

<b>Van</b>	Adviesteam Dijkontwerp
<b>Aan</b>	Yvonne van Kruchten (Waterschap Limburg, project Lob van Gennepe)
<b>Door</b>	Ruben Jongejan, Robert Vos
<b>Betrokken</b>	-
<b>Review</b>	Bob van Bree
<b>Kopie aan</b>	Bart van Bussel (Infram, Lob van Gennepe), Herm-Jan Barneveld (HKV, Lob van Gennepe)
<b>Datum</b>	13 juli 2020
<b>Versie</b>	2
<b>Onderwerp</b>	Advies nr. 53: Lob van Gennepe – Review hydraulische berekeningen t.b.v. afweging alternatieven

## 1. Inleiding

Het project Lob van Gennepe bevindt zich in de verkenningsfase. De volgende drie alternatieven worden op dit moment nader uitgewerkt en onderzocht:

1. Reguliere Dijken (RD)
2. Verbindende Dijken met drie vaste Drempels (VD-D), en
3. Verbindende Dijken met Waterkerende instroomvoorziening (VD-W).

Bij de beoordeling van de alternatieven wordt onder meer bekeken in welke mate de alternatieven aan de drie projectdoelstellingen invulling geven. Deze doelstellingen zijn:

1. het verbeteren van de hoogwaterveiligheid van het gebied,
2. het verbeteren van de waterbergende werking van het gebied om bij extreem hoogwater stroomafwaarts te zorgen voor een waterstandsverlaging en daarmee bij te dragen aan de hoogwaterbeschermingsopgave stroomafwaarts, en
3. het verbeteren van de ruimtelijke kwaliteit van het gebied.

Er zijn diverse studies uitgevoerd naar het effect van de drie alternatieven op de hoogwaterstanden benedenstrooms. Door het waterschap Limburg zijn de volgende documenten gedeeld met het Adviesteam Dijkontwerp:

- [1] Lob van Gennepe, Oplegnotitie t.b.v. adviesvraag Adviesteam Dijken, 9 juni 2020, versie 1.0
- [2] Lob van Gennepe, Notitie Inzet criterium Waterberging Lob van Gennepe, december 2019, conceptversie 1.0.
- [3] HKV, Lob van Gennepe – Hydraulische analyses voor MIRT Verkenning, tussentijdse concept-rapportage, 6 maart 2020, PR3701.20.
- [4] HKV, Resultaten gevoeligheidsanalyse golfvorm t.b.v. MIRT Lob van Gennepe, concept memo, 29 januari 2020, PR3701.20.

Over deze documenten zijn door het Waterschap Limburg de volgende vragen gesteld aan het Adviesteam Dijkontwerp:

1. Voldoen de resultaten ten behoeve van de vergelijking van de alternatieven? Zijn deze op de juiste berekeningen en uitgangspunten gebaseerd om een goede vergelijking te kunnen maken?
2. Kan geconcludeerd worden dat het verschil in het waterstandsverlagend effect stroomafwaarts tussen de alternatieven Reguliere Dijken en Verbindende Dijken met waterkerende instroomvoorziening beperkt is tot circa 5 cm?

Dit memo is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 worden de twee vragen, mede op verzoek van het waterschap, in breder verband beschouwd. De constatering en aanbevelingen uit hoofdstuk 2 worden in de Bijlage nader toegelicht. De Bijlage is bedoeld en geschreven voor een deskundig lezerspubliek.

## 2. Bevindingen en aanbevelingen

Het Adviesteam heeft na het doornemen van de aangeleverde documenten de volgende bevindingen en aanbevelingen:

1. Bij de modelberekeningen uit [3] zijn begrijpelijke en waarmee de effectiviteit van de alternatieven op een goede manier in beeld is gebracht. Er is bij de beoordeling van de effectiviteit van de alternatieven gekeken naar een brede range aan afvoeren. Het effect van de onzekerheid ten aanzien van de golfvorm, een belangrijke onzekerheid voor de effectiviteit van een waterberging, is in een gevoeligheidsanalyse [4]

verkend. Daarmee is er naar het oordeel van het Adviesteam voldoende materiaal voorhanden voor de vergelijking van de alternatieven (**vraag 1**).

2. **Het Adviesteam is van oordeel dat de uitgevoerde berekeningen niet laten zien dat er een alternatief is dat duidelijk effectiever is dan de andere alternatieven.** Het verschil in waterstandsverlagend effect stroomafwaarts tussen RD en VD-W is naar verwachting kleiner dan de 5 cm die in [1] is gepresenteerd<sup>1</sup>, rekening houdend met de doorwerking van de diverse onzekerheden omtrent de uitgevoerde berekeningen. Dit berust op de volgende overwegingen (zie Bijlage voor meer details):
  - Er bestaat grote onzekerheid over de afvoeren die uiteindelijk, in de praktijk, bepalend zullen zijn voor de ontwerphoogtes benedenstrooms. Daarom is de effectiviteit van de alternatieven in beeld gebracht voor een brede range afvoeren. De effectiviteit van de alternatieven varieert binnen deze range. Er is niet één alternatief dat binnen de gehele range het meest effectief is. Ter illustratie: de in [1] genoemde, relatief grote waterstandsvaling van 12 cm bij alternatief VD-W hoort bij een specifieke afvoer; bij andere afvoeren is de daling kleiner of geheel afwezig. Bij de lagere afvoeren is alternatief RD juist effectiever dan alternatief VD-W (zie ook Figuur 3 in de Technische bijlage).
  - De onzekerheid over de vorm van de afvoergolf zal er bij alle alternatieven toe leiden dat hun effectiviteit kleiner is dan de rapporten suggereren. Met andere woorden: de te verwachten waterstandsverlaging stroomafwaarts is bij alle alternatieven lager dan [3] suggereert. De gevoeligheidsanalyse [4] toont dat de *gemiddelde* waterstanden bij een onzekere afvoergolf weinig afwijken van de waterstanden die in [3] zijn berekend bij een standaard-afvoergolf. Bij het bepalen van de overschrijdingskansen van waterstanden gaat het niet alleen om de gemiddelde afvoeren, maar ook over de spreiding daaromheen. Hoe groter deze spreiding is, des te groter de overschrijdingskansen van hoogwaterstanden worden. De onzekerheid over de afvoergolf zal dus bij alle alternatieven leiden tot overschrijdingskanscurves van waterstanden die ongunstiger zijn dan wat volgt uit [3] (zie Figuur 1 in de Bijlage voor nadere toelichting). Omdat het effect van de onzekerheid over de afvoergolf sterk verschilt per alternatief, kan het meenemen van deze onzekerheid leiden tot andere verschillen tussen de waterstandsfrequentielijnen voor de alternatieven. Hier wordt bij punt 4 op teruggekomen.
  - In de uitgevoerde studies [1-5] zijn modelonzekerheden (anders dan onzekerheden in de golfvorm) en statistische onzekerheden buiten beschouwing gelaten. Deze onzekerheden zullen minder van invloed zijn op de verschillen tussen de alternatieven dan de onzekerheid over de golfvorm. Hooguit zou het meenemen van model- en statistische onzekerheden de verschillen tussen de alternatieven nog wat kleiner maken. Dat komt doordat dit soort onzekerheden harder doorwerken naarmate een waterstandsfrequentielijn vlakker loopt. De alternatieven die relatief effectief zijn (en waarbij de waterstandsfrequentielijn dus relatief veel afvlakt) worden dus sterker in ongunstige zin beïnvloed door deze onzekerheden dan de alternatieven die minder effectief zijn. Het Adviesteam Dijkontwerp is overigens van oordeel dat met de huidige berekeningsresultaten (zonder model- en statistische onzekerheid) een voldoende beeld van de verschillen tussen de alternatieven gegeven kan worden. Het adviesteam adviseert dan ook niet om voor de afweging van de alternatieven nog aanvullende berekeningen te maken naar het effect van model- en statistische onzekerheden.
  - Er moet worden bedacht dat er in realiteit nog meer onzekerheden/natuurlijke variaties zijn dan hierboven genoemd. Zo is het daadwerkelijke verloop van overstromingen van bovenstrooms gelegen dijktrajecten en van de Maasdijken naar Vlaanderen onzeker (los van de bestuurlijke uitgangspunten hieromtrent) en zijn er nog veel meer vormen van afvoergolven denkbaar dan de golfvormen die in [4] zijn doorgerekend. Tabel 1 van de oplegnotitie [1] geeft waterstandseffecten voor een bepaalde afvoergolf; bij andere afvoergolven zullen deze anders zijn. Verder is het zeer de vraag of een regelbaar inlaatwerk in de praktijk optimaal zal functioneren/gestuurd zal worden, gelet op bijvoorbeeld de beperkte voorspeltijden, meetonzekerheden (bijv. van debietmeting), voorspelonzekerheden en onzekerheden over de bediening en de werking van een regelbaar inlaatwerk dat zelden wordt gebruikt. Kortom: het perfecte model bestaat eenvoudigweg niet. Vanuit dat perspectief is het raadzaam om de uitkomsten van de modelberekeningen niet op een goudschaaltje te wegen. Het bij **vraag 2** genoemde waterstandsverschil van 5 cm valt binnen de marge van de nauwkeurigheid van dit soort berekeningen.
3. Verder merkt het Adviesteam op dat is gekeken naar waterstandsdingen, maar dat het uiteindelijk gaat over besparingen op dijkversterkingen benedenstrooms. De verbetering van de waterbergende werking van het gebied dient volgens [2] om de benodigde dijkverhogingen benedenstrooms te beperken daar waar een

<sup>1</sup> Het betreft hier het verschil tussen RD en VD-W bij een debiet van 4.800m<sup>3</sup>/s. Zoals toegelicht in de Bijlage is het verschil afhankelijk van het debiet en kan het alternatief RD bij lagere debieten juist gunstig afsteken tegen alternatief VD-W.

hoogteopgave is. Een verschil van bijvoorbeeld 5 cm in ontwerphoogtes is echter van weinig praktische betekenis<sup>2</sup> als kruinverhoging eenmaal aan de orde is.

4. Ten behoeve van de communicatie adviseert het Adviesteam om de beschikbare Q-H-relaties<sup>3</sup> nog te vertalen naar waterstandsfrequentielijnen. Dit vergt geen nieuwe hydraulische berekeningen (zie ook aanbeveling 1), hooguit een andere presentatie van het beschikbare materiaal. Door de onzekerheid over de Q-H relaties en door het feit dat de Q-H relaties soms een 'dip' bevatten, kan de waterstandsfrequentielijn er soms anders uitzien dan men zou kunnen denken op basis van een Q-H relatie. De vertaling naar waterstandsfrequentielijnen kan verkeerde beelden/conclusies voorkomen. Aanbevolen wordt om de waterstandsfrequentielijnen te tekenen basis van:
  - de resultaten uit [3] voor een standaard-golfvorm, en
  - de resultaten uit [4] waarbij de onzekerheden over de golfvorm worden uit-geïntegreerd en dus *niet* wordt uitgegaan van gemiddelde waterstandseffecten.Zo wordt ook het effect van onzekerheid over de golfvorm beter inzichtelijk.
5. In de berekeningen zijn statistische onzekerheden en onzekerheden over lokale waterstanden buiten beschouwing gelaten. Voor een *vergelijking* van alternatieven is dit van ondergeschikt belang. Voor het uiteindelijke ontwerp (bepalen dijkhoogtes en hoogtes van eventuele drempels) is het wel belangrijk om deze onzekerheden mee te nemen.

Vanwege de vragen die door het waterschap aan het Adviesteam Dijkontwerp zijn voorgelegd, beperkt dit memo zich tot de effecten van de alternatieven op de benedenstroomse hoogwaterstanden. Bij de beoordeling van de alternatieven spelen echter ook andere aspecten een rol. Het adviesteam adviseert om bij de weging van het aspect waterstandsdaling rekening te houden met de onzekerheden rond de berekeningsresultaten en de beperkte praktische betekenis van waterstandsdalingen van enkele centimeters voor de benedenstroomse ontwerphoogtes.

---

<sup>2</sup> Het is goed te beseffen dat de invloed van andere ontwerpkeuzes voor benedenstroomse dijkversterkingen, zoals het klimaatscenario, het zichtjaar, maar ook keuzes voor rekenparameters zoals open/gesloten zode, wel/geen overgangen en ondergrondparameters t.b.v. zettingsberekeningen vele malen groter zijn, nog los van uitvoeringson nauwkeurigheden.

<sup>3</sup> Relatie tussen debiet (Q) en waterstand (H).

## Technische bijlage

De Bijlage is bedoeld en geschreven voor een deskundig lezerspubliek.

### Effect waterbergende werking op hoogwaterveiligheid

De eerste projectdoelstelling betreft “het verbeteren van de hoogwaterveiligheid van het gebied” [1]. Bij alle alternatieven wordt de kans op een overstroming kleiner dan de maximaal toelaatbare overstromingskans van 1/300 per jaar uit de Waterwet. In alle gevallen wordt dus voldaan aan de wettelijke norm. Ten aanzien van *de mate waarin* het overstromingsrisico wordt verkleind, bestaan er echter wel verschillen tussen de alternatieven. Het overstromingsrisico omvat enerzijds de kans op een overstroming en anderzijds het gevolg van een overstroming. Bij de alternatieven RD en VD-D is de overstromingskans 1/300 per jaar, bij alternatief VD-W is dit 1/3.000 per jaar. De gevolgen van overstroming zijn bij de alternatieven RD en VD-D echter kleiner dan bij VD-W door het verschil in de uiteindelijke waterdieptes in de Lob van Gennepe.

De bovengenoemde verschillen verdienen aandacht bij de afweging van de alternatieven. In het vervolg van deze notitie wordt verder alleen ingegaan op de effecten van de alternatieven op de waterstanden benedenstrooms. Dat is niet zozeer een *waterveiligheids* kwestie als wel een *financiële* kwestie. Bij een minder groot effect van de Lob van Gennepe op de benedenstroomse waterstanden zal bij de benedenstrooms gelegen dijken meer geïnvesteerd moeten worden om op *dezelfde* overstromingskansen uit te komen/te voldoen aan de overstromingskansnormen uit de Waterwet. Het is dan ook terecht dat in de formulering van de tweede doelstelling wordt gesproken over de benedenstroomse hoogteopgave of hoogwater*beschermingsopgave*, en niet over de hoogwater*veiligheid*.

### Beoordeling effectiviteit van waterbergende werking bij verschillende afvoeren

In [2] wordt toegelicht dat de effectiviteit van de waterbergende werking wordt uitgedrukt in de waterstandsval bij afvoeren variërend van 1/3.000 tot 1/12.500 per jaar anno 2075 bij een W+ klimaatscenario (4700 m<sup>3</sup>/s tot 5200 m<sup>3</sup>/s). Als reden wordt gegeven dat de waterberging vooral van betekenis is voor de benedenstroomse *dijkverhogingsopgave* in dijkversterkingsprojecten.

Om de effectiviteit van de waterbergende werking op de ontwerphoogtes benedenstrooms te schatten moeten aannamen worden gedaan ten aanzien van diverse ontwerputgangspunten die bij toekomstige, benedenstroomse dijkversterkingsprojecten zullen worden aangehouden, zoals t.a.v. de faalkansbegroting, het zichtjaar en het klimaatscenario<sup>4</sup>. Ook spelen de normen van de te versterken trajecten een rol, evenals het relatieve belang van de afvoer voor de vereiste kruinhoogtes (t.o.v. het belang van golven en modelonzekerheid). Het is onmogelijk om over dit soort zaken hele precieze uitspraken te doen. Gelet hierop is het verstandig dat bij het bepalen van de effectiviteit van de alternatieven een brede range van afvoeren is beschouwd en dat niet (alleen) is gekeken naar de effectiviteit bij één specifieke Maasafvoer.

Voor de verkenningsfase acht het Adviesteam de beschouwde range aan afvoeren voldoende gemotiveerd en voldoende breed; het Adviesteam acht het dan ook niet nodig om aanvullende berekeningen te maken voor lagere of hogere afvoeren. Echter, mochten er in de toekomst andere klimaatscenario's dan W+ langs de Bedijkte Maas beschouwd gaan worden bij het ontwerp van waterkeringen (bijv. het G-scenario of een toekomstig ander scenario), dan zouden ook lagere afvoeren, tot bijv. 4150 m<sup>3</sup>/s relevant kunnen worden. Bij die afvoeren worden de verschillen tussen de alternatieven ook anders. Dit is een voorbeeld van de onvoorspelbaarheid/onzekerheid die het *praktisch* onmogelijk maakt om een 'perfecte verbetering van de waterbergende werking' te ontwerpen.

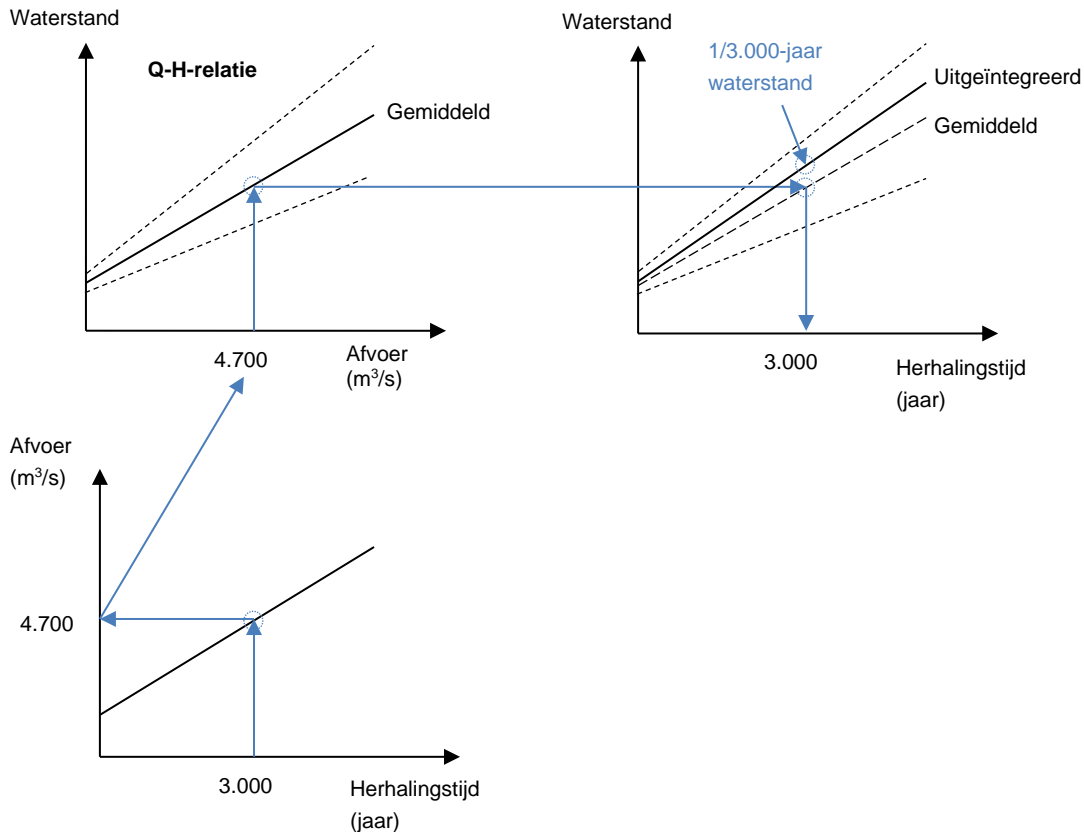
### Effect onzekerheid vorm afvoergolf op effectiviteit van waterbergende werking

De precieze bepaling van (de doorwerking van) de onzekerheid over de vorm van de afvoergolf (breed of smal) is een relatief complexe aangelegenheid. In algemene zin is hier wel het volgende over te zeggen:

1. Wanneer de afvoergolf afwijkt van de golf die is aangenomen bij het optimaliseren van de waterbergende werking van het gebied, dan is de effectiviteit van de waterberging kleiner (minder waterstandsval).
2. De onzekerheid over de *vorm* van de afvoergolf leidt tot onzekerheid over de effectiviteit van de waterberging bij een gegeven *afvoer*. De kans dat de waterstand een bepaald niveau overschrijdt, wordt

<sup>4</sup> Het gaat hier niet over het (nu nog onbekende/onzekere) klimaatscenario dat achteraf het juiste scenario zal blijken te zijn, maar over het scenario waar bij het ontwerp van versterkingen van uit zal worden gegaan. De keuze voor dit ontwerputgangspunt bepaalt immers de ontwerphoogte.

groter als er meer onzekerheid is over de waterstand die bij een bepaalde afvoer hoort. Concreet: de *gemiddelde waterstand* bij de 1/3.000-jaar afvoergolf is *lager* dan de 1/3.000-jaar waterstand (de uitwerking in [4] gaat hieraan voorbij). De achtergrond hiervan is dat het meenemen (uitintegreren) van onzekerheden leidt tot een grotere kans op niveauoverschrijdingen. Het effect hiervan is schematisch weergegeven in Figuur 1 (linksonder beginnen met lezen).



**Figuur 1. Schematische weergave van de doorwerking van de onzekerheid over de Q-H relatie in de waterstand met een bepaalde overschrijdingskans of herhalingsjijd.**

De onzekerheid over de afvoergolf werkt bij de verschillende alternatieven nogal verschillend door (zie [4]). Dit betekent dat het effect van de onzekerheid over de afvoergolf de onderlinge verschillen tussen de alternatieven kan beïnvloeden. Het is daarom raadzaam om te tonen hoe deze onzekerheid doorwerkt in de verschillen tussen de uiteindelijke overschrijdingskansen van de benedenstroomse waterstanden (ofwel: in de verschillen tussen de uiteindelijke waterstandsfrequentielijnen).

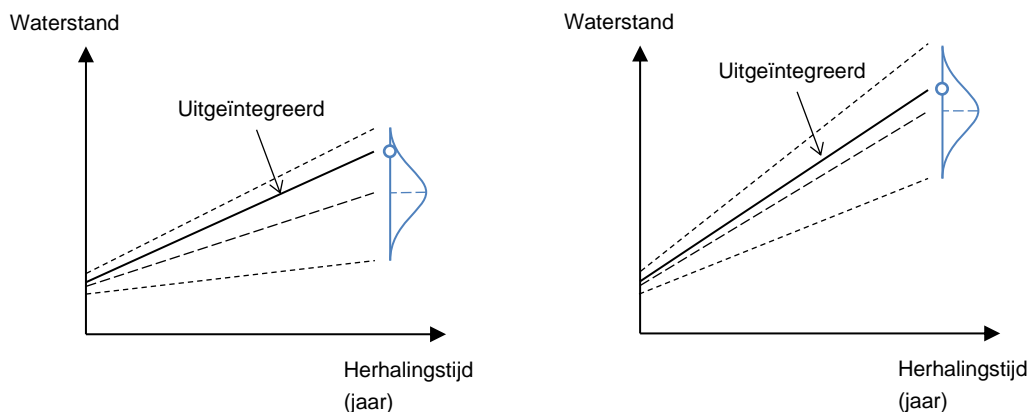
### Effect van overige onzekerheden op waterstandsfrequentielijnen

In de modelberekeningen zijn enkele onzekerheden buiten beschouwing gelaten die zowel met als zonder waterberging van belang zijn. Deze onzekerheden hebben zowel met als zonder waterberging een oprijvend effect op de waterstandsfrequentielijn. Het gaat om de onzekerheden ten aanzien van modelparameters zoals de bodemruwheid en statistische onzekerheden. Het feit dat deze onzekerheden niet zijn beschouwd bij het bepalen van waterstanden betekent dat de waterstanden *in absolute zin* zijn onderschat. Dit betekent dat de uiteindelijke dijk- en/of drempelhoogtes hoger gekozen moeten worden<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Vanuit het project Lob van Genneep is aangegeven dat hier bij de voorlopige randvoorwaarden voor het dijkverbeteringsontwerp reeds rekening mee gehouden is.

Het is onduidelijk of en in hoeverre het bovenstaande ook *in relatieve zin* van wezenlijk belang is. Ter illustratie: als de waterstandsfrequentielijnen bij alle alternatieven 5 cm hoger zouden komen te liggen in het relevante bereik door het meenemen van model- en statistische onzekerheden, dan zouden hun onderlinge verschillen hetzelfde blijven. De onzekerheid ten aanzien van de lokale waterstand lijkt wellicht minder van belang ter plaatse van de inlaat bij een regelbare inlaat. Het optimaal functioneren van een regelbare inlaat is echter niet alleen afhankelijk is van de lokale waterstand maar ook van de vorm van de afvoergolf. Ook is de onzekerheid over de bodemruwheid benedenstrooms van de inlaat van invloed op de lokale waterstanden aldaar. Nog los van de (on)mogelijkheden van perfecte sturing zal deze onzekerheid dus óók bij het alternatief VD-W van belang zijn, net zoals bij de alternatieven zonder regelbaar inlaatwerk.

Als de model- en statistische onzekerheden per alternatief van een vergelijkbare grootte zijn (NB: dit ligt nadrukkelijk anders voor de onzekerheid over de golfvorm, zie boven), dan zal het meenemen van deze onzekerheden de verschillen tussen de waterstandsfrequentielijnen voor de alternatieven wat kleiner maken. Dat komt doordat deze onzekerheden in relatieve zin belangrijker worden naarmate de waterstandsfrequentielijn waarin deze onzekerheden nog niet zijn meegenomen vlakker loopt. Des te vlakker een waterstandsfrequentielijn loopt, hoe meer deze onzekerheden de waterstandsfrequentielijn zullen opstuwten. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 2. De alternatieven die de waterstandsfrequentielijn relatief veel doen afvlakken worden dus 'zwaarder getroffen' door model- en statistische onzekerheden dan de alternatieven die minder effectief zijn. Dit betekent dat m.n. het alternatief VD-W (en in mindere mate RD) een wat geringere waterstandsverlaging zullen veroorzaken dan in [3] is opgenomen. Dit zal de verschillen tussen de alternatieven wat verkleinen.



**Figuur 2.** Voorbeelden van de doorwerking van onzekerheden over de waterstand bij een bepaalde terugkeertijd in geval een relatief vlakke (links) en een relatief steile (rechts) waterstandsfrequentielijn. In beide gevallen zijn de onzekerheden even groot.

## Q-H relaties en overschrijdingskansfrequentielijnen

Er zijn berekeningen uitgevoerd die inschattingen geven van de impact van waterberging op de Q-H relaties, inclusief een analyse van de gevoeligheid voor de vorm van de hoogwatergolf. Uiteindelijk gaat de interesse echter niet uit naar Q-H relaties maar naar waterstandsfrequentielijnen (als schatter/indicator voor ontwerphoogtes van de dijken). Het kijken naar waterstandsfrequentielijnen kan een ander beeld geven dan het kijken naar Q-H relaties.

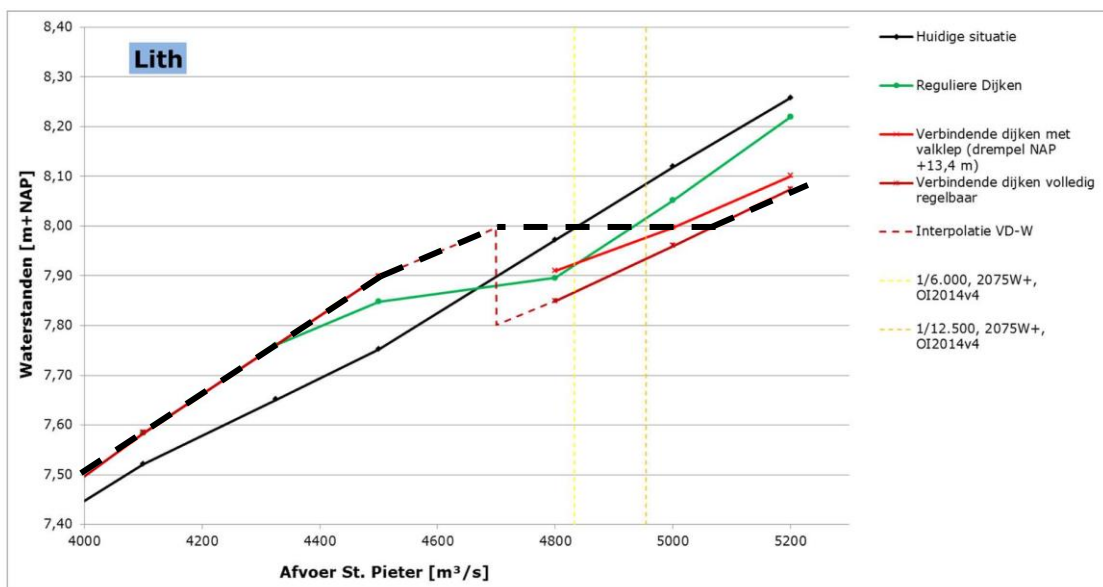
Als er (1) geen onzekerheid bestaat over de Q-H relatie en (2) de Q-H relatie monotoon stijgend is, dan is een plot van de Q-H relatie te beschouwen als een 'verschaalde waterstandsfrequentielijn'. In dat geval correspondeert de overschrijdingskans van een debiet namelijk met de overschrijdingskans van de bijbehorende waterstand. De waterstand bij een afvoer van 5.200 m<sup>3</sup>/s is dan op te vatten als de 1/55.000-jaar waterstand, de waterstand bij een afvoer van 4.500 m<sup>3</sup>/s als de 1/1.200-jaar afvoer, etc. Aan de twee genoemde voorwaarden wordt echter niet voldaan:

1. In realiteit is de relatie tussen afvoer en waterstand onzeker (zie ook Figuur 1). De werkelijke waterstandsfrequentielijn, waarin deze onzekerheid is 'uitgeïntegreerd', ligt hoger. Bij waterberging wordt de onzekerheid over de golfvorm van groot belang voor de benedenstroomse waterstanden. De gevoeligheidsanalyses naar het effect van de onzekerheid van de golfvorm [4] geeft echter nog niet aan tot

welke verschuivingen dit leidt, aangezien in de gevoeligheidsanalyses is gekeken naar de *gemiddelde* waterstands daling bij een gegeven afvoer (zie ook de toelichting in paragraaf 3 van deze bijlage).

- De Q-H relaties zijn niet voor alle alternatieven monotoon stijgend. Bij alternatief VD-W daalt de waterstand bij inzet van de waterberging tot onder de waterstand vlak voor inzet, bij een lager debiet. Hieronder wordt daar nader op ingegaan.

De vraag of het verschil in het waterstandsverlagend effect stroomafwaarts tussen de alternatieven Reguliere Dijken (RD) en Verbindende Dijken met Waterkerende instroomvoorziening (VD-W) beperkt is tot circa 5 cm, is terug te voeren op berekeningsresultaten voor een afvoer van 5.000 m<sup>3</sup>/s uit tabel 2 op pag. 36 uit [3]. Figuur 3, afkomstig uit [1], is hiermee grofweg<sup>6</sup> in overeenstemming. Bij een deterministische, monotoon stijgende relatie tussen afvoer en waterstand zijn de getallen langs de horizontale as in Figuur 3 te beschouwen als niet-lineair verschaalde herhalings tijden. Voor alternatief VD-W is deze 'waterstandsfrequentielijn' niet monotoon stijgend: de waterstand bevat een sprong omlaag. Als hier rekening mee wordt gehouden, dan wordt de 'waterstandsfrequentielijn' verkregen die met een onderbroken zwarte lijn is ingetekend in Figuur 3. In de oorspronkelijke figuur is het opgaande deel voorafgaand aan de sprong ten onrechte gestippeld ingetekend, waardoor een verkeerde indruk wordt gegeven van het verloop van de 'waterstandsfrequentielijn'. Voor een herhalings tijd van 5.000 jaar (afvoer van ca. 4.800 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen zonder statistische onzekerheid) is het verschil 10 cm (klep) of 15 cm (regelbaar) en steekt het alternatief VD-W ongunstig in plaats van gunstig af tegen het alternatief RD.



**Figuur 3. Waterstanden op locatie Lith voor verschillende Maasafvoeren voor de huidige situatie en bij Reguliere Dijken (RD) en Verbindende Dijken met waterkerende instroomvoorziening VD-W [1]. De onderbroken zwarte lijn geeft de 'waterstandsfrequentielijn' zonder onzekerheden weer bij het alternatief Verbindende dijken volledig regelbaar (VD-W); de debieten langs de horizontale as moeten dan worden gelezen als niet-lineair verschaalde herhalings tijden. Het interessegebied omvat de range aan afvoeren tussen 4.700 m<sup>3</sup>/s en 5.200 m<sup>3</sup>/s.**

Gelet op het bovenstaande is het raadzaam om waterstandsfrequentielijnen op basis van de huidige berekeningsresultaten te construeren en daarmee de effectiviteit van de waterbergende werking van het gebied te bepalen. Dat vereist geen nieuwe modelberekeningen, hooguit een nabewerking/andere weergave van de beschikbare berekeningsresultaten.

Het bovenstaande zou een zo zuiver mogelijk beeld geven van de effectiviteit van de alternatieven voor waterbergende werking van het gebied *volgens de modelberekeningen en onzekerheidsanalyses die tot nu toe zijn uitgevoerd*. Er moet echter worden bedacht dat er in realiteit nog meer onzekerheden/natuurlijke variaties zijn. Het is

<sup>6</sup> Een opvallend verschil is dat in tabel 2 in [3] staat dat de gemiddelde waterstands daling bij verbindende dijken met valklep of met een volledig regelbare kering gelijk is aan 0,00m bij de 1/300-jaar afvoer (2075, W+) van 4.100 m<sup>3</sup>/s terwijl bij reguliere dijken dan sprake is van 0,06m verhoging. In beide gevallen is bij dat debiet echter nog geen sprake van invloed van de waterberging. Het ligt dan ook in de rede dat de waterstandseffecten dan hetzelfde zijn. Mogelijk is in tabel 2 in [2] bij ontbrekende gegevens een waarde van 0,00m ingevuld. In de figuur boven de tabel ontbreken namelijk de waterstandseffecten bij afvoeren lager dan 4.800 m<sup>3</sup>/s.

praktisch onmogelijk om deze allemaal zodanig te modelleren dat daarover geen discussie of twijfel kan bestaan en dat ze vervolgens te verwerken in de kansverdelingen van waterstanden. Vanuit dit perspectief is raadzaam om de uitkomsten niet op een goudschaaltje te wegen. Waterstandsverschillen van bijv. 5 cm vallen in de marge van het berekenbare.

*Het Adviesteam Dijkontwerp geeft onafhankelijk technisch-inhoudelijk advies aan de alliantie Hoogwaterbescherming over de toepassing van de waterveiligheidsbenadering en de nieuwe kennis die hiermee samenhangt. Meer informatie over de adviezen van het Adviesteam Dijkontwerp vind je op de website [www.adviesteamdijkontwerp.nl](http://www.adviesteamdijkontwerp.nl) onder Werkwijze.*