

## FACTSHEET

Aan : Kennisplatform Risicobenadering  
Opgesteld door : Jan Tigchelaar  
i.s.m. : Ruben Jongejan, Jan Blinde, Han Knoeff, Bob van Bree  
Gereviseerd door : Marieke de Visser en Robert Vos  
Kopie aan : -  
Datum : 15-03-2018  
Versie : 2  
Onderwerp : Omgang met buitenwaartse macrostabiliteit

**Kennisplatform  
Risicobenadering**

Zuidersluis 1  
3439 LA Nieuwegein  
Postbus 2232  
3500 GE Utrecht

[kpr@rws.nl](mailto:kpr@rws.nl)

### 1 Inleiding

Bij het Kennisplatform Risicobenadering zijn meerdere vragen binnengekomen omtrent de omgang met macrostabiliteit buitenwaarts in de nieuwe overstromingskansbenadering. Omdat de antwoorden generiek zijn en het vermoeden bestaat dat de gesignaleerde onduidelijkheden bij meerdere beheerders leven, is deze factsheet opgesteld.

In hoofdstuk 2 wordt een korte beschrijving van het faalmechanisme macrostabiliteit buitenwaarts gegeven, waarna in hoofdstuk 3 wordt aangegeven op welke wijze de eis voor een doorsnede kan worden afgeleid. Tevens worden aandachtspunten gegeven waarbij in een nadere beschouwing rekening mee kan worden gehouden. Dit wordt nader uitgewerkt in hoofdstuk 4, waar wordt aangegeven op welke wijze de eis op doorsnedeniveau kan worden aangescherpt. Tevens wordt hiervan een voorbeeld gegeven. In hoofdstuk 5 ten slotte worden aandachtspunten bij de schematisatie van het faalmechanisme besproken. In de schematisatie valt namelijk vaak ook nog veel te winnen.

Opgemerkt wordt dat daar waar in dit factsheet wordt gesproken over 'het OI2014' hiermee versie 4 van dit document bedoeld wordt.

### 2 Korte beschrijving faalmechanisme macrostabiliteit buitenwaarts

Macroinstabiliteit buitenwaarts is het faalmechanisme waarbij grote delen van de buitenwaartse zijde van een grondlichaam afschuiven onder invloed van een hoge waterstand in het grondlichaam na een snelle val van het buitenwater of na extreme neerslag. Er kan vervolgens een overstroming optreden als er binnen de hersteltijd een hoogwater optreedt dat tot een overstroming leidt. Ook binnen de overstromingskansbenadering is macrostabiliteit buitenwaarts daarom een relevant faalmechanisme. Omdat een buitenwaartse afschuiving niet direct leidt tot een overstroming, is sprake van een indirect faalmechanisme. Deze wordt in het WBI2017 (en dus ook in het OI2014) echter behandeld als ware het een direct faalmechanisme. Door rekening te houden met de kans op een overstroming in geval van een buitenwaartse afschuiving, wordt de kans op een buitenwaartse afschuiving direct gerelateerd aan een faalkanseis (met falen = overstroming).

De faaldefinitie voor macrostabiliteit buitenwaarts luidt:

*Er is sprake van falen als gevolg van macrostabiliteit buitenwaarts indien een afschuiving optreedt aan de buitenwaartse zijde van een grondlichaam én er vervolgens binnen de hersteltijd een hoogwater optreedt dat tot een overstroming leidt.*

### 3 Bepaling eis op doorsnedeniveau en schadefactor

#### 3.1 Bepaling eis op doorsnedeniveau

Het uitschrijven van de faaldefinitie in formulevorm leidt tot de volgende formule:

$$P_{f, stbu} = P_{stbu} \cdot P_{f|stbu} \quad (1)$$

waarin

$P_{f, stbu}$  Kans op falen als gevolg van macro-instabiliteit buitenwaarts (per jaar)

$P_{stbu}$  Kans op het optreden van een buitenwaartse macro-instabiliteit (per jaar)

$P_{f|stbu}$  Kans op falen (een overstroming) gegeven een buitenwaartse macro-instabiliteit (-)

De kans op falen als gevolg van macroinstabiliteit buitenwaarts moet kleiner zijn dan de eis op doorsnedeniveau welke wordt bepaald met de volgende formule:

$$P_{f, stbu} \leq P_{eis, dsn} = \frac{P_{max} \cdot \omega}{N} \quad (2)$$

waarin

$P_{eis, dsn}$  Eis die per doorsnede aan de kans op macroinstabiliteit buitenwaarts wordt gesteld (per jaar)

$P_{max}$  Maximaal toelaatbare overstromingskans van het dijktraject, in de wet aangeduid als ondergrens (per jaar)

$\omega$  Faalkansruimtefactor voor het betreffende faalmechanisme (-)

$N$  Lengte-effectfactor, te bepalen volgens formule 1.2 uit het OI2014 (-)

Dit betekent dat de eis aan kans op het optreden van een buitenwaartse macro-instabiliteit de volgende is:

$$P_{stbu} = \frac{P_{f, stbu}}{P_{f|stbu}} = \frac{P_{max} \cdot \omega}{N \cdot P_{f|stbu}} \quad (3)$$

Het is gebruikelijk om voor zowel macrostabiliteit binnen- als buitenwaarts hetzelfde faalkansbudget te gebruiken [ENW, 2007]. Hiermee wordt aangesloten op de aanpak die voor dit mechanisme vooralsnog is gekozen in het WBI en waarmee de werkwijze uit het Addendum TRWG [4] is gecontinueerd. Voor de faalkansruimtefactor  $\omega$  kan dus 0,04 worden aangehouden als de standaard-faalkansbegroting uit het OI2014 wordt gehanteerd.

Bij het ontwerp wordt als eerste benadering een kans op een overstroming gegeven buitenwaarts macrostabiliteitsverlies  $P_{f|stbu}$  van 0,1 aangehouden conform het Addendum Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [4]. Dit is tevens conform WBI<sup>1</sup>. Feitelijk wordt hiermee gesteld dat de kans 10% is dat de waterkering niet binnen de beschikbare hersteltijd zodanig gerepareerd kan worden dat bij het volgende hoogwater geen overstromingsgevolgen ontstaan. Deze conditionele kans op een overstroming kan eventueel nader worden bepaald als dit wezenlijke besparingen kan opleveren. Dit kan worden verkend door de gevoeligheid van het ontwerp voor deze conditionele kans te onderzoeken.

*Stel de maximaal toelaatbare faalkans van een dijktraject is 1/10.000 per jaar en de lengte-effectfactor zoals berekend met formule 1.2<sup>2</sup> uit het OI2014 bedraagt 8. Stel verder dat in de faalkansbegroting voor macrostabiliteit een faalkansruimte van 4% is aangehouden en dat de*

---

<sup>1</sup> binnen WBI wordt formule (1) als volgt weergegeven:  $P_{eis, dsn} = \frac{\omega(10 \cdot P_{eis})}{N}$

<sup>2</sup> formule 1.2 uit OI2014 luidt:  $N = 1 + \frac{a \cdot L_{traject}}{b}$

kans op een overstroming gegeven buitenwaarts macrostabiliteitsverlies  $P_{f_{stbu}}$  wordt ingeschat op 0,1. De eis aan de kans op macroinstabiliteit buitenwaarts is dan op doorsnedeniveau  $P_{eis,dsn} = 0,04 \times 1/10.000 / (8 \times 0,1) = 1/200.000$  per jaar.

### 3.2 Bepaling schadefactor

Hoewel formules voor de schadefactor uit het OI2014 (formule 5.3 en 5.4 uit OI2014) niet specifiek zijn afgeleid voor buitenwaartse macrostabiliteit worden deze formules wel gebruikt om de schadefactor voor buitenwaartse macrostabiliteit te berekenen (analoog aan de bestaande waterbouwkundige praktijk uit Addendum TRWG [4]). Dit betekent dat de volgende formules gebruikt kunnen worden:

#### Mohr-Coulomb

$$\gamma_n = 1 + 0,13(\beta_{eis,dsn} - 4,0) \quad \text{met } \beta_{eis,dsn} = -\phi^{-1}(P_{eis,dsn}) \quad (2) \text{ (=5.3 uit OI2014)}$$

#### CSSM

$$\gamma_n = 0,15\beta_{eis,dsn} + 0,41 \quad \text{met } \beta_{eis,dsn} = -\phi^{-1}(P_{eis,dsn}) \quad (3) \text{ (=5.4 uit OI2014)}$$

waarin

$\gamma_n$	Schadefactor voor het faalmechanisme macrostabiliteit (-)
$\beta_{eis,dsn}$	Geëiste betrouwbaarheidsindex voor een doorsnede (-)
$P_{eis,dsn}$	Eis aan de kans op falen per doorsnede als gevolg van macro-instabiliteit buitenwaarts (per jaar)

Een eis op doorsnedeniveau  $P_{eis,dsn}$  van 1/200.000 per jaar komt overeen met  $\beta=4,42$ . De bijbehorende schadefactor bij gebruik van het Mohr-Coulomb model is  $1+0,13 \times (4,42-4) = 1,05$ . Bij gebruik van het CSSM model hoort in dat geval een schadefactor van  $0,15 \times 4,42 + 0,41 = 1,07$ .

Ter vergelijking: de schadefactoren die horen bij macrostabiliteit binnenwaarts ( $P_{eis,dsn}$  van 1/2.000.000,  $\beta=4,89$ ) zijn 1,12 (Mohr-Coulomb) respectievelijk 1,13 (CSSM).

## 4 Aanscherping eis aan kans op buitenwaartse macroinstabiliteit

Bij een beoordeling kan het voorkomen dat niet wordt voldaan aan de eis aan de kans op macrostabiliteit buitenwaarts op doorsnedeniveau. In dat geval is aanscherping mogelijk van

- de faalkanseis (wordt in dit hoofdstuk uitgewerkt)
- de schematisatie (zie volgend hoofdstuk voor enkele aandachtspunten)

Met name in het geval dat net niet wordt voldaan aan de eis aan de kans op macroinstabiliteit buitenwaarts op doorsnedeniveau kan het aanscherpen van deze eis soelaas bieden. Dit kan worden gedaan door de faalkansruimtefactor  $\omega$  te vergroten en door de kans op falen (=overstroming) binnen de hersteltijd nader te bepalen. Er wordt dan niet uitgegaan van de defaultwaarde van 10% voor de kans dat de waterkering niet binnen de beschikbare hersteltijd zodanig gerepareerd kan worden dat bij het volgende hoogwater er geen overstromingsgevolgen ontstaan, maar maatwerk betracht.

Deze kans van 10% wordt beschouwd als een algemeen toepasbare, veilig waarde. Als (tijdelijke) maatregelen mogelijk zijn waarbij snel herstel mogelijk is, dan kan dit percentage mogelijk verkleind worden. De kans op een hoogwater<sup>3</sup> binnen de herstelduur wordt dan namelijk kleiner. Het verkleinen van dit percentage resulteert in een soepelere eis aan de kans op buitenwaartse macroinstabiliteit.

<sup>3</sup> zodanig hoog dat sprake is van overstromingsgevolgen bij een niet-herstelde kering

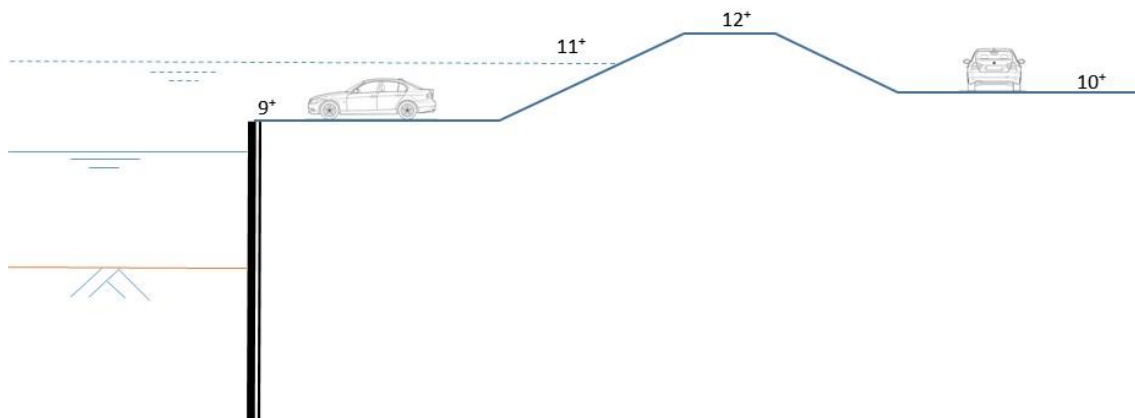
Aspecten die hierbij betrokken kunnen worden zijn:

- Welke faalgebeurtenissen kunnen optreden na een buitenwaartse instabiliteit? Een voorbeeld is een afschuiving die leidt tot een dusdanige kruindaling dat een bepaalde belasting niet langer gekeerd zal kunnen worden.
- Welke maatregelen kunnen na optreden van een buitenwaartse instabiliteit getroffen worden om de stabiliteit van de waterkering zo snel mogelijk afdoende te waarborgen? Het gaat hierbij om nood- of tijdelijke maatregelen waarmee tijdelijk wordt gewaarborgd dat er geen overstroming kan optreden, vooruitlopend op de definitieve verbetermaatregel.
- Welke tijd is benodigd om deze nood- of tijdelijke herstelmaatregel uit te voeren?
- Wat is de kans dat binnen deze benodigde hersteltijd een zodanige belasting (hoge waterstand of zware golfbelasting) optreedt dat de waterkering ter plaatse van de buitenwaartse afschuiving bezwijkt en er daadwerkelijk een overstroming optreedt? Hierbij kan (in een beoordeling) ook eventuele reststerkte in rekening worden gebracht (bij ontwerpen wordt dit voorsnog niet aanbevolen).

Indien er meerdere faalgebeurtenissen denkbaar zijn na een buitenwaartse instabiliteit dan kunnen hieraan kansen worden toegekend. Hiermee kan de invloed van het optreden van een buitenwaartse macro-instabiliteit op andere faalmechanismen tot uitdrukking gebracht worden<sup>4</sup>. De optelsom van deze kansen leidt dan tot de voorwaardelijke overstromingskans voor macrostabiliteit buitenwaarts. Dit zal hierna aan de hand van een voorbeeld worden geïllustreerd.

*Stel: achter een damwand ligt een dijklichaam met kruinhoogte 12 m+NAP. Het achterliggende maaiveld ligt op 10 m+NAP, het buitendijkse maaiveld op 9 m+NAP. De maximaal toelaatbare overstromingskans is 1/1.000 per jaar. De kansverdeling van de buitenwaterstand is de volgende:*

- *Overschrijdingskans 11 m+NAP: 1/500 per jaar*
- *Overschrijdingskans 10 m+NAP: 1/50 per jaar*
- *Overschrijdingskans 9 m+NAP: 1/5 per jaar*



**Figuur 1** Schematische weergave situatie rekenvoorbeeld

*Ingeschat wordt dat na bezwijken van de buitendijkse damwand er twee faalgebeurtenissen kunnen optreden:*

1. *door vervorming van de damwand en het achterliggende maaiveld treedt er een kruindeformatie op, waardoor de kruin maximaal een meter lager wordt. De kans hierop wordt ingeschat op 80%.*
2. *na bezwijken van de damwand treedt erosie op van het bodemmateriaal tussen de damwand en de dijk, hetgeen leidt tot bezwijken van de dijk. De kans hierop wordt ingeschat op 20%.*

<sup>4</sup> Na een buitenwaartse afschuiving kan ook de kans op piping of falen bekleding bijvoorbeeld toenemen

De volgende herstelmaatregelen kunnen vervolgens worden getroffen:

1. *Faalgebeurtenis 1: lokaal ophogen van de kruin met zandzakken, geschatte hersteltijd 2 dagen*
2. *Faalgebeurtenis 2: aanbrengen zandzakken aan buiten- en binnenzijde van damwand om verdere erosie te voorkomen, geschatte hersteltijd 2 weken*

*Ingeschat wordt dat na het optreden van faalgebeurtenis 1 binnen de hersteltijd een waterstand moet optreden die hoger is dan het niveau van de (verlaagde) kruin van de dijk om tot een overstroming binnendijks te leiden. De kans dat dit optreedt binnen twee dagen na vervorming van de damwand, hetgeen bij laag water plaats vindt, is in dit geval verwaarloosbaar klein. Met deze situatie hoeft daarom verder geen rekening te worden gehouden.*

*Na het optreden van faalgebeurtenis 2 moet binnen de hersteltijd een waterstand optreden die hoger is dan het niveau van het binnendijkse maaiveld om tot een overstroming binnendijks te leiden. De overschrijdingskans van deze waterstand is 1/50 per jaar. Als eerste, zeer conservatieve aanname kan worden aangenomen dat de kans (bij benadering)  $2/26^5 \times 1/50 \approx 1/650$  is dat deze waterstand binnen de hersteltijd van 2 weken optreedt. Hiermee kan de eis aan de kans op buitenwaartse macroinstabiliteit worden aangescherpt. Ten opzichte van het voorbeeld uit paragraaf 2.2 neemt de eis dan toe van  $P_{eis;dsn} = 0,04 \times 1/10.000 / (8 \times 0,1) = 1/200.000$  per jaar naar  $P_{eis;dsn} = 0,04 \times 1/10.000 / (8 \times 1/650) \approx 1/3.000$  per jaar. Als rekening wordt gehouden met het feit dat de kans op dit scenario 20% is, dan mag worden gerekend met een faalkanseis op doorsnedeniveau van 1/600 per jaar.*

*Een eis van 1/600 per jaar komt overeen met  $\beta=2,94$ . De bijbehorende schadefactor bij gebruik van het Mohr-Coulomb model is  $1+0,13 \times (2,94-4) = 0,86$  (was 1,05). Bij gebruik van het CSSM model hoort in dat geval een schadefactor van  $0,15 \times 2,94 + 0,41 = 0,85$  (was 1,07). Door de kans op falen binnen de hersteltijd nader te bepalen kan dus een significante reductie van de benodigde schadefactor worden bewerkstelligd.*

*Opgemerkt wordt dat deze herstelmaatregel dan wel opgenomen moet zijn in de calamiteitenbestrijdingsplannen van de beheerder.*

## **5 Aandachtspunten bij de schematisatie van macrostabiliteit buitenwaarts**

*Freatische lijn en waterspanningen in 1<sup>e</sup> watervoerend pakket*

Met name de schematisatie van de freatische lijn heeft een grote invloed op de berekende veiligheidsfactor. In paragraaf 2.4.2 van de Schematiseringshandleiding Macrostabiliteit [1] wordt aangegeven welke belastingsituaties beschouwd moeten worden. Tevens worden aanwijzingen gegeven waar criteria voor de val van het buitenwater zijn te vinden. Hierbij wordt verwezen naar het Technisch Rapport Ontwerpbelastingen voor het rivierengebied [2]. Deze aanwijzingen kunnen ook voor ontwerpen worden overgenomen.

Voor de schematisatie van de freatische lijn wordt in [1] gesteld dat 'veiligheidshalve dient er vanuit gegaan te worden dat het freatisch vlak niet gedaald is ten opzichte van de situatie bij de waterstand bij de norm'. Voor aanscherping van dit conservatieve uitgangspunt wordt eveneens verwezen naar het TROB [2]. Hierin wordt echter alleen voor de situatie 'extreme neerslag' een aanwijzing gegeven (rekening houden met een verhoging van de freatische lijn met 1,0 meter).

Optimalisatie van de ligging van de freatische lijn is vaak mogelijk, de invloed op het ontwerp kan groot zijn. Optimalisatie kan plaats vinden op basis van rekenmodellen (numeriek of analytisch) of metingen (peilbuis- en/of waterspanningsmetingen) of een combinatie van beide. Aanwijzingen hiervoor worden gegeven in TRWG [3] en TRWD [5]. Indien een niet-stationair rekenmodel wordt gebruikt dan moet het tijdsverloop van de buitenwaterstand bekend zijn.

Voor het tijdsverloop van extreme buitenwaterstanden is binnen WBI de waterstandsverlooptool ontwikkeld. Deze tool is niet geschikt om (extreem) lage waterstanden na het optreden van extreem hoog water (snelle val) te modelleren. Dit komt door de selectie van bovengrenzen van

---

<sup>5</sup> Er is uitgegaan van een hoogwaterseizoen in plaats van een heel jaar

de waterstanden binnen de onzekerheidsmarges. Daarnaast *kan* het optreden van een tweede hoogwater binnen de hersteltijd afhankelijk zijn van het eerste hoogwater, waardoor de overschrijdingskansen van de waterstanden zullen afwijken van het bekende verloop. Voor deze schematisatie/modellering ontbreekt statistiek op dit moment. In bijlage A zijn per watersysteem aanknopingspunten gegeven om de situatie snelle val te kunnen schematiseren.

Aangeraden wordt om vooraf af te wegen welke beoordelings- of ontwerpstrategie zinvol is om uit te werken in dit beoordelingsspoor en of tijdsafhankelijkheid van belasting of respons een belangrijke rol speelt.

#### *Verkeersbelasting*

In paragraaf 3.4.2 van [1] wordt gesteld dat voor macrostabiliteit buitenwaarts een verkeersbelasting van 13,3 kN/m<sup>2</sup> in rekening gebracht moet worden. Voor ontwerpen wordt echter aanbevolen om het OI2014 op dit punt te volgen. Voor meer informatie omtrent het schematiseren van de verkeersbelasting wordt verwezen naar het KPR-factsheet *Verkeersbelasting en macrostabiliteit*.

#### **Referenties**

- [1] *Schematiseringshandleiding Macrostabiliteit*, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 31 januari 2017, versie 1.0
- [2] *Technisch Rapport Ontwerpbelastingen voor het rivierengebied*, ENW, juli 2007
- [3] *Technisch Rapport Waterkerende grondconstructies*, ENW, juni 2001
- [4] *Addendum bij het Technisch Rapport Waterkerende grondconstructies*, ENW, juli 2007
- [5] *Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken*, ENW, september 2004
- [6] *Uitgangspunten productieberekeningen, WTI2017, 1209433-001-HYE-0005, versie 3, 16-7-2014, def*
- [7] *Storm surge duration and storm duration at Hoek van Holland*, 1200264-001-HYE-009, 18 nov 2009, def.
- [8] *Waterstandsverlopen kust*, Wettelijk Toetsinstrumentarium WTI-2017 1220082-002, Deltares.
- [9] *Leidraad zee en meerdijken*, TAW, 1999.

## Bijlage A schematisatie snelle val voor verschillende watersystemen

In deze bijlage is één van de te beschouwen belastingsituaties voor buitenwaartse macrostabiliteit, snelle val, voor verschillende watersystemen nader toegelicht. Indien deze belastingsituatie maatgevend is ten opzichte van de andere te beschouwen belastingsituaties, zal deze situatie de kans op een buitenwaartse afschuiving  $P_{STBU}$  bepalen. Om tot falen te komen dient binnen de hersteltijd een tweede hoogwater op te treden.

Het verloop van de buitenwaterstand wordt voor de verschillende watersystemen door verschillende onzekerheden bepaald. Waterstanden in bovenrivieren zijn bijvoorbeeld afvoergedomineerd terwijl in het benedenriviereengebied storm en getij tevens een grote invloed kunnen hebben.

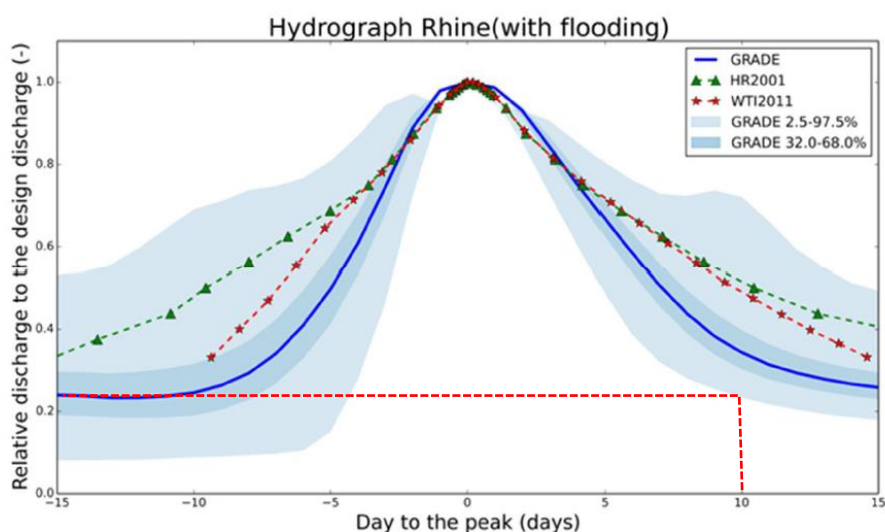
### Rijn en IJssel

Het TROB [2] beveelt aan dat voor de schematisering van de snelle val de waterstand na 10 dagen na de lokale topwaterstand geselecteerd kan worden. Naast lokale invloed heeft het waterstandsverloop in de tijd de nodige onzekerheden.

Figuur 4.2 volgt uit een WBI rapportage [6] waarin de range van golfvormen van de afvoer is weergegeven, uitgaande van overstromingen in Duitsland. Deze afvoergolf zal de waterstand sterk bepalen, vooral bij de lagere debieten (ivm berging). De lichtblauwe zone geeft de 95% betrouwbaarheidsband weer, de donkerblauwe de 64% betrouwbaarheidsband. Uit de figuur volgt dat de curve steiler is bij de 2,5% ondergrens, ofwel de val zal sneller verlopen.

Aanbevolen wordt om voor de bepaling van de snelle val de waterstand bij de norm te selecteren als extreem hoogwater en uit praktische en conservatieve overwegingen de waterstand na 10 dagen uit het afvoerdebit behorend bij de 2,5% ondergrens te selecteren. Dit is uit de figuur te herleiden, zonder dat aanvullende model berekeningen nodig zijn. Bijvoorbeeld: stel dat uit het illustratiepunt van Hydra-NL blijkt dat het debiet bij Lobith bij de norm  $16.750 \text{ m}^3/\text{s}$  bedraagt, dan is het debiet na 10 dagen gelijk aan  $0,23 * 16.750 \text{ m}^3/\text{s} = 3.853 \text{ m}^3/\text{s}$ . De waterstand die hierbij hoort kan worden afgeleid uit een WAQUA som die speciaal voor dit doel wordt gemaakt (om te voorkomen dat piekwaterstanden worden gevonden).

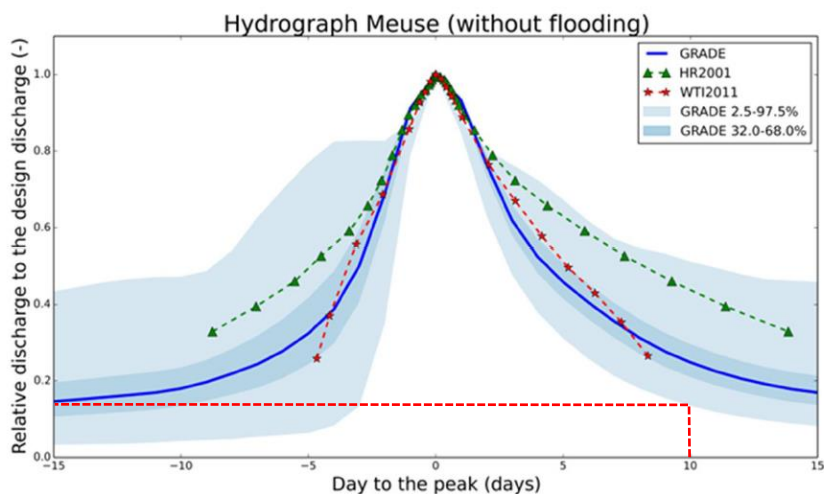
Bij de keuze van deze waterstand is het raadzaam lokale omstandigheden zoals de maaiveldligging van eventueel voorland mee te wegen.



Figuur 4.2 Afvoergolfvorm Rijn bij Lobith met bovenstroomse overstromingen

### Maas

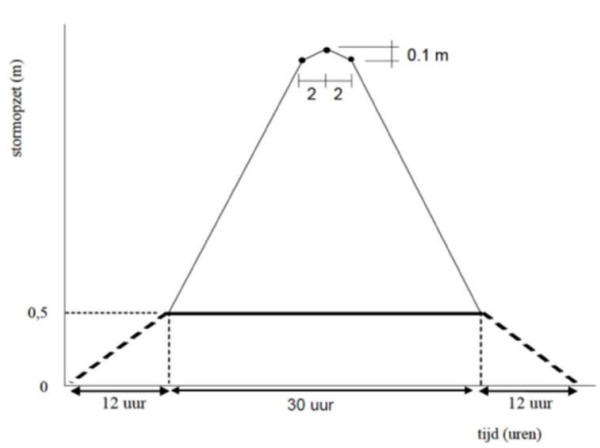
Voor de Maas wordt eenzelfde werkwijze als voor de Rijn en IJssel aanbevolen. In dit geval kan een andere figuur worden aangehouden. Ook deze figuur volgt uit de WBI-rapportage [6]. De afvoer na 10 dagen bedraagt hier 14% van de afvoer bij de norm.



Figuur 4.3 Afvoergolfvorm Maas bij Borgharen

### Meren

Voor meerdijken bestaat de maatgevende belasting uit een combinatie van een hoog meerpeil en harde wind. Voor een snelle val wordt aangeraden uit te gaan van de leidraad zee- en meerdijken [9] ofwel een val van extreem hoog water naar streefpeil in een periode van een halve stormduur. Dit betekent dat de val wordt bepaald door de verandering van de stormopzet. Hiervoor kan figuur 4.4 uit de WBI-rapportage [6] worden aangehouden.



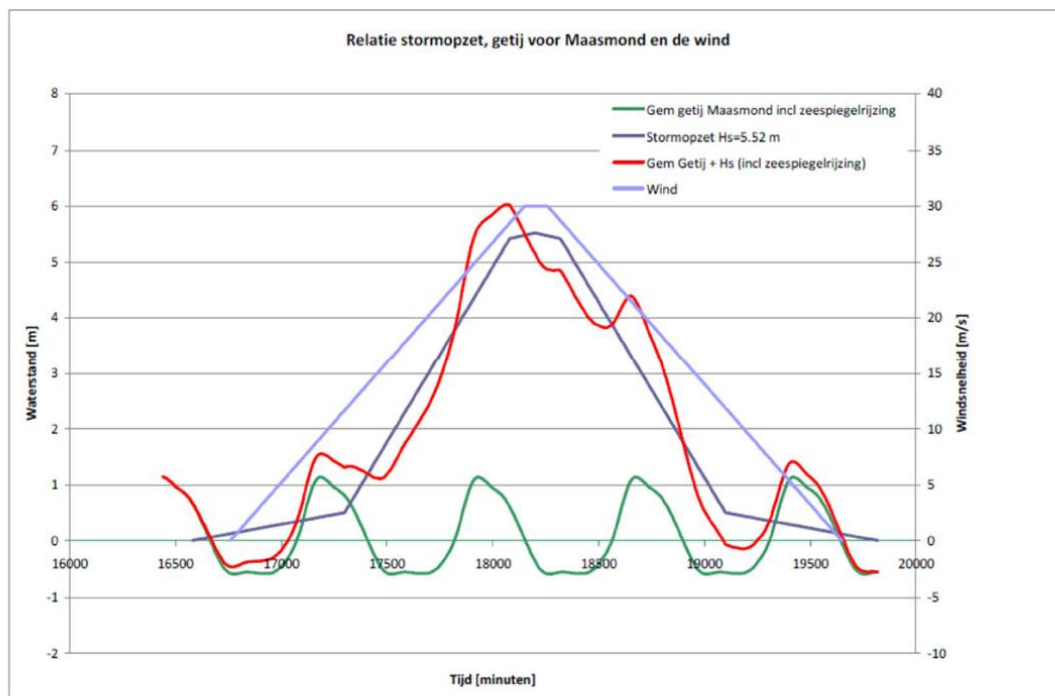
Figuur 4.4 Tijdsverloop van de windopzet

### Kust (zeedijken)

In het kustgebied wordt de waterstand bepaald door het getij en de stormopzet (windsnelheid en windrichting). De snelle val wordt hier bepaald door het verloop van de windopzet in combinatie met een ongunstige fase en hoogte van het getij. Volgens de schematiseringshandleiding macrostabiliteit moet voor wat betreft het getij worden uitgegaan van laagwaterstand bij springtij. Figuur 4.5 uit [6] geeft het verloop van de stormopzet weer voor Hoek van Holland (donkerblauwe lijn). Het WBI-rapport [6] geeft ook de verlopen voor andere stations langs de kust. Aangeraden wordt de grootte van de val te bepalen uit het



verschil tussen de waterstand bij de norm en het springtijlaagwater (conform SH) en de snelheid van de val te herleiden uit het zodanig combineren van getij en stormopzet dat de val het snelst is. Hierbij dient de stormopzetduur te worden geselecteerd die voor de specifieke locatie in WBI is afgeleid [7]. Dit is 30 uur op 0,5m niveau voor Hoek van Holland en heeft andere waarden voor Zeeuwse kust, Hollandsche Kust en Waddenzee als omschreven in [8]. Opgemerkt wordt dat de groene lijn in figuur 4.5 het verloop van de gemiddelde waterstand weergeeft en voor de val de periode rond springtij van belang is. Dit is een afwijkend getijverloop en kan via waternormalen.nl worden gevonden.



Figuur 4.5 Combinatie van windopzet Hoek van Holland en getij

### Benedenrivieren

In dit watersysteem wordt de waterstand bepaald door een combinatie van rivierafvoer, getij en stormopzet. De werkwijze bij snelle val wordt beschreven in TROB [2] en bestaat uit het selecteren van maatgevende belastingcombinaties uit:

1. een belastingsituatie met maatgevende afvoer(golf) van de bepalende rivier en gemiddeld getij en de waterstand na 10 dagen (zoals bij aanpak bovenrivieren). n;
2. een waterstandsverloop behorend bij de combinatie van de waarden van de stochasten die de grootste bijdrage levert aan de overschrijdingskans van de ontwerpwaterstand, inclusief de invloed van open/dichte keringen. Dit kan worden herleid met behulp van Hydra-NL waarbij het functionering van keringen in de testmodus kan worden ingesteld. Volgens TROB kan voor het benedenriviereengebied de getij component hierbij worden verwaarloosd. Voor deze situatie is de waterstand maatgevend die optreedt 1 dag na de hoogste waterstand.

Aanvullend wordt geadviseerd bij belastingcombinatie 1 een laagwater bij gemiddeld getijverloop te selecteren na 10 dagen als waarde voor het getij.

Bij het verloop van de afvoergolf (situatie 1) kan conform bovenrivieren het afvoerdebiet behorend bij de 2,5% ondergrens worden geselecteerd. Situatie 2 vraagt om een nadere analyse met Hydra-NL met de aanname dat de relatieve bijdragen niet veranderen gedurende de daling van de waterstand.

### *IJssel-Vechtdelta*

In dit watersysteem wordt de waterstand bepaald door een combinatie van rivierafvoer, meerpeil en windopzet. De werkwijze bij snelle val wordt beschreven in TROB [2] en bestaat uit het selecteren van maatgevende belastingcombinaties uit:

1. een belastingssituatie met maatgevende afvoer(golf) van de bepalende rivier en streefpeil op het IJsselmeer. De benodigde waterstand volgt uit de situatie na een val van 10 dagen (zoals bij aanpak bovenrivieren) en;
2. een waterstandsverloop behorend bij de combinatie van de waarden van de stochasten die de grootste bijdrage levert aan de overschrijdingskans van de ontwerpwaterstand. Voor deze situatie is de waterstand maatgevend die optreedt 1 dag na de hoogste waterstand.

Bij het verloop van de afvoergolf (situatie 1) kan conform bovenrivieren het afvoerdebiet behorend bij de 2,5% ondergrens worden geselecteerd. Situatie 2 vraagt om een nadere analyse met Hydra-NL met de aanname dat de relatieve bijdragen niet veranderen gedurende de daling van de waterstand.

*Het kennisplatform risicobenadering is opgericht ter ondersteuning van de keringbeheerder bij toepassen van de nieuwe normering en de risicobenadering. Adviezen en ondersteuning van het kennisplatform risicobenadering hebben een informele status en staan gelijk aan collegiaal advies.*