan uit het opstellen van een onderbouwd beheerdersoordeel. Bij hydraulische belastingen kan dit bestaan uit voorbeelden van metingen die aantonen dat de hydraulische belastingen frequenter of minder frequent zijn dan gemodelleerd in de formele modellen. Dit kan de mate van beschutting of juist het ontbreken hiervan aantonen. Voorbeelden zijn:

- Veekrandmetingen¹⁵ om golfoploop te meten voor een individuele storm*
- Lange reeksen (meer dan 30 jaar) van waterstandsmetingen van beheerders bij gemalen. Hierbij moet de beheerder naast de betrouwbaarheid van de reeks ook de betrouwbaarheid van de meetinstallatie aantonen. Dit is met name relevant op smalle wateren ver van formele meetstations.*

3.7.2 Analyse lokale hydraulische effecten

Een tweede mogelijkheid binnen de toets op maat is het uitvoeren van een analyse naar lokale effecten. Voor golfbelastingen kunnen veranderingen worden aangebracht op basis van eigen analyses ten aanzien van objecten die voor de waterkering liggen:

- voor het kustgebied is een systematiek uitgewerkt. Voor waterkeringen gelegen in havens of achter dammen kan een analyse worden uitgevoerd conform [ref 7];*
- voor het bovenrivierengebied en de smalle wateren van het benedenrivierengebied kan de beheerder aangepaste strijklengten of bodemhoogten zelf afleiden met software uit eerdere toetsronden [ref 18] en [ref 54]. De beheerder kan in de achtergrondrapportages per watersysteem voor de Hydraulische belastingen vinden welke objecten zijn meegenomen in de berekeningen. Tevens kan een bestand worden aangevraagd bij de Helpdesk Water waarin is aangegeven welke objecten zijn gehanteerd of welke representatieve bodemhoogte/waterdiepte en strijklengtes zijn gehanteerd bij de golfberekeningen. Voor bodemhoogten kan de effectieve strijklengte aangepast worden met behulp van Baseline-*

¹⁵ Golven laten vuil achter waar ze maximaal oplopen op een dijk. Deze rand kan ingemeten worden en is indicatie voor de storm. Door dit te koppelen aan meetstations waar wind, waterstanden en golfmetingen plaats vinden kan een beeld over de frequentie van voorkomen gegeven worden.

*data van de rivieren. Hiervoor moet een serviceverzoek
Gebiedsschematiseringen gedaan worden bij de Helpdesk Water.*

Indien voorliggende eilanden of dammen niet zijn meegenomen in de formele berekening van de hydraulische belastingen, kan de beoordeling resulteren in een conservatiever oordeel dan noodzakelijk. Of deze zijn meegenomen in de analyse, is te vinden in de achtergrondrapportages van de golfanalyses voor de verschillende watersystemen. Om deze te kunnen beoordelen is een gedegen kennis nodig van de achterliggende modellen. De schematisering van de bodem kan aangescherpt worden door het vergelijken van de huidige bodemligging met de gehanteerde bodemligging.

Dit betekent dat de onderliggende modelberekeningen aangepast moeten worden in de bepaling van de hydraulische belastingen met SWAN of Bretschneider [ref 35], [ref 18] en [ref 54].

3.7.3

Geavanceerde analyse

De derde mogelijkheid is een geavanceerde analyse. Bij hydraulische belastingen is binnen de WBI 2017-software het lengte-effect aan het model opgelegd. Dit model is opgesteld op basis van werkelijke dijken in de studie die is uitgevoerd in het kader van Veiligheid Nederland in Kaart. Hoe uniformer de waterkeringen worden (na enkele beoordelings- en ontwerpronden) hoe groter het lengte-effect wordt. Bij twijfel over de waarde van het lengte-effect kan met Hydra-NL de benchmark /referentie voor Hydraulische belastingen [ref 18] een controleberekening worden uitgevoerd waarbij de schematisering niet wordt gewijzigd. Het lengte-effect neemt toe bij onafhankelijke bedreigingen, zoals afvoer, storm, zeewaterstand en bij stormvloedkeringen de keringssituatie (open/dicht).

Een andere mogelijkheid is om nauwkeuriger te kijken naar de belastingduur en het waterstandsverloop. Met name in windgedreven systemen of windgedreven locaties in watersystemen is de belastingduur in werkelijkheid relatief kort. In dergelijke gevallen kan een correctie toegepast worden vanwege de korte duur van de belasting.

4 Schematisering

4.1.1 Eenvoudige toets

In de eenvoudige toets wordt de waterkering niet geschematiseerd voor het afleiden van de hydraulische belastingen.

In deze toets zijn zowel de waterstand als de golfhoogte onafhankelijk van het profiel van de kering.

4.1.2 Gedetailleerde toets

Voor de volgende toetssporen is de ligging, het profiel van de kering en ruwheid van de bekleding van invloed op het afleiden van de belastingparameters:

- Golfklappen op asfaltbekleding
- Grasbekleding afschuiven binnentalud
- Grasbekleding afschuiven buitentalud
- Grasbekleding erosie buitentalud
- Grasbekleding erosie kruin en binnentalud
- Havendammen
- Hoogte kunstwerk
- Niet-waterkerende constructies - Bebouwing
- Stabiliteit steenzetting
- Sterkte en stabiliteit punt- en langsconstructies
- Voorland
- Wateroverdruk bij asfaltbekleding

De ligging, het profiel van de kering en de ruwheid van de kering is van invloed op de hydraulische belastingen voor bekledingen en bij het bepalen van de golfoploop/golfoverslag.

De waterkering wordt geschematiseerd (ligging (dijknormaal), profiel van de kering en de ruwheid van de bekleding) inclusief het voorland of dammen, zoals beschreven in Bijlage I Procedure. De werkwijze staat beschreven in de schematiseringshandleidingen voor bovengenoemde toetssporen.

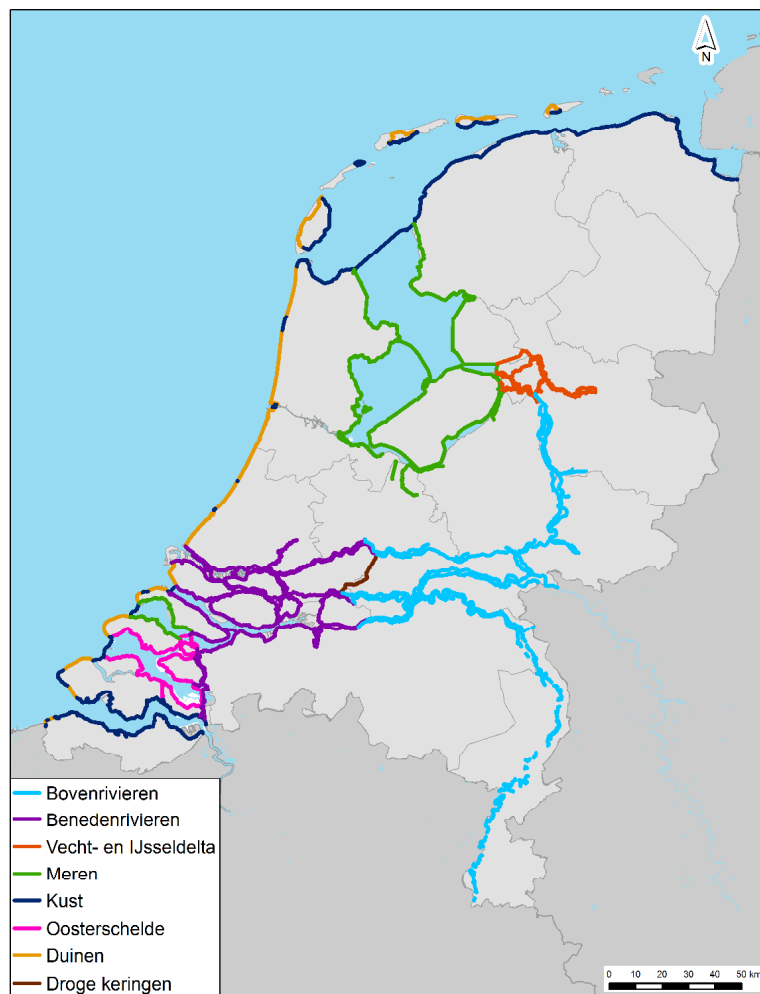
De verwijzing naar de juiste schematiseringshandleiding is te vinden in tabel 2-1 van Bijlage III Sterkte en veiligheid.

5 Belastingmodellen en watersystemen

5.1 Inleiding

De belastingmodellen en watersystemen zijn in de volgende paragrafen nader toegelicht. Hierbij is aandacht voor de waterlichamen, de bedreigingen, de basisstochasten, de achterliggende statistiek en de gebruikte modellen.

Voor meer details en uitgangspunten wordt verwezen naar de achtergrondrapportage HR2017.



Figuur 5-1 Overzichtskartaal belastingmodellen.

5.2 Bovenrivierengebied

5.2.1 Beschrijving

Het Bovenrivierengebied is het deel van de Maas, de Rijn en haar takken, waarbij de waterstanden tijdens hoge afvoergolven niet meer beïnvloed worden door de waterstand op de Noordzee en het IJsselmeer. De getijhoogwaterstijging op zee speelt in dit gebied geen directe rol. Deze is opgenomen in de benedenranden van de WAQUA modellen.

In het Bovenrivierengebied is onderscheid gemaakt tussen de volgende drie watersystemen (zie tabel 5-1 en figuur 5-2):

- Bovenrivieren-Rijn (1)
- Bovenrivieren (Maas) (2)
- Maasvallei¹⁶ (18)

5.2.2 Waterlichamen

Binnen de drie watersystemen zijn de volgende waterlichamen aangemerkt:

- | | |
|-------------------------------|-----------------------|
| • Afgedamde Maas (Waal zijde) | • Maas |
| • Boven-Rijn | • Oude IJssel |
| • IJssel | • Pannerdensch Kanaal |
| • Nederrijn-Lek | • Waal |

¹⁶ In eerdere documenten aangeduid als Limburgse Maas.



Figuur 5-2 Overzichtskartaal watersystemen in het Bovenrivierengebied

5.2.3

Bedreigingen

De waterkeringen in het Bovenrivierengebied worden voornamelijk belast door waterstanden. Hoge waterstanden komen voort uit een hoge afvoer. De bijdrage van de belasting van de waterkering is relatief gering, maar niet verwaarloosbaar.

Bovenrivieren (Rijn) (1)

Het belastingmodel voor het watersysteem Bovenrivieren (Rijn) (1) gaat uit van de Rijnafvoer bij Lobith. Voor deze basisstochast zijn twee situaties beschouwd; de situatie met overstromingen in Duitsland in combinatie met maatregelen om de

overstromingen te beperken en de situatie zonder overstromingen in Duitsland. De eerste situatie is gebruikt voor de WAQUA productieberekeningen [ref 6].

Bovenrivieren (Maas)(2) en Maasvallei (18)

De basisstochasten voor de watersystemen Bovenrivieren¹⁷ (Maas) en Maasvallei zijn identiek. Dit gaat uit van de Maasafvoer bij Borgharen¹⁸/Lith. De indeling van de Maas in twee watersystemen heeft te maken met de aanwezigheid van de dijken in Limburg die overstromen bij extreem hoge afvoeren [ref 6]:

- voor de bepaling van de hydraulische belastingen op de Maasdijken in het watersysteem Bovenrivieren (Maas) in Brabant en Gelderland wordt uitgegaan van de werkelijke dijkhoogten in de Maasvallei. De dijken in de Maasvallei in Nederland zijn daarmee als overstroombaar gemodelleerd bij hoge afvoeren¹⁹.
- voor de bepaling van de hydraulische belastingen van de Maasdijken in het watersysteem Maasvallei (18), zijn de dijken als oneindig hoog verondersteld, consistent met de rest van Nederland.

5.2.4

Voorliggende waterkeringen

Binnen het Bovenrivierengebied zijn voorliggende waterkeringen aanwezig. De dominante bedreigingen per voorliggende waterkering zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 5-1: Voorliggende waterkeringen in het Bovenrivierengebied.

Nr	Naam	Dominante bedreiging (waterlichamen)
224	Heerewaardense Afsluitdijk, incl. Schutsluis Sint Andries	Waal (Bovenrivieren (Rijn) (1))

5.3

Benedenrivierengebied

5.3.1

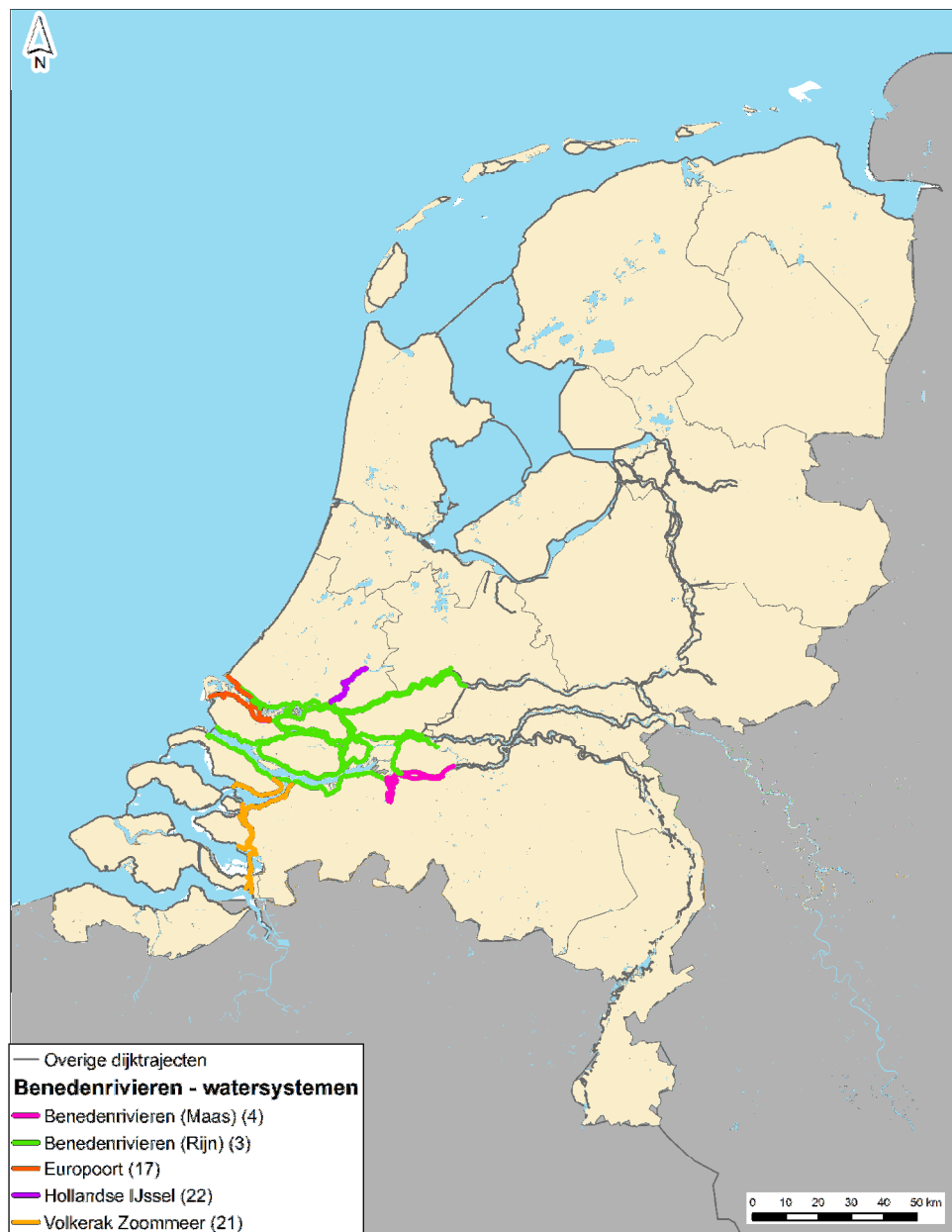
Beschrijving

Onder het Benedenrivierengebied wordt dat deel van de benedenstroomse takken van de Rijn en de Maas verstaan waarvoor, tijdens grote afvoergolven, de waterstanden een significante invloed ondervinden van de waterstanden op de Noordzee.

¹⁷ in Gelderland en Noord-Brabant

¹⁸ Het meetpunt is omstreeks 2010 verlegd van Borgharen naar Sint Pieter. De modelgrens is Borgharen.

¹⁹ Het verschil in normfrequentie (1:300 Maasvallei-1:10.000 Brabant) is circa 1000m³/s. Dat komt neer op orde 1m verschil in waterstand. Daarmee wordt het uitgangspunt van het hanteren werkelijke hoogte van keringen in de Maasvallei voor het berekenen van waterstanden in benedenstroms van de Maasvallei reëel geacht. In WBI 2017 is de keuze gemaakt om voor waterstandsberekeningen stroomafwaarts van de Maasvallei in de Maasvallei uit te gaan van de werkelijke hoogte van de Maasvallei-keringen na uitvoering van Maaswerken. Dit is consistent met de aanpak op de Rijn waarbij in Duitsland ook de werkelijke hoogte van de Rijnkeringen is meegenomen ivm de relatief soepele normen. Op de Maas is het aannemelijk dat, bij de condities voor de dijken die benedenstroms van de Maasvallei relevant zijn, de Maasvalleikeringen zullen instromen. Overigens is binnen de Maasvallei wel van oneindig hoge keringen uitgegaan vanwege het geringe verschil in normfrequenties. Over het geheel bezien zijn de waterstanden op de Maas iets aan de conservatieve kant door bijvoorbeeld het niet meenemen van (het beperkte effect van) overstromingen van de Maas in Wallonie en het hanteren van een vrij smalle Maas modelschematisering.



Figuur 5-3 Overzichtskaart watersystemen in het Benedenrivierengebied

In het Benedenrivierengebied worden de volgende vijf watersystemen onderscheiden (zie tabel 5-1 en figuur 5-3):

- Benedenrivieren (Rijn) (3);
- Benedenrivieren (Maas) (4);
- Europoort (17);
- Volkerak-Zoommeer (21);
- Hollandse IJssel (22).

Het Volkerak-Zoommeer en de Hollandse IJssel zijn gebieden met twee voorliggende keringen en zijn daarom als specifiek watersysteem aangemerkt.

5.3.2

Waterlichamen

Binnen deze vijf watersystemen zijn de volgende waterlichamen aangemerkt:

- | | | | |
|------------------------------|------|---------------------|------|
| • Amer | (4) | • Hollandsch Diep | (3) |
| • Amertak | (4) | • Lek | (3) |
| • Beneden Merwede | (3) | • Nieuwe Maas | (3) |
| • Bergsche Maas | (4) | • Nieuwe Merwede | (3) |
| • (ontpolderde) Biesbosch | (3) | • Nieuwe Waterweg | (17) |
| • Boven Merwede | (3) | • Noord | (3) |
| • Calandkanaal | (17) | • Oude Maas | (3) |
| • Donge | (4) | • Spui | (3) |
| • Dordtsche Kil | (3) | • Steurgat | (4) |
| • Getijde Hollandsche IJssel | (22) | • Volkerak-Zoommeer | (21) |
| • Haringvliet | (3) | • Wantij | (3) |
| • Hartelkanaal | (17) | • Wilhelminakanaal | (4) |

5.3.3

Bedreigingen

In het Benedenrivierengebied worden hoge waterstanden veroorzaakt door een combinatie van hoge afvoeren van de rivieren Rijn en Maas en hoge waterstanden op zee, meer specifiek bij Hoek van Holland, als gevolg van stormopzet en (spring)tij. Ook de opwaaiing door wind boven het Benedenrivierengebied én de aanwezigheid in combinatie met het beheer van de stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg (de Maeslantkering) en in het Hartelkanaal (de Hartelkering) spelen een belangrijke rol bij het optreden van hoge waterstanden. Naast deze stormvloedkeringen zijn er verschillende andere stormvloedkeringen in het Benedenrivierengebied (Hollandse IJssel, Kromme Nol) en inlaten (Volkeraksluizen). De belasting op de waterkering wordt daarnaast beïnvloed door windgolven en voor het Europoortgebied door seiches.

In principe kan een hoge waterstand worden veroorzaakt door een oneindig aantal combinaties van de volgende bedreigingen: het stormvloedpeil te Hoek van Holland, de windrichting, de windsnelheid, de afvoer van de Rijn te Lobith en de afvoer van de Maas te Lith. Hierbij heeft elke combinatie van deze bedreigingen een eigen kans van voorkomen die kan worden bepaald met behulp van de statistieken van voornoemde bedreigingen.

Afhankelijk van de locatie in het benedenrivierengebied spelen de aspecten afvoer, zeewaterstanden/getij, wind en de Europoortkering een belangrijke rol.

Om het systeem te doorgronden, is het van belang om de werking van het systeem te begrijpen:

- *Afvoergebied: dit is het gebied waar de maatgevende situatie nagenoeg volledig wordt bepaald door hoge rivierafvoeren, verdeeld in:*
 - *Rijndominant gebied (watersysteem 3): Dit watersysteem ligt aan de binnenzijde van de Europoortkering. In dit gebied is de invloed van de Rijn groter dan van de Maas. Bij maatgevende omstandigheden zouden de stormvloedkeringen (Maeslantkering en Hartelkering) in de Europoortkering gesloten moeten zijn. Een falende kering heeft een groot effect op de waterstanden in dit watersysteem;*
 - *Maasdominant gebied (watersysteem 4). In dit gebied is de invloed van de Maas groter dan dat van de Rijn. Het betreft de waterkeringen langs de Bergsche Maas en de Maas bovenstrooms van km 246. Dit is afvoergedomineerde deel van de Maas;*
- *Zeegebied: dit is het gebied buiten de Europoortkering, waarbij de maatgevende situatie volledig wordt bepaald door stormvloeden langs de Hollandse kust (watersysteem 17);*
- *Faalkansgebied (watersysteem 3): dit is het gebied waarbij de maatgevende situatie wordt gevormd door een niet-extreme storm in combinatie met een waterstand van ca 3,5 m+NAP te Maasmond in combinatie met het falen van de*

sluiting van de Europoortkering. Dit gebied ligt aan de binnenzijde van de Europoortkering en strekt zich uit tot km 998 op de Nieuwe Maas;

- *Bergingsgebied (watersysteem 3): de maatgevende situatie is een niet-extreme afvoer die samenvalt met een niet-extreme storm die de afvoer vanuit de Rijn- en Maasmonding naar zee enige tijd stremt;*
- *Overgangsgebieden: in de overgangsgebieden is sprake van een combinatie van bovenstaande bedreigingen in wisselende samenstelling. Drie overgangen zijn gedefinieerd (watersysteem 3 en 4):*
 - *de overgang van het faalkansgebied naar het rivierengebied: de rol van de afvoer wordt steeds belangrijker en de rol van de stormopzet minder;*
 - *de overgang van het faalkansgebied naar het bergingsgebied: van open naar dichte stormvloedkeringen;*
 - *overgang van het bergingsgebied naar het afvoergebied: van dichte naar open stormvloedkering waarbij de rol van de afvoer steeds hoger wordt en die van stormopzet terugloopt.*

Bovenstaande is relevant voor zowel het watersysteem Benedenrivieren (Rijn) (3) als voor Benedenrivieren (Maas) (4).

De watersystemen Europoort (17), Volkerak -Zoommeer (21) en Hollandse IJssel (22) zijn bijzondere gebieden en zijn daarom hieronder nader toegelicht.

Europoort (17)

Watersysteem Europoort (17) betreft het gebied aan de buitenzijde van de Europoortkering. Feitelijk maakt de Europoort onderdeel uit van watersysteem Hollandse Kust Midden (12), maar vanwege de rol van deining en seiches is dit gebied als een afzonderlijke watersysteem gedefinieerd. Het watersysteem is uitgewerkt als een variant van het watersysteem Benedenrivieren (Rijn) (3). Het belastingmodel is voor deze watersystemen gelijk.

De keringen sluiten tijdens maatgevende omstandigheden. Het effect van eventuele geopende keringen op de waterstanden aan de zeezijde is minimaal. De keringen zijn daarom niet als stochast meegenomen, zie [ref 66].

Volkerak-Zoommeer (21)

Het belastingmodel voor het watersysteem Volkerak-Zoommeer (21) komt overeen met het belastingmodel voor het Merengebied tot een peil van 2,60 m+NAP bij Rak Noord. Boven deze waterstand heeft het watersysteem de functie van waterbergingsgebied voor de rivieren en maakt daarmee formeel deel uit van het watersysteem Benedenrivieren (Rijn) (3).

Voor het Volkerak-Zoommeer gelden aanvullende hydraulische belastingen in het geval het wordt ingezet als bergingsgebied²⁰.

Hollandse IJssel (22)

Het watersysteem Hollandse IJssel (22) wordt beschermd door twee opeenvolgende stormvloedkeringen; de Maeslantkering en de Algerakering (stormvloedkering Hollandse IJssel). De toestand van de keringen (open /dicht) dienen meegenomen te worden als stochast in het belastingmodel²¹.

5.3.4

Voorliggende waterkeringen

Binnen het Benedenrivierengebied zijn voorliggende waterkeringen aanwezig. De dominante bedreigingen per voorliggende waterkering zijn weergegeven in onderstaande tabel.

²⁰ Beschikbaar in Hydra-NL vanaf halverwege 2017.

²¹ Hiervoor wordt Hydra-NL gebruikt.

Tabel 5-2 Voorliggende waterkeringen in het Benedenrivierengebied.

Nr	Naam	Dominante bedreiging (waterlichamen)
208	Stormvloedkering Nieuwe Waterweg	Europoort (17)
209	Hartelkering	Europoort (17)
210	Stormvloedkering Hollandsche IJssel	Benedenrivieren (Rijn) (3) / Nieuwe Maas
211	Haringvlietdam	Noordzee, zie paragraaf 5.65.6
212	Biesboschsluis	Benedenrivieren (Rijn) (3) / Nieuwe Merwede
213	Afsluitdijk Andel en Wilhelminasluis	Benedenrivieren (Rijn) (3) / Waal
215	Hellegatsdam en Volkeraksluizen	Benedenrivieren (Rijn) (3) / Hollandsch Diep
216	Grevelingendam	Oosterschelde, zie paragraaf 5.7 Volkerak-Zoommeer (22)

5.4 Vecht- en IJsseldelta

5.4.1

Beschrijving

In de Vecht- en IJsseldelta worden de volgende twee watersystemen onderscheiden: (zie figuur 5-4)

- IJsseldelta (5);
- Vechtdelta (6).

De grens tussen de IJssel- en Vechtdelta wordt gevormd door de Spooldersluis en de Ramspolkering (tabel 5-3).

Tabel 5-3 Grenzen van de Vecht- en IJsseldelta.

Waterlichaam	Locatie	Trajecten
IJssel	Rechteroever : km 981(Spooldersluis)	53-2 en 206
	Linkeroever : km 972 (Wapenveld)	52-4 en 11-1
Vecht	Bovenstrooms : km 36 (Ommen)	Overgang naar hoge gronden

Het watersysteem IJsseldelta (5) is het benedenstroomse gedeelte van de IJssel en vormt de schakel tussen het Bovenrivierengebied en het IJsselmeer. De waterlichamen binnen het watersysteem staan onder invloed van de afvoer van de IJssel, de afvoer van de Overijsselse Vecht, het peil op het IJsselmeer en de toestand van de Ramspolkering.

Het watersysteem Vechtdelta (6) bestaat uit het deel van de Overijsselsche Vecht benedenstrooms van Ommen, het Zwarte Water (inclusief het Zwolle-IJsselkanaal), het Zwarte Meer (inclusief het Ganzendiep, de Goot en de Veneriete) en de wateren van Kampereiland.



Figuur 5-4 Overzichtskaart watersystemen in Vecht- en IJsseldelta.

5.4.2

Waterlichamen

Binnen deze watersystemen zijn de volgende waterlichamen aangemerkt:

- IJssel (km 974 tot km 1002) (5)
- Vecht (6)
- Zwarte Meer (6)
- Zwarte Water (6)
- Bypass Kampen (fase 1)²² (5)

5.4.3

Bedreigingen

De Vecht- en IJsseldelta vormen beide een overgang van een riviersituatie naar een meersituatie. De waterstanden van beide systemen zijn gecorreleerd via het

²²Voor de Bypass Kampen fase 1 worden geen hydraulische belastingen afgeleid, deze worden afgeleid bij fase 2, wanneer een openverbinding met het Vossemeer/IJsselmeer is gecreëerd.

Ketelmeer. Als de IJsseldelta hoge waterstanden kent, dan geldt dat ook voor de Vechtdelta.

De Vecht- en IJsseldelta is in complexiteit vergelijkbaar met het Benedenrivierengebied (zie paragraaf 5.3.3). Binnen deze watersystemen kunnen dezelfde deelsystemen worden geïdentificeerd. Variërend over de verschillende watersystemen is de invloed van het meerpeil of de invloed van de rivieraafvoer dominant.

IJsseldelta (5)

In het watersysteem IJsseldelta (5) worden de extreme waterstanden bepaald door een combinatie van een hoge afvoer op de IJssel en stormopzet op het IJsselmeer. De invloed van stormopzet op de waterstanden neemt in stroomopwaartse richting af en heeft invloed tot Olst.

Vechtdelta (6)

De waterstand op de Overijsselse Vecht is voornamelijk gedomineerd door afvoer. In benedenstroomse richting gaat de wind een steeds grotere rol spelen. Het Zwarte Water en het Zwarte Meer zijn windgedomineerde systemen met een bergende functie als de Ramspolkering is gesloten.

Het buitendijkse gebied Kampereiland kan zowel bedreigd worden door het vollopen van het gebied achter de Ramspolkering (door berging) als door het overlopen van de waterkering tussen IJsselmuiden en Ramspol.

Wanneer de Ramspolkering is gesloten, zijn de bedreigingen voor de Vechtdelta niet gelijk aan die van de IJsseldelta.

Binnen het watersysteem Vechtdelta (6) ligt een overgang tussen het deel wat gedomineerd wordt door afvoer (vergelijkbaar met het Bovenrivierengebied) en het deel dat gedomineerd wordt door waterstand en wind. Deze overgang ligt ter hoogte van Dalfsen (km 45).

5.4.4

Voorliggende waterkeringen

Binnen de Vecht- en IJsseldelta zijn voorliggende waterkeringen aanwezig. De dominante bedreigingen per voorliggende waterkering zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 5-4 Voorliggende waterkeringen in de Vecht- en IJsseldelta.

Nr	Naam	Dominante bedreiging (waterlichamen)
225	Ramspolkering	IJsseldelta IJsselmeer, zie paragraaf 0
206	Spoolersluis	IJsseldelta
202	Kadoelersluis	Zwarte Meer (Vechtdelta)

5.5

Merengebied

5.5.1

Beschrijving

Tot het Merengebied behoren het IJsselmeer (7), het Markermeer (8), het Veluwerandmeer (19) en de Grevelingen (20) en de waterlichamen die in directe open verbinding staan met deze meren.

De volgende watersystemen maken onderdeel uit van het Merengebied (zie tabel 5-11 en figuur 4-5):

- IJsselmeer (7);
- Markermeer (8);
- Veluwerandmeer (19);
- Grevelingen (20).

5.5.2

Waterlichamen

Binnen deze watersystemen zijn de volgende waterlichamen aangemerkt:

- | | | | |
|--------------|-----|------------------|------|
| • IJsselmeer | (7) | • Nijkerkernauw | (8) |
| • Ketelmeer | (7) | • IJmeer | (8) |
| • Vossemeer | (7) | • Eem | (8) |
| • Markermeer | (8) | • Veluwerandmeer | (19) |
| • Gooimeer | (8) | • Grevelingen | (20) |
| • Eemmeer | (8) | | |



Figuur 5-5 Overzichtskarten watersystemen in het Merengebied.

5.5.3

Bedreigingen

De hydraulische belasting op de waterkeringen langs de meren wordt veroorzaakt door hoge meerpeilen (door hoge watertoevoer in combinatie met spuibeperkingen),

harde wind (opwaaiing en golven) of een combinatie daarvan. In principe kan een belasting op een waterkering worden veroorzaakt door een oneindig aantal combinaties van de bedreigingen meerpeil en wind (bestaande uit windrichting en windsnelheid). Hierbij heeft elke combinatie van deze bedreigingen een eigen kans van voorkomen, die bepaald kan worden met behulp van de statistiek van voornoemde bedreigingen.

5.5.4

Voorliggende waterkeringen

Binnen het Merengebied zijn voorliggende waterkeringen aanwezig. De dominante bedreigingen per voorliggende waterkering zijn weergegeven in de onderstaande tabel.

Tabel 5-5 Voorliggende waterkeringen in het Merengebied .

Nr	Naam	Dominante bedreiging (waterlichamen)
201	Afsluitdijk	Waddenzee, zie paragraaf 5.6
204	Houtribdijk	tweezijdig
205	Nijkerkersluis	Markermeer
225	Ramspolkering	IJsselmeer
234 / 227	Roggebotsluis ^a / Reevesluis	IJsselmeer
214	Brouwersdam	Noordzee, zie paragraaf 5.6
216	Grevelingendam	Oosterschelde (zuidelijk deel); Volkerak-Zoommeer (noordelijk deel) ^b , zie paragraaf 5.7

- De Roggebotsluis komt in fase II van het project IJsseldelta Zuid te vervallen. De voorliggende waterkering wordt in dat geval de nog te realiseren Reevesluis naar verwachting op 31-12-2022;
- De grens ligt bij de aansluiting van de Philipsdam op de Grevelingendam.

5.6

Kustgebied

5.6.1

Beschrijving

Het Kustgebied wordt gevormd door de Noordzee, Waddenzee en Westerschelde. De maatgevende situatie wordt in het Kustgebied volledig bepaald door hoge stormvloed en langs de Hollandse kust in combinatie met het getij en golfcondities.

Het Kustgebied is opgedeeld in de volgende zes watersystemen (zie tabel 5-1 en figuur 5-6):

- Waddenzee Oost (9)
- Waddenzee West (10)
- Hollandse Kust Noord (11)
- Hollandse Kust Midden (12)
- Hollandse Kust Zuid (13)
- Westerschelde (15)

De Oosterschelde valt vanwege de Oosterscheldekering niet binnen het belastingmodel Kustgebied en is apart toegelicht in paragraaf 5.7.

5.6.2

Waterlichamen

Binnen deze watersystemen zijn de volgende waterlichamen aangemerkt:

- Eems-Dollard
- Waddenzee
- Noordzee (Hollandse kust)
- Zuidwestelijke Delta: zee en Westerschelde



Figuur 5-6 Overzichtskartaal watersystemen in het Kustgebied.

5.6.3

Bedreigingen

De waterkeringen langs de Noordzee, de Westerschelde en de Waddenzee worden belast door waterstanden en windgolven. De waterstanden en windgolven worden veroorzaakt door stormvloedpeilen (op de Noordzee) en extreme windsnelheden. Het belastingmodel is identiek voor al deze locaties.

5.6.4

Voorliggende waterkeringen

Binnen het Kustgebied zijn voorliggende waterkeringen aanwezig. De dominante bedreigingen per voorliggende waterkering zijn weergegeven in tabel 5-6

Tabel 5-6 Voorliggende waterkeringen in het Kustgebied .

Nr	Naam	Dominante bedreiging (waterlichamen)
201	Afsluitdijk	Waddenzee
211	Haringvlietdam	Noordzee
214	Brouwersdam	Noordzee
217	Sluizen kanaal door Zuid-Beveland te Hansweert	Westerschelde
218	Oosterscheldekering	Noordzee
223	Zeedijk Paviljoenpolder	Westerschelde

5.7 Oosterschelde

5.7.1 Beschrijving

De Oosterschelde is als apart belastingmodel aangeduid vanwege de grote invloed van de Oosterscheldekering. De Oosterschelde bestaat uit één watersysteem, de Oosterschelde (14), zoals weergegeven in tabel 5-1 en figuur 5-7.

In tegenstelling tot de andere watersystemen in het Kustgebied wordt de waterstand in de Oosterschelde beperkt door de Oosterscheldekering. Dit heeft gevolgen voor de maximale waterstanden en de bijbehorende golfbelastingen. Het watersysteem Oosterschelde wordt zeewaarts begrensd door de Oosterscheldekering en landwaarts door Noord- en Zuid-Beveland, Schouwen-Duiveland, Tholen, St. Philipsland, de Oesterdam, de Philipsdam en de Grevelingendam.

5.7.2 Waterlichamen

Het watersysteem Oosterschelde bevat als waterlichaam alleen de Oosterschelde.



Figuur 5-7 Overzichtskaart watersysteem in de Oosterschelde.

5.7.3

Bedreigingen

Waterkeringen langs de Oosterschelde worden belast door waterstanden en windgolven. Deze worden veroorzaakt door stormvloedpeilen op de Noordzee en extreme windsnelheden.

5.7.4

Voorliggende waterkeringen

Binnen de Oosterschelde zijn voorliggende waterkeringen aanwezig. De dominante bedreigingen per voorliggende waterkering zijn weergegeven in tabel 5-7.

Tabel 5-7 Voorliggende waterkeringen de Oosterschelde.

Nr	Naam	Dominante bedreiging (waterlichamen)
174	Zandkreekdam	Oosterschelde
199	Philipsdam	Oosterschelde
216	Grevelingendam	Oosterschelde Volkerak-Zoommeer ^a , zie paragraaf 5.3
217	Sluizen kanaal door Zuid-Beveland te Hansweert	Westerschelde, zie paragraaf 5.6
218	Oosterscheldekering	Noordzee, zie paragraaf 5.6
219	Oesterdam	Oosterschelde

a. De grens ligt bij de aansluiting van de Philipsdam op de Grevelingendam.

5.8 Duinen

5.8.1

Beschrijving

Duinen zijn feitelijk geen watersysteem, maar zijn in het WBI 2017 wel als zodanig aangemerkt (in tabel 1-1). Dit watersysteem omvat de duinen langs het hele kustgebied. De maatgevende situatie wordt, evenals voor het kustgebied, volledig bepaald door stormvloed en in combinatie met het getij en golfcondities.

Het watersysteem bevat duinen langs de Zeeuwse kust, de Hollandse kust en de Waddeneilanden, zoals weergegeven op onderstaande kaart in tabel 5-1 en figuur 5-8.



Figuur 5-8 Overzichtskaart watersysteem in Duinen en hybride duin keringen.

5.8.2

Waterlichamen

Het watersysteem Duinen bevat als waterlichaam de Noordzee en de monding van de Westerschelde.

5.8.3

Bedreigingen

De duinen langs Zeeuwse kust, Hollandse kust en Waddeneilanden worden belast door waterstanden en windgolven, veroorzaakt door stormvloedpeilen (op de Noordzee) en extreme windsnelheden.

Zeewaterstanden en golfcondities zijn invoerparameters voor duinafslagmodellen.

De zeewaterstandsstatistiek voor duinen is identiek aan die voor het Kustgebied. De golfcondities (golfhoogte H_s en golfperiode T_p) worden zonder modellen bepaald ten behoeve van de duinafslagmodellen op diepwater op de doorgaande 20 m-NAP dieptelijn [ref 34 en ref 47]. In de zuidwestelijke delta worden correcties toegepast voor ondiepe voorlanden en geulen. Soortelijke getallen zijn gegeven voor de Waddeneilanden. Echter daar is het alleen beschikbaar voor de toets op maat [ref 41].

Referenties

Achtergrondrapporten

1. Deltares, Basisrapport WTI 2017, Waal, JP de, (redactie) (31 januari 2016)
2. Deltares, Uitgangspunten productieberekeningen WTI2017, Aansturing, schematisaties en uitvoerlocaties, 1207807 -009-HYE-0006, definitief, okt-13
3. Deltares, Uitgangspunten productieberekeningen WTI2017, Aanvulling op uitgangspunten vastgesteld in 2013, 1209433-001-HYE-0005, concept, mei-14
4. TAW, Meer, van der J.W. Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken, 2002
5. Deltares, Chbab H Modelonzekerheid belastingen, Wettelijk Toetsinstrumentarium WTI-2017, (2016)
6. Deltares, Chbab H. Basisstochasten WTI-2017, Statistiek en statistische onzekerheid, 1209433-012-HYE-0007, voorlopig, 2-dec-15
7. RWS-WVL, van Vledder, G (2014) Golfbelastingen in havens en afgeschermd gebied, een eenvoudige methode voor het bepalen van golfbelastingen voor het toetsen van waterkeringen, RWS.2014.001, -,
8. Deltares, WTI2017 – CTK van Bree, B. (2015) Functional design failure mechanism height of structures, 1209438-000-GEO-0024-gbh,
9. Deltares, WTI – Diermanse F (2016) Onzekerheden, Overzicht van belasting- en sterkteonzekerheden in het wettelijk toetsinstrumentarium,
10. HKV, Geerse, C.P.M. (2010) Overzichtsdocument probabilistische modellen zoete wateren, Hydra-VIJ, Hydra-B en Hydra-Zoet,
11. HKV, Geerse C.P.M. (2011) Hydra-Zoet for the fresh water systems in the Netherlands Probabilistic model for assessment of dike heights,
12. HKV, J. Ansink, J, Kamp R, Geerse C.P.M. (2014) HKV, Gebruikershandleiding Waterstandsverloop ‘
13. Deltares, Caires, S. (2009) Extreme wind statistics for the inference of the hydraulic boundary conditions for the Dutch primary water defences. SBW-Belastingen: Phase 2 of subproject ‘Wind modelling’
14. KNMI, Rijksoort P.J. 1983 A compound Weibull model for the description of surface wind velocity distributions, WR 83-13,
15. Deltares, Hegnauer M., Beersma, J.J, Boogaard, H.F.P. van den Buishand, T.A., Passchier, R.H., Lammersen R. and Buiteveld, H. (2016) Generator of Rainfall and Discharge Extremes (GRADE) for the Rhine and Meuse basins - Final report of GRADE 2.0
16. Deltares, Hegnauer, M. 2015 Onzekerheidsanalyse hydraulica in GRADE. 1220082-010-ZWS-0001. 2015
17. Deltares, Roscoe C. et al. en Diermanse, F, Balen, W..... Hydra-Ring Scientific Documentation. Deltares & TNO-Bouw. Deltares rapport 1206006-004. 2016
18. HKV, Hydra-NL Duits, M Gebruikershandleiding,(2016)
19. Rijkswaterstaat Oost-Nederland, Rolf van der Veen Betrekkingslijnen Rijn, versie 2010, 14-7-201.
20. Rijkswaterstaat Zuid-Nederland, Rolf van der Veen Bijsluit betrekkinglijnen 2013_2014, geldigheidsbereik 1 november 2013-31 oktober 2014.
21. Rijkswaterstaat Bouwdienst. Sipke van Manen Prestatiepeilen Oosterschelde. Kenmerk: PPEILSVKO-T-2. 24 april 2008. Definitief versie 2.0.

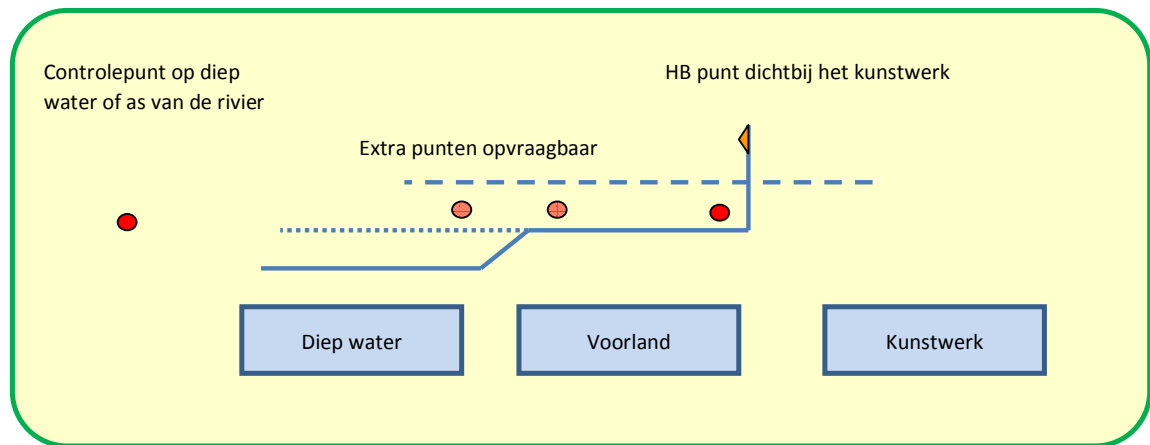
22. Fokkink, R.J. Onafhankelijk Onderzoek Markermeer, Fase-rapport 1A, deelonderzoek meerpeilstatistiek.
23. Rijkswaterstaat(2004). ProMoVera: Probabilistisch Model voor de Veluwerandmeren. RIZA werkdocument 2004.089X. 23 april 2004.
24. HKV. Hydraulische randvoorwaarden voor categorie c-keringen. Achtergrondrapport keringen langs het Volkerak-Zoommeer (dijkring 25,27,31,33, 34). PR1322. November 2008.
25. HKV. Hydraulische randvoorwaarden voor categorie c-keringen. Achtergrondrapport keringen langs het Grevelingenmeer (dijkring 25 en 26). PR1322. November 2008.
26. HKV. Hydraulische randvoorwaarden voor categorie c-keringen. Achtergrondrapport Diefdijklinie (dijkring 16). PR1322. November 2008.
27. Deltares, Hydra Design document, version 2, Draft, A. Markus, e.a, december 2011. 1204145-004-ZWS-0003.
28. Rijkswaterstaat, J.P. de Waal. 1999, Achtergronden Hydraulische Belastingen Dijken IJsselmeergebied. Een ontwerpmethodiek, RIZA, , Deelrapport 9: Modelling dammen, voorlanden en golfoploop. RIZA rapport 99.046.
29. Deltares. Functional Design for the implementation of load uncertainties in Hydra-Ring., February 2014.
30. Rijkswaterstaat, 1985. Referentiewaarden waterstanden. Rijkswaterstaat.
31. Deltares, WTI2017 datamanagement watersystemen, Uitgangspunten notitie ontwerp hydraulische belasting database, 3-dec-13
32. Software Package: DaF module, Dam and Foreshore module, Theoretical Documentation Jan Kramer, 2016
33. HKV Lijn in water (div. auteurs), Rekenmodel Dijkbekleding Hydra-Q, 3 delen (Definitiestudie, Technische Documentatie, Handleiding), 1999/2006
34. Semi-probabilistisch toetsvoorschrift voor duinen ten behoeve van WTI2017 1220080-008 © Deltares, 2015, B Ferdinand Diermanse Pieter van Geer
35. Input database for the Bretschneider wave calculations for narrow river areas In preparation for the WTI-2017 production runs. Amaury Camarena Calderon Alfons Smale Joana van Nieuwkoop Jamie Morris
36. Waterstandsverlopen meren; IJsselmeer en Markermeer Deltares, rapport 1204143-003-ZWS-0027, 4 juli 2012 Chbab, Houcine (2015)
37. Deltares, 2015. Waterstandsverlopen WTI-2017 voor de kustgebieden. Deltares rapport 1220082-0002-HYE-0003, december 2015 (Chbab, E.H.).
38. Deltares, 2016c. Waterstandsverlopen Benedenrivierengebied voor WTI2017. Deltares rapport 1220082-002-HYE-0004, februari 2016 (A. Kieftenburg en D. Stuparu).
39. Deltares, 2016b. Waterstandsverlopen WTI-2017 voor de Vecht- en IJsseldelta. Deltares rapport 1220082-0002-HYE-0005, 2016 (Chbab, E.H. en D. Stuparu).
40. Reijmerink S.P. en M.P.C. de Jong, 2014. Actualisatie seiches Rotterdam WTI2017 Waterstandsafhankelijke seiche-waarden. Deltares rapport 1209433-006-HYE-0002.
41. Deltares (2012). Achtergrondrapportage HR2011 voor zee en estuaria. Deltares rapport 1204143-002, maart 2012 (C. Gautier en J. Groeneweg).
42. Deltares (2016f). Hydraulische Belastingen Meren. Deltares rapport 1230087-001-HYE-0001, juni 2016 (N. Kramer, A. Smale, J. den Bieman, J. Groeneweg).
43. Deltares (2016g). Hydraulische Belastingen Kust. Deltares rapport 1230087-002-HYE-0001, juni 2016 (J. Groeneweg, J. den Bieman).
44. Deltares (2016h). Hydraulische Belastingen Rijnakken en Maas. Deltares rapport 1230087-003-HYE-0001, juni 2016 (H. Chbab, J. den Bieman, J. Groeneweg).
45. Deltares (2016i). Hydraulische Belastingen Benedenrivieren. Deltares rapport 1230087-004-HYE-0001, augustus 2016 (A. Smale, J. den Bieman, H. Chbab).

46. Deltares (2016j). Hydraulische Belastingen Vecht- en IJsseldelta. Deltares rapport 1230087-005-HYE-0002, augustus 2016 (T. Botterhuis, J. den Bieman, H. Chbab).
47. Deltares 1220082-004-HYE-0003-r-Hydraulische Belastingen 2017 voor Duinwaterkeringen.
48. 1230087-008-HYE-0001-v1-r-Achtergrondrapport Hydraulische Belastingen, Houcine Chbab
49. Deltares (2016k). Golfbelasting op bekledingen in Hydra-Ring. Deltares rapport 1230087-000-HYE-0004, augustus 2016 (J. den Bieman).
50. Schematiseringshandleiding hydraulische condities bij de dijkteen WBI 2017. Hans de Waal
51. Schematiseringshandleiding hoogte WBI 2017 Hans de Waal
52. Seiches - Invloed op waterkeringen, beperkingen in opwekking en analyse waterstandsmetingen aug 2016, M.P.C. de Jong, S.P. Reijmerink en J.v.L. Beckers.
53. Windmodellering voor bepaling waterstanden en golven Een analyse van de bouwstenen RIZA werkdocument 2003.118. Hans de Waal
54. Hydra Tools Gebruikshandleiding HYDRA TOOLS juli 2005 versie 1.3.0 Alkyon P. Santbergen.
55. Klein Breteler, M., 2016. Documentatie Steentoets2015. Excel-programma voor het berekenen van de stabiliteit van steenzettingen. Deltares rapport 1209832-006-0019, oktober 2016.

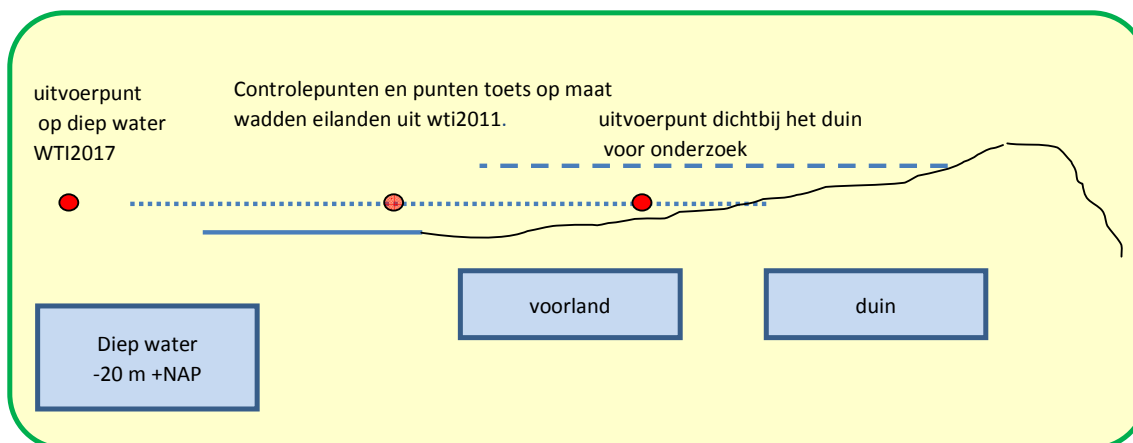
Appendix A Uitvoerpunten per type kering

A.1 Uitvoerpunten per type kering

Per type waterkering of toets zijn uitvoerlocaties op een andere afstand noodzakelijk.

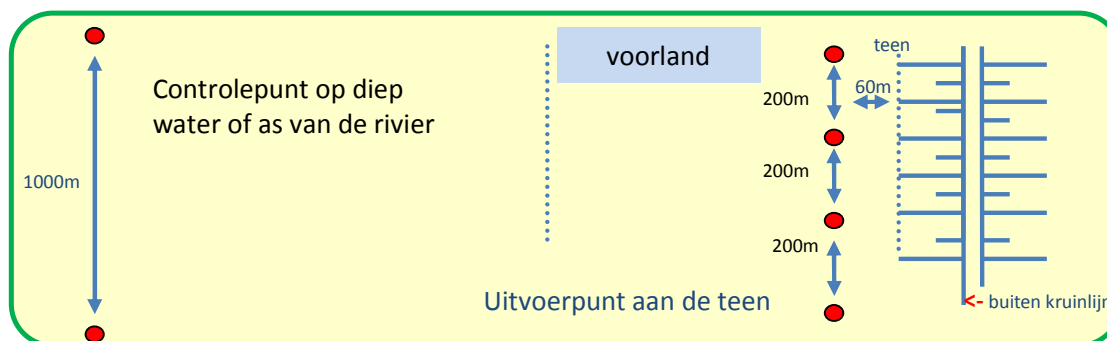


Figuur A-1 Uitvoerpunten van de hydraulische belastingen (HB) bij een kunstwerk (zijaanzicht).

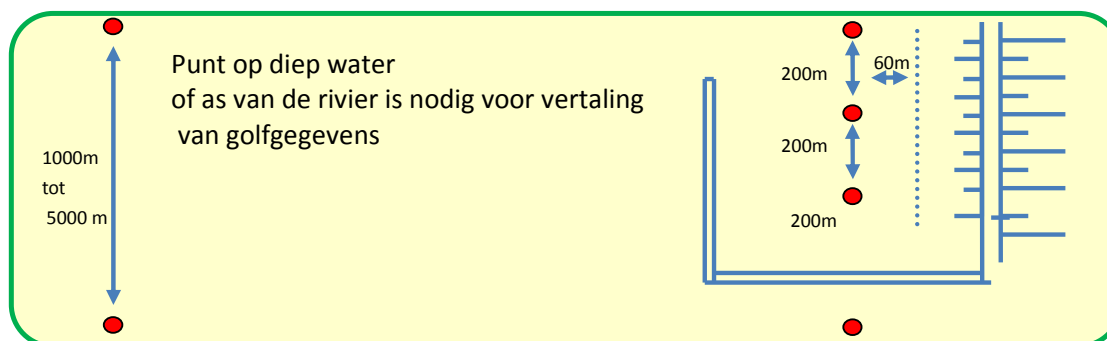


Figuur A-2 Uitvoerpunten van de HB, zijaanzicht bij duinen.

Zie ook [ref 47]. Bij de Hollandse en Zeeuwse kust zijn er alleen punten op diep water met een correctiefactor voor de ondiepten in Zeeland. Bij de Waddenzee liggen voor de toets op maat met D++ de punten dicht bij de duin, op ongeveer -5 m + NAP. Informatie hierover is beschikbaar in WTI2011 /CR2011[ref 41]



Figuur A-3 Uitvoerpunten van de hydraulische belastingen bij een dijk.

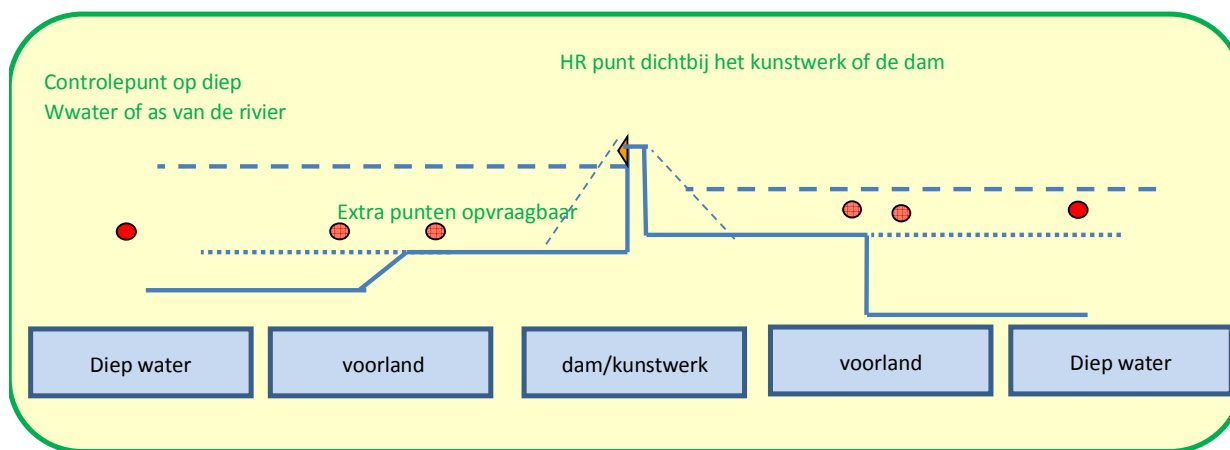


Figuur A-4 Uitvoerpunten van de Hydraulische Belastingen, bovenaanzicht bij een havendam.

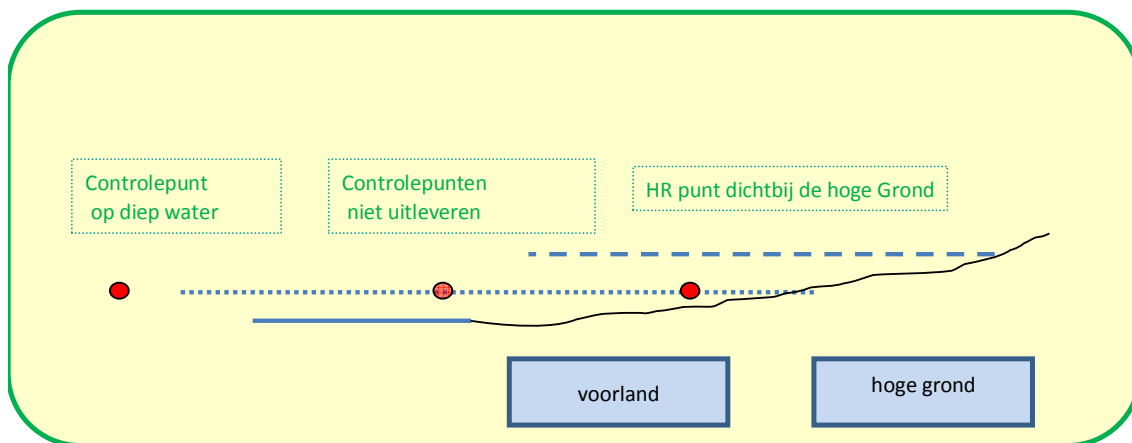
Bij havendammen die integraal een deel uitmaken van de waterkeringen zijn de diepwaterpunten essentieel. De vertaling van de belasting bij grote havenbekkens naar binnen de haven is een onderdeel van toets op maat [ref 7].

A.2 Speciale uitvoerlocaties

Dergelijke punten kunnen worden opgevraagd via de Helpdesk Water²³.



Figuur A- 5 Uitvoerpunten van de HR bij een kunstwerk (zijaanzicht)

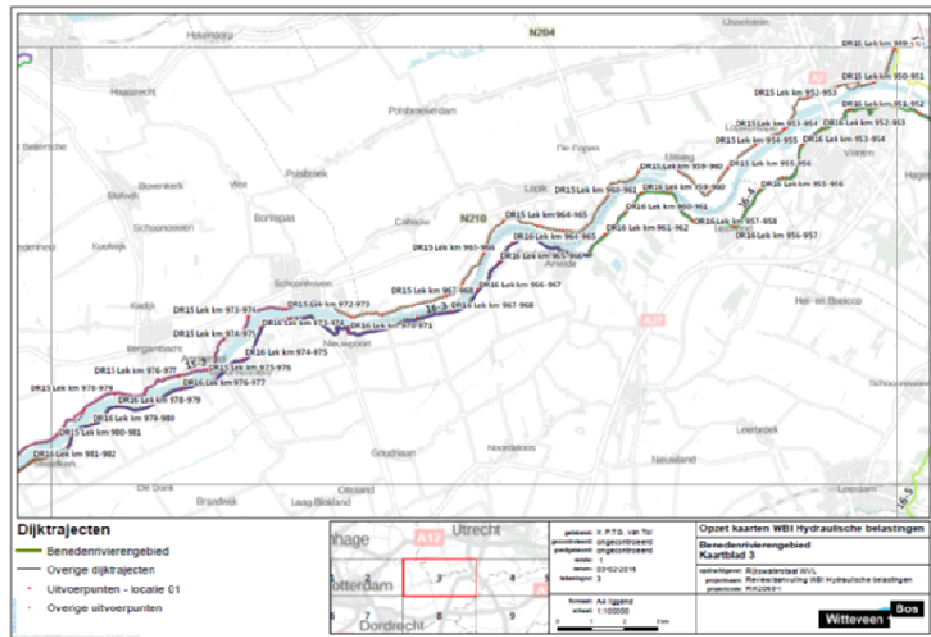


Figuur A- 6 Uitvoerpunten van de Hydraulische Belastingen , zijaanzicht bij hoge gronden

Het is aan te raden de uitvoerpunten niet te dicht op hoge gronden lijn te kiezen. Dan is er geen golfbelasting, kies bijvoorbeeld op 50 of 100 meter afstand. Dit is een iteratief proces.

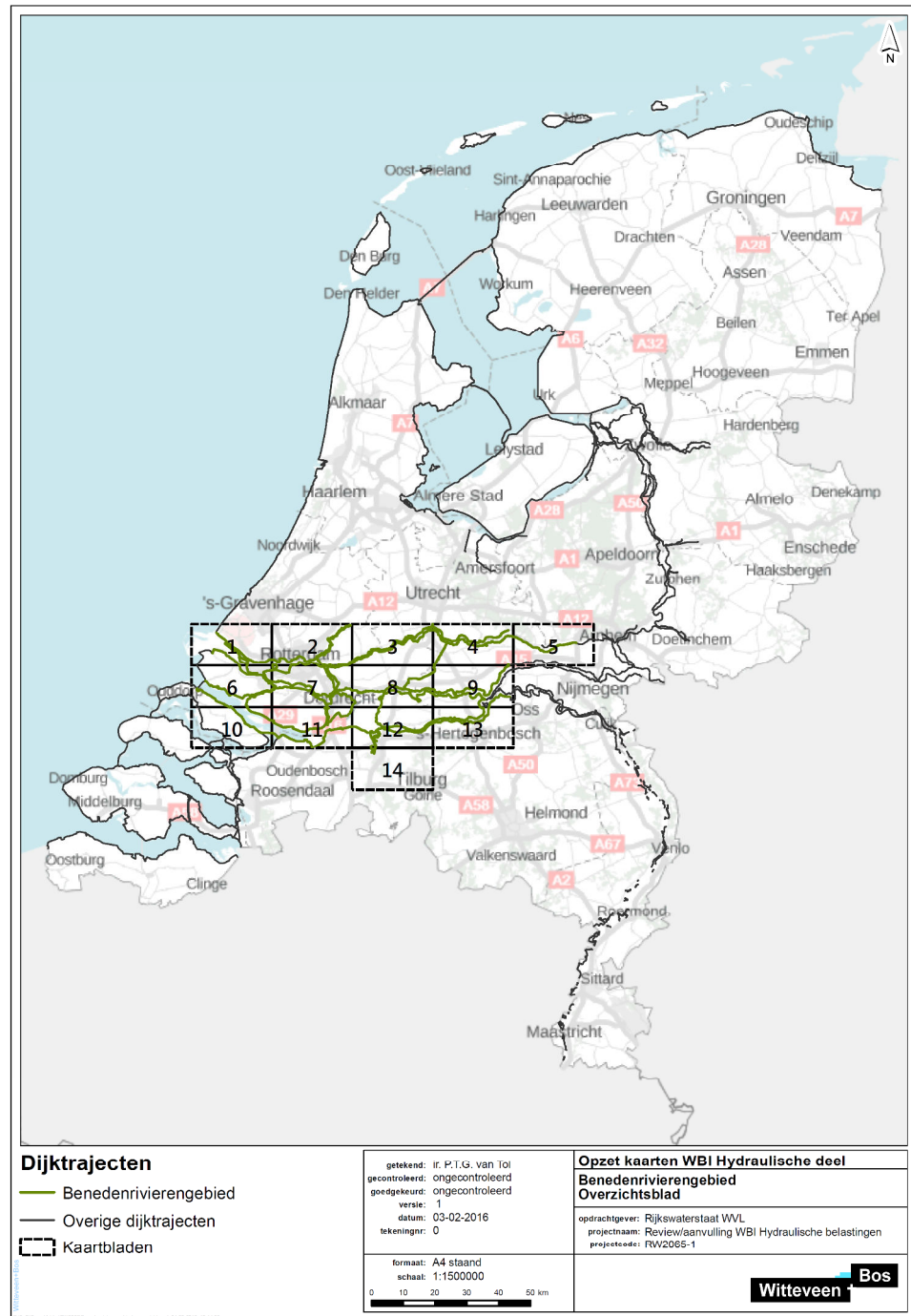
²³ www.helpdeskwater.nl

Bovenrivierengebied



Figuur A- 7 Voorbeeld voor de Lek.

A.4 Benedenrivierengebied





Appendix B Overzicht waterbeweging- en golfmodellen

Er zijn diverse (numerieke) waterbewegingsmodellen en golfmodellen ingezet om de bedreigingen te vertalen naar hydraulische belastingen op de teen van een waterkering. Tabel B-1 geeft een samenvatting van de toegepaste modellen.

Tabel B-1: Toegepaste modellen per watersysteem

Belastingmodel	Watersysteem	Model	
		Waterstand	Golven
Bovenrivierengebied	1. Bovenrivieren (Rijn)	WAQUA	Bretschneider
	2. Bovenrivieren (Maas)		
	18. Maasvallei		
Benedenrivierengebied	3. Benedenrivieren (Rijn)	WAQUA	SWAN/ Bretschneider ^a
	4. Benedenrivieren (Maas)		SWAN
	17. Europoort		
	21. Volkerak-Zoommeer	WAQUA	Bretschneider
	22. Hollandse IJssel	SOBEK	Bretschneider
Vecht en IJssel-delta	5. IJsseldelta	WAQUA	SWAN/ Bretschneider ^b
	6. Vechtdelta		
Merengebied	7. IJsselmeer	WAQUA	SWAN
	8. Markermeer		HISWA/SWAN/ Bretschneider ^c
	19. Veluwerandmeer	WAQUA	Bretschneider
	20. Grevelingen	WAQUA	Bretschneider
Kustgebieden (dijken)	9. Waddenzee Oost	triangulaire interpolatie methode	SWAN
	10. Waddenzee West		
	11. Hollandse Kust Noord		
	12. Hollandse Kust Midden		
	13. Hollandse Kust Zuid		
	15. Westerschelde		
Oosterschelde (dijken)	14. Oosterschelde	IMPLIC ^d	SWAN
Duinen	16. Duinen	triangulaire interpolatie methode	marginale statistiek
Droge keringen	23. Diefdijk	n.v.t. (toets op maat)	

- Binnen het Benedenrivierengebied wordt SWAN alleen toegepast voor de brede wateren van de watersystemen Benedenrivieren (Rijn) (3), de brede wateren van Benedenrivieren (Maas) (4) en Europoort (17). Voor de overige delen wordt Bretschneider toegepast.
- Binnen de Vecht- en IJsseldelta wordt SWAN toegepast het Zwarte Meer (onderdeel van het watersysteem IJsseldelta (5)). Voor de overige delen van de watersystemen IJsseldelta (5) en voor de Vechtdelta (6) wordt Bretschneider gehanteerd.
- Binnen het Merengebied wordt SWAN toegepast voor het watersysteem IJsselmeer (7) en voor een deel van het IJmeer (onderdeel van het watersysteem Markermeer (8)). Bretschneider wordt toegepast voor de Eem (onderdeel van het watersysteem Markermeer (8)). Voor de overige delen van het Markermeer (8) wordt HISWA toegepast.
- Zie rapport Prestatiepeilen Oosterschelde [ref 21].