

Ministerie van Infrastructuur en Milieu
T.a.v. de Directeur-Generaal Ruimte en Water
de heer drs. P.R. Heij
Postbus 20901
2500 EX DEN HAAG

Contactpersoon
ir. D.P. de Bake

Datum
1 mei 2015

Ons kenmerk
ENW-15-04

Onderwerp
Adviesvraag GRADE

Telefoonnummer
06 30 38 91 43

Bijlage(n)

Uw kenmerk
lenM/BSK2015/18657

Afschrift aan

Geachte heer Heij,

In een brief van 27 januari 2015, met kenmerk lenM/BSK2015/18657, heeft de directeur Algemeen Waterbeleid en Veiligheid de heer R. Feringa het ENW gevraagd om advies over de bruikbaarheid van de GRADE-methode en de nu beschikbare resultaten van GRADE als basis voor het toetsen en ontwerpen van dijken met behulp van probabilistische berekeningen in het kader van WTI2017 en het ontwerpinstrumentarium. Voor HWBP-projecten waarvan de verkenning start zijn onder meer ontwerpwaterstanden en golfvormen relevant. Deze adviesvraag volgt op het advies GRADE, met kenmerk ENW-13-09, dat het ENW in 2013 aan Rijkswaterstaat heeft gegeven.

Anders dan de tot nu toe gebruikte methode, gebaseerd op statistische extrapolatie van afvoeren afgeleid uit waargenomen waterstanden, gaat GRADE uit van een stochastisch model, dat op basis van een 56-jarige meetreeks voor de Rijn, respectievelijk een 73-jarige meetreeks voor de Maas, een lange reeks (50.000 jaar) van neerslag en temperatuur in de stroomgebieden van de Rijn, respectievelijk de Maas genereert. Die lange reeksen bevatten ook neerslaggebeurtenissen die extremer zijn dan ooit gemeten. Vervolgens vertaalt een hydrologisch model deze neerslag en temperatuur naar afvoeren op de zijrivieren, die op hun beurt dienen als zijdelingse instroomcondities voor een hydrodynamisch model dat het verloop van de afvoergolf in de hoofdriever berekent, rekening houdend met mogelijke overstromingen in Duitsland.

De concrete vragen die in bovengenoemde brief zijn geformuleerd worden hieronder beantwoord en waar nodig voorzien van een advies.

1. Kunnen de resultaten van GRADE benut worden voor het bepalen van de afvoerstatistiek, inclusief onzekerheden, bij Lobith en Eijsden? Of is het beter de oude methode (extrapolatie van gemeten afvoeren) toe te passen bij het bepalen van waterstanden voor toetsen en ontwerpen?

Advies:

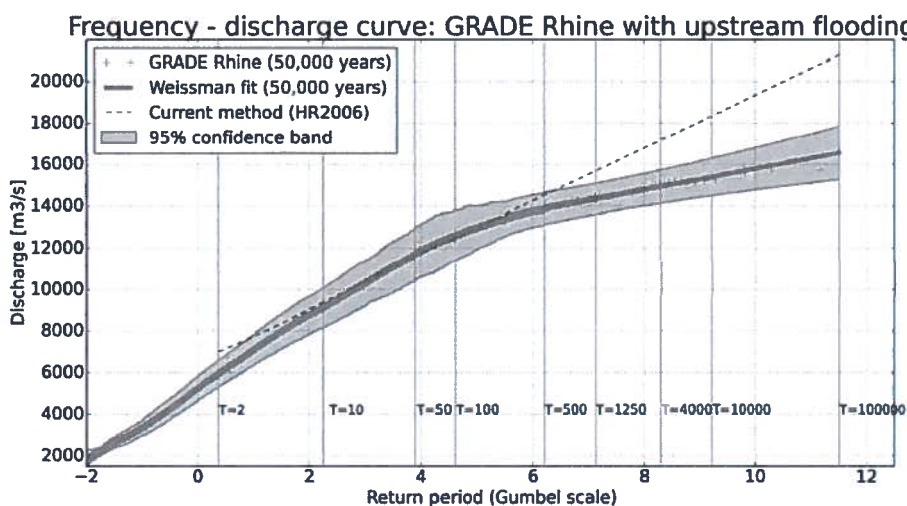
Rijn: Het ENW adviseert vanaf nu de GRADE-benadering toe te passen in de toetsings- en ontwerpinstrumentaria voor de Rijn, inclusief de effecten van overstromingen en eventuele noodmaatregelen in Duitsland en rekening houdend - ook in de werklijn - met de onzekerheden die samenhangen met de neerslaggenerator en de hydrologische en de hydrodynamische modellering (ruwheden, overstromingen, noodmaatregelen).

Ten aanzien van de huidige uitkomsten van GRADE voor de Rijn heeft het ENW echter nog enige bedenkingen, zoals moge blijken uit de antwoorden op de volgende vragen. Aanbevolen wordt die bedenkingen op zo kort mogelijk termijn weg te nemen.

Maas: Voor het advies met betrekking tot de Maas wordt verwezen naar het antwoord op vraag 3.

Toelichting:

De huidige methode is gebaseerd op een ca. 100-jarige meetreeks, waaruit vervolgens via een statistische extrapolatiemethode ontwerpafvoeren worden afgeleid die veel hoger zijn dan ooit gemeten, met een overschrijdingskans van 1/1250 per jaar. Omdat sinds bijna een eeuw geen massale overstromingen hebben plaatsgevonden in het Rijnstroomgebied, kan het effect daarvan ook niet worden meegenomen in de statistische extrapolatie van gemeten afvoeren. Zonder GRADE zou bij de nieuwe veiligheidsbenadering en -normering dan ook een 'blinde' extrapolatie nodig zijn tot overschrijdingskansen van 1/30.000 tot 1/100.000 per jaar (zie Fig. 1)



Figuur 1. De werklijn voor de afvoer bij Lobith volgens GRADE (blauw / groen) vergeleken met die volgens de huidige methode (HR2006).

Bron: Hegnauer et al., 2014.



Op basis van hydraulische modellering (onder andere met de hydrodynamische modellen die nu in GRADE zijn opgenomen, maar ook met 2-D-berekeningen) en expert judgement van de Duitse rivierbeheerders weten we dat hoge afvoeren met een kans van voorkomen kleiner dan 1/100 per jaar door overstromingen langs de Oberrhein en kleiner dan 1/200 tot 1/500 per jaar langs de Niederrhein in Duitsland afgetopt zullen worden. De huidige statistische methode biedt geen mogelijkheid om de effecten daarvan op een wetenschappelijk verantwoorde manier mee te nemen.

De benadering volgens GRADE is in principe superieur aan de tot nu toe gebruikte statistische extrapolatie van 'gemeten' afvoeren. GRADE gaat uit van een 50.000-jarige reeks van neerslag en temperatuur, inclusief gebeurtenissen die extremer zijn dan ooit gemeten. Daardoor kan worden volstaan met extrapolatie over een kleiner traject (van 1/50.000 naar 1/100.000). Daarbij wordt opgemerkt wordt dat er ook in GRADE weliswaar een vorm van extrapolatie plaatsvindt (van de 56-jarige, respectievelijk 73-jarige meetreeksen in Rijn en Maas) om extreme neerslaggebeurtenissen te genereren met relatief zeer kleine kans van voorkomen, maar dat tussenresultaten van de trits meteorologie, hydrologie en hydraulica consequent aan metingen en/of fysica zijn gecheckt.

Daarnaast biedt het hydrodynamische model de mogelijkheid overstromingen in Duitsland in rekening te brengen, zodat de bovengenoemde aftopping van de afvoer wordt meegenomen en geeft GRADE behalve een werklijn ook informatie over onzekerheden en golfvormen. Belangrijke geotechnische aspecten (dijksterkte, diverse bezwijkmechanismen) die mede bepalend zijn voor de overstromingskans hangen af van het tijdsverloop van de hydraulische belasting, dus van de golfvorm. GRADE berekent deze voor elk van de geproduceerde afvoergolven, met als resultaat een breed scala van golfvormen. Dat roept overigens de vraag op of de oude methode van opschaling van een standaardafvoergolf voldoende realistisch is in termen van onzekerheden.

2. *GRADE geeft nieuwe inzichten in de effecten van overstromingen in Duitsland. Deze effecten zijn significant, zeker bij overstap naar strengere normen in het rivierengebied. Zijn de methode en de uitgangspunten voor overstromingen in Duitsland bij hoge rivierafvoeren in GRADE voldoende uitgewerkt en onderbouwd? Kan het ENW zich vinden in de onderbouwing, uitwerking en effect van noodmaatregelen in Duitsland? Adviseert het ENW de effecten van overstromingen in Duitsland mee te nemen in de afvoerstatistiek bij Lobith?*

Advies:

Het ENW adviseert:

- de effecten van overstromingen in Duitsland mee te nemen in de afvoerstatistiek bij Lobith.

Diverse elementen worden echter nog onvoldoende uitgewerkt en onderbouwd geacht. Om hierin te voorzien adviseert het ENW:

- de methode en de uitgangspunten voor het meenemen in GRADE van overstromingen in Duitsland bij hoge rivierafvoeren nader aan te scherpen, met name op het traject direct bovenstrooms van Lobith;
- de modellering van de noodmaatregelen in Duitsland beter te onderbouwen, gezien de grootte van de effecten op de afvoer bij Lobith (circa 1000 m³/s);
- voldoende aandacht te besteden aan de onderlinge consistentie van het omgaan met onzekerheid in de hydraulische ruwheid in het Duitse en het Nederlandse deel van de Rijn en aan de mate van correlatie daartussen.

Toelichting:

In samenwerking met de waterbeheerders van de Duitse deelstaten en de Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) en gebruik makend van expert judgement (bovenstrooms van Andernach) en 2-D WAQUA-berekeningen en overstromingsmodellen (benedenstrooms van Andernach) zijn voor het berekenen van de (effecten van) overstromingen in Duitsland schematisaties gemaakt voor het 1-D hydrodynamische model SOBEK. Deze zijn wat betreft het rivierbed gebaseerd op de geometrie van 2005, wat betreft de retentiemaatregelen en dijkverleggingen op de situatie van 2010 en wat betreft de waterkeringen op de beoogde situatie in 2020. Het model is afgeregeld op relatief recente hoogwaters (vanaf 1988 en dus niet op dat van 1926, bijvoorbeeld), volgens de rapportage van de BfG met een maximale afwijking van 10 cm. Het ENW heeft echter geen duidelijk beeld gekregen van de wijze waarop de inhoudelijke kwaliteit van dit model is beoordeeld.

Voor de Duits-Franse Bovenrijn (Maxau-Bingen) zijn 'retentiebekkens' in het SOBEK-model ingebouwd met een in- en uitlaat, die open gaan zodra het water de kruinhoogte van de dijk bereikt. Voor de Niederrhein is een schematisatie gekozen die bestaat uit 'retentiebekkens' en 'bypasses'. De eerste opzet van deze schematisatie is gebaseerd op de resultaten van een 2-D Delft-FLS-model, later heeft een aanpassing plaatsgevonden op basis van de resultaten van een WAQUA-model (zie rapport Hegnauer en Becker, 2013).



Uit de WAQUA-berekeningen blijkt dat bij zijdelingse afstroming over de kruin de verhanglijn al na korte afstand samenvalt met de kruinlijn, dus dat het overige debiet over korte afstand de dijk over gaat. Omdat dit type afstroming in een 1-D model niet is weer te geven, is het effect 'gemodelleerd' als een retentiemaatregel met in- en uitstroming, of als een lokale uitstroming, beide gekalibreerd aan de resultaten van WAQUA. De inlaat opent zich geleidelijk tot aan maaiveldhoogte, waardoor een dijkdoorbraak wordt gesimuleerd (zie rapport Barneveld, 2011). Bij een dijkdoorbraak wordt verondersteld dat de maximale breedte van de bres (200 m) en de maaiveldhoogte in 30 uur worden bereikt.

Ook hier wordt aangenomen dat er overstroming plaatsvindt zodra de waterstand in de rivier de kruinhoogte bereikt. Bij dijken ontstaat dan een bres op de hierboven beschreven wijze, bij alle andere keringen (zoals hoogwatermuren, mobiele waterkeringen, etc.) stroomt het water over de kruin. In totaal kunnen er op 46 plaatsen langs de Niederrhein overstromingen plaatsvinden.

Het effect van overstroming van de grensoverschrijdende dijkkring 48 (ten noorden van de rivier) is in deze berekeningen meegenomen als een lokale uitstroming ('negatieve toestroom'), met een maximaal uitstroomdebiet van 60 m³/s. Dit is te verwaarlozen ten opzichte van de dan optredende zeer hoge afvoer. Het is de vraag of dit realistisch is en of niet beter een fysiek maximum kan worden aangenomen, d.w.z. dat de maximale afvoer bij Lobith gelijk is aan de maximale afvoer tussen de dijken, terwijl al het overige water over de dijk verdwijnt en niet meer terugkomt. In de beoogde situatie van de dijken van 2020 wordt deze maximale afvoer bij Lobith geschat op 18000 m³/s. Rekening houdend met de 2 km lange keermuur bij Emmerich, die een halve meter lager is dan de dijken op dit traject, wordt dit mogelijk meer dan 1000 m³/s minder. Dit verschil is dermate groot ¹, dat de onzekerheid over dit effect tot een minimum moet worden beperkt.

Daarbij wordt opgemerkt dat deze extreme afvoeren op het traject van de dijkringen 48 en 42 (de ten zuiden van de rivier gelegen grensoverschrijdende dijkkring) slechts in heel zeldzame gevallen worden bereikt (SOBEK: in slechts 16 van de 250 in de onzekerheidsanalyse uitgevoerde berekeningen). Dit komt doordat verder bovenstrooms (tussen Krefeld en Xanten) een groot mijnverzakkingsgebied (D-027 in de SOBEK-codering) als retentiegebied fungeert en terugstroming belemmerd wordt door relatief hoge dijken ter plaatse.

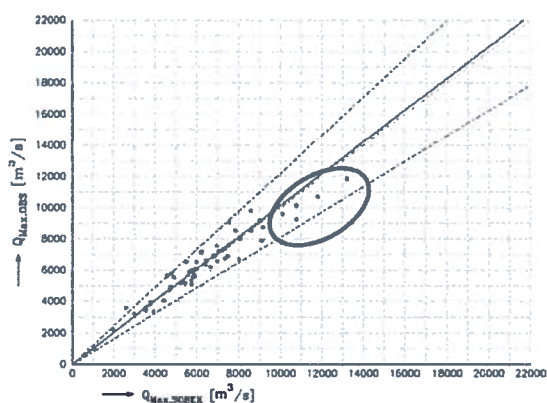
Momenteel worden voorbereidingen getroffen om een risico-analyse uit te voeren voor de grensoverschrijdende dijkringen en zal er een update plaatsvinden van het WAQUA-model voor dit deel van de rivier. De resultaten daarvan zullen beschikbaar komen voor een volgende versie van GRADE, maar het lijkt verstandig daar nu al op te anticiperen voor wat betreft de voor het WTI en het OI relevante effecten op de afvoerstatistiek bij Lobith. Een beschrijving van de systeemwerking langs de Niederrhein is gegeven in Lammersen (2004).

Bij het bepalen van het al dan niet ontstaan van een bres wordt geen rekening gehouden met golfoverslag: een bres ontstaat alleen bij overloop. Dit uitgangspunt heeft tot gevolg dat de berekende afvoeren bij Lobith mogelijk hoger uitkomen dan in werkelijkheid het geval is. In de

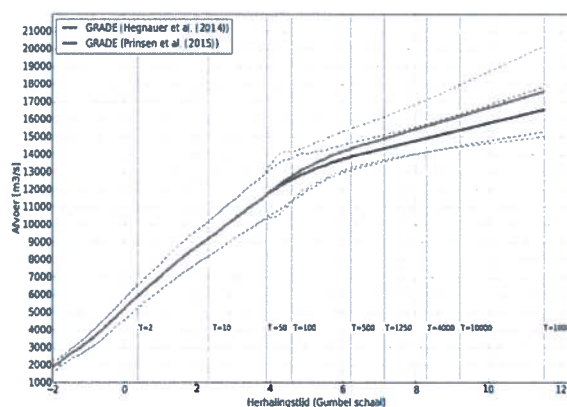
¹ Ter vergelijking: 1000 m³/s is de extra afvoer die wordt geacommodeerd via de ingrepen in het kader van het programma Ruimte voor de Rivier.

onzekerheidsanalyse is met dit effect geen rekening gehouden, anders dan via een onzekerheidsmarge in de kruinhoogte, maar wel met de situatie dat er bij overlopen helemaal geen bres optreedt (met een kans van voorkomen van 50%). Het is lastig om zonder nieuwe berekeningen de effecten van deze aannamen te doorgronden, temeer omdat WAQUA-berekeningen hebben laten zien dat het meenemen van dijkdoorbraken in plaats van het overlopen van de dijk niet altijd dezelfde kant op werkt (Paarlberg, 2014). Wanneer echter op korte afstand bovenstrooms van Lobith, zoals bij dijkkring 48, het uitstromende water niet meer terugkeert in het systeem, zullen de hoogste afvoeren bij Lobith worden overschat als dit effect niet of onvoldoende wordt meegenomen.

Uit de scatterplots waarin gemeten en berekende afvoeren met elkaar worden vergeleken blijkt een overschatting door het hydrodynamische model van de hoogste gemeten afvoeren (zie Fig. 2). Dit zou kunnen duiden op een systematische fout in het model bij hogere afvoeren. De geconstateerde afwijking komt waarschijnlijk voort uit een systematische overschatting van de afvoer aan de bovenstroomse modelrand (Maxau) door het hydrologische model. Deze is het gevolg van het niet goed meenemen van de demping door de retentiegebieden in de Oberrhein. In extreme situaties zitten deze gebieden vol en is er niet langer sprake van een overschatting van de afvoer bij Maxau. Daarom is het niet waarschijnlijk dat deze systematische fout nog invloed heeft op (c.q. geëxtrapoleerd moet worden naar) afvoeren veel hoger dan gemeten. Bovendien is bij deze afvoeren niet het debiet aan de bovenstroomse rand van het model de bepalende factor voor de piekafvoeren bij Lobith, maar veeleer het dempende effect van overstromingen onderweg.



Figuur 2. Piekafvoeren bij Lobith volgens GRADE vergeleken met waarnemingen; de rood omrande punten zouden kunnen wijzen op een systematische fout in het model (bron: Hegnauer et al., 2014).



Figuur 3. Verwachtingswaarde en onzekerheidsband van de piekafvoer bij Lobith, zonder (grijs) en met (blauw) onzekerheden in het hydrodynamische model (bron: Prinsen et al., 2015).

In de onzekerheidsanalyse zijn de effecten van onzekerheden in de meteorologie, de hydrologie en de hydraulica (alleen voor de Rijn) op de afvoer bij Lobith en Eijsden bepaald. Op verzoek van het ENW is de analyse van de onzekerheden in de resultaten van het hydrodynamische model van de Rijn uitgebreid, waardoor de kwaliteit van dit deel van de onzekerheidsanalyse is toegenomen.



Het ENW constateert dat de onzekerheidsanalyse niet alleen een aanzienlijke spreiding in de afvoer bij Lobith te zien geeft, maar ook een substantiële toename (ca 1000 m³/s) van de verwachtingswaarde (Fig. 3 en Tabel 1), voornamelijk als gevolg van de aangenomen kansverdeling van de noodmaatregel 'zandzakken' (parabolische kansverdeling van de laagdikte op de kruin tussen 0 en 0.5 m). Omdat het hier gaat om grote effecten, is het ENW van mening dat de wijze van verdisconteren van deze onzekerheden verdere aanscherping, c.q. onderbouwing behoeft.

Herhalingstijd (jaar)	GRADE incl. noodm. (Prinsen et al., 2015) (m ³ /s)	GRADE origineel (Hegnauer et al., 2014) (m ³ /s)	Werklijn HR2006 (m ³ /s)
5	7970	7970	8540
10	9130	9130	9570
50	11710	11710	11820
100	12770	12580	12750
500	14400	13890	14840
1250	14970	14350	16000
10000	16270	15400	18590
100000	17710	16560	

Tabel 1. Vergelijking van de piekafvoeren bij Lobith volgens de diverse beschouwde methoden

Ook lijken de aannamen op sommige terreinen onnodig conservatief. Dit geldt bijvoorbeeld voor de noodmaatregel 'zandzakken'. Aangenomen wordt dat deze maatregel gelijktijdig op alle dijken langs de rivier wordt uitgevoerd, zij het in van berekening tot berekening verschillende laagdikten. Het geldt ook voor het moment van doorbreken van de waterkeringen ('kerend tot de kruin').

De onzekerheidsanalyse is in stapjes uitgevoerd en geschematiseerd. Dit is in principe een goede aanpak, maar het is wel belangrijk dat de samenhang wordt behouden. Zo wordt in de onzekerheidsanalyse voor de Rijn om praktische redenen per afvoerniveau gewerkt met een beperkt aantal golfvormen, maar het ENW heeft geen onderbouwing gevonden dat dit ook verantwoord is.

Een speciaal punt van aandacht is de samenhang tussen de wijze waarop onzekerheid in de ruwheid is benaderd in GRADE (dus in het Duitse deel van de Rijn) en de manier waarop hiermee wordt omgegaan in het Nederlandse deel (via een onzekerheidstoets). Het zou fysisch niet erg realistisch zijn een lage ruwheid in het Duitse deel (leidend tot een relatief hoge afvoer bij Lobith, omdat er dan in Duitsland dankzij de lagere waterstanden minder overstromingen plaatsvinden) te combineren met een gemiddelde of hoge ruwheid in het Nederlandse deel. Het verschil in benaderingswijze brengt het gevaar met zich mee dat onbedoeld dergelijke niet-fysische combinaties worden meegenomen, waardoor de belasting op de waterkeringen in Nederland mogelijk te hoog wordt geschat.

3. *Voor de afvoerstatistiek van de Maas bij Eijsden wordt voorgesteld om het effect van overstromingen in België niet mee te nemen omdat hier nog onvoldoende gegevens over zijn. Eerste indicatieve studies wijzen erop dat het effect gering is. Is deze aanpak acceptabel of zijn er betere alternatieven?*

Advies:

Het ENW adviseert voor wat betreft de Maas:

- voor de bepaling van de afvoerstatistiek bij Eijsden vooralsnog uit te gaan van GRADE zonder overstromingen, maar inclusief de voor GRADE bepaalde onzekerheden;
- op korte termijn een nadere studie uit te doen voeren naar de effecten van het al dan niet meenemen van overstromingen in België op de afvoerstatistiek onder extreme condities bij Eijsden, inclusief de onzekerheden daarin, en te zorgen dat binnen een jaar resultaten beschikbaar zijn die inzicht geven in de gevolgen van die overstromingen voor de afvoerstatistiek voor het Nederlandse deel van de Maas;
- als dit leidt tot een significante afwijking van de in het Deltaprogramma gehanteerde werklijn inclusief klimaateffecten, deskundigenadvies in te roepen voor de te maken keuzen met betrekking tot de toetsings- en ontwerpinstrumentaria voor de Maas.

Toelichting:

Het effect van bovenstrooms overstroom van de Maas is momenteel niet in GRADE opgenomen op grond van de volgende argumentatie:

“De Maas stroomt in de Ardennen door een dal zonder grote overstromingsvlakten zoals uiterwaarden. Van topverflakking is daar nauwelijks sprake. Pas in de omgeving van Luik kunnen grootschalige overstromingen plaatsvinden, met name in de mijnverzakkingsgebieden daar. De overstromingen bij Luik treden al op bij 3100 m³/s (kans van voorkomen 1/100 per jaar), maar dan blijkt er nog nauwelijks sprake van een effect op de top. In het INTERREG-kader is een afvoer van 4000 m³/s (kans van voorkomen 1/1000 per jaar) doorgerekend inclusief overstromingen, met als resultaat 3% verlaging van de afvoerpiek bij Eijsden ten opzichte van de situatie zonder overstromingen. In tegenstelling tot bij de Rijn is er dus bij de Maas slechts een beperkte golfdemping door overstromingen in België bij een kans van voorkomen van 1/1000 per jaar en groter.”

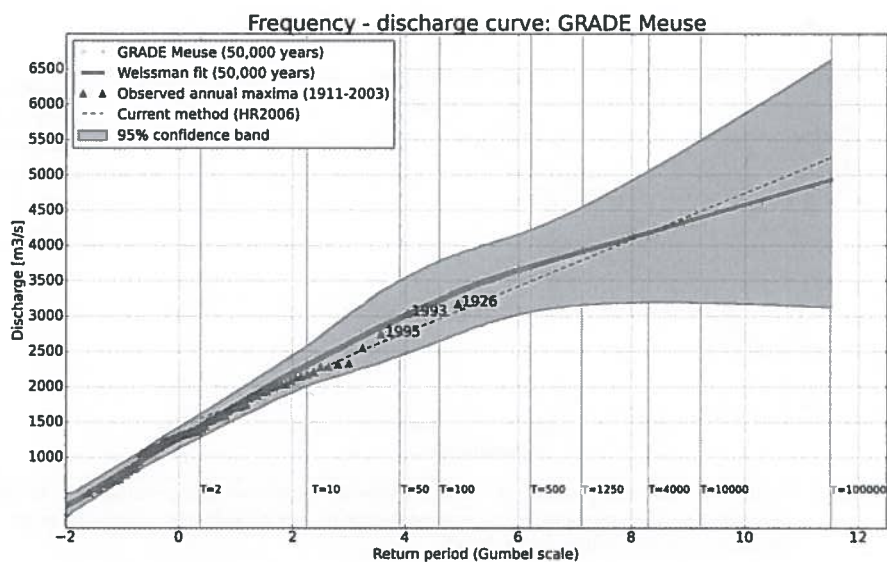
Als dit ook voor hogere afvoeren zou gelden, zou het betekenen dat de tot nu toe gehanteerde fysiek maximale afvoer van 4600 m³/s bij Eijsden niet van toepassing is (zie Fig. 4). Een beschouwing die dit onderbouwt of juist weerlegt is echter essentieel.

Rijkswaterstaat heeft de Universiteit Luik opdracht gegeven om een berekening te maken met een afvoer van 5000 m³/s, inclusief overstromingen, voor één bepaalde vorm van de afvoergolf. Deze studie wordt afgerond in mei 2015. De resultaten zullen worden gebruikt om met GRADE:

- te bepalen of er door overstromingen, met name rond het mijnverzakkingsgebied bij Luik, een significante demping van de afvoergolven optreedt,

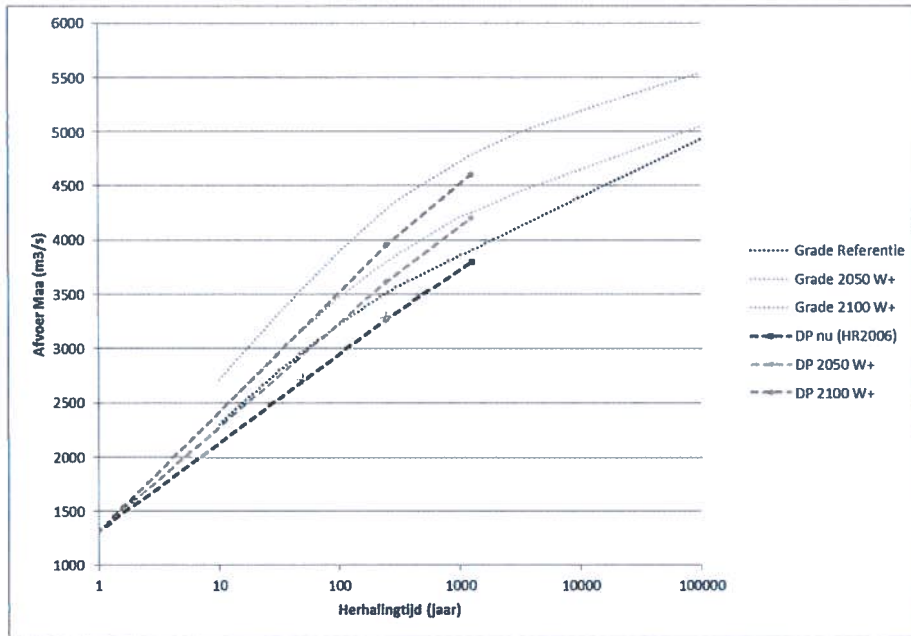


- als dit een significant effect is, op basis van de resultaten (instroomhoogtes, overstromingsvlakte en -diepte) ook voor de Maas het SOBEK-model aan te passen, zodat overstromingen meegenomen kunnen worden.



Figuur 4. Werklijnen voor de afvoer bij Eijsden, volgens de huidige extrapolatiemethode (HR2006) en volgens GRADE (blauw/groen). Daarnaast zijn de gemeten jaarmaxima weergegeven.
Bron: Hegnauer et al. 2014.

In het Deltaprogramma is uitgegaan van een fysiek maximum van 4600 m³/s bij Eijsden, een afvoer die optreedt bij kansen van voorkomen van 1/1250 per jaar en kleiner. De werklijn die in het Deltaprogramma gebruikt is komt bij een kans van voorkomen rond 1/1250 per jaar ongeveer overeen met die volgens GRADE (exclusief overstromingen; zie Fig. 5). Meenemen van overstromingen leidt tot afbuiging van de werklijn, maar brengt ook onzekerheden met zich mee. Een en ander rechtvaardigt op dit moment een pragmatische keuze tussen beide benaderingen. De eerder genoemde voordelen van GRADE, zoals de mogelijkheid overstromingen mee te nemen, onzekerheidsanalyses uit te voeren en informatie te verkrijgen over de spreiding in golfvormen, alsmede consistentie met de methode die voor de Rijn wordt gehanteerd, zijn argumenten om te kiezen voor GRADE, vooralsnog echter zonder overstromingen, totdat hierover meer onderzoeksresultaten beschikbaar zijn gekomen.



Figuur 5. Werklijnen voor de Maas zoals gebruikt in het Deltaprogramma bij de verschillende zichtjaren (W+ scenario)(dikke stippellijnen) en volgens GRADE (dunne stippellijnen, ongepubliceerde resultaten voor de zichtjaren 2050-2100).



4. *Is het wenselijk om de inzichten uit GRADE, inclusief de uitgangspunten voor overstromingen in Duitsland en België, ook te benutten voor het bepalen van ontwerpwaterstanden voor HWBP projecten die nu de verkenning starten?*

Advies:

Het ENW adviseert:

- voor het ontwerpinstrumentarium uit te gaan van GRADE, inclusief onzekerheden en de daaruit resulterende aanpassing van de werklijn.

Toelichting:

De toetsings- en ontwerpinstrumentaria moeten onderling consistent zijn. In dat licht bezien is het ontwerpinstrument voor waterveiligheid in de kern gelijk aan het WTI, maar uitgebreid met tijdsafhankelijke elementen zoals klimaatverandering en additionele onzekerheden (ten opzichte van de toetsing). Dit betekent dat wordt uitgegaan van GRADE, temeer omdat de extra informatie die GRADE levert (tijdsverloop afvoer, onzekerheden) nodig is voor een 'toetsbestendig' ontwerp.

De stabiliteit van het GRADE-instrumentarium, d.w.z. de kans dat ruim voor het einde van de beoogde levensduur van een maatregel de resultaten van GRADE dermate veranderen dat ingrijpende aanpassingen van de constructie nodig zijn, is voor het ENW moeilijk vast te stellen (zie vraag 2).

De onzekerheidsmarges in de GRADE-resultaten zijn aanzienlijk en bevatten ook nog kennis-onzekerheden, met name met betrekking tot de ruwheid onder extreme, nog nooit bemeeten condities. Het effect van een verkleining van die kennisonzekerheden blijft niet beperkt tot de breedte van de onzekerheidsband, maar kan ook de verwachtingswaarde (en dus de werklijn) beïnvloeden. De nu nog relatief grote onzekerheid lijkt te leiden tot een mogelijk te conservatieve werklijn, hetgeen onnodig zware ontwerpen en hoge kosten kan opleveren (zie ook de volgende alinea).

Bij het ontwerpen wordt ook rekening gehouden met klimaatverandering volgens het W+ scenario. Onder Vraag 5 over de doorontwikkeling van GRADE wordt een aanbeveling gegeven over de keuze van het klimaatscenario.

5. Welke aanbevelingen heeft het ENW voor de doorontwikkeling van GRADE ten behoeve van het Ontwerpinstrumentarium 2018 en het WTI 2023? Kunt u hierbij aangeven welke verbeteringen prioriteit hebben in het licht van alle ontwikkelingen op het gebied van waterveiligheid?

Op grond van de bovengenoemde observaties beveelt het ENW de volgende onderzoeken aan voor de doorontwikkeling van GRADE, in volgorde van afnemende prioriteit:

1. de effecten van overstromingen in België op de afvoerstatistiek bij Eijsden bepalen;
2. in het GRADE-instrumentarium SOBEK voor de Duitse Niederrhein vervangen door WAQUA (of een evenwaardig 2-D model) en de rivier- en dijkschematisaties actualiseren en verbeteren (kerend tot de kruin, golfoverslag-effecten, bresvorming, etc.);
3. de keuze voor het te hanteren klimaatscenario nader te onderbouwen, mede omdat het vanuit economisch perspectief een 'gemiddeld' klimaatscenario de voorkeur heeft boven het (nu veelal gehanteerde) 'meest extreme' W+ scenario. Het klimaatscenario is één van de onzekerheden waarmee in het ontwerp rekening wordt gehouden;
4. de onderlinge consistentie van de WTI-aanpak in Nederland en de GRADE-aanpak in Duitsland vergroten (zie ook vraag 2);
5. de 'berekende statistiek' uitbreiden tot voorbij 1/25.000 per jaar (te verkrijgen op basis van de 50.000-jarige neerslagreeks), ter vervanging van de momenteel gehanteerde extrapolatie in het extreme bereik;
6. de kennisonzekerheden in GRADE verkleinen (zie ook vraag 4);
7. de relevante afvoerstatistiek voor de *bedijkte* Maas bepalen, rekening houdend met overstromingen in België *en* langs de onbedijkte Maas; dus GRADE voor de Maas uitbreiden tot Mook;
8. onderzoek doen naar de betekenis van de dijken langs de Duitse Niederrhein voor de veiligheid in Nederland, mede gezien hun belang voor de afvoerverdeling, en naar de vraag hoe deze volgens de Nederlandse risicobenadering zouden moeten worden genormeerd;
9. een GRADE-benadering toepassen op de Overijsselse Vecht;
10. nagaan wat de effecten zijn van de extrapolatie van 56-, respectievelijk 73-jarige neerslagreeksen, door bij wijze van gevoeligheidsanalyse uit te gaan van de 800-jarige synthetische reeks die door het KNMI is afgeleid met behulp van een klimaatmodel.

Wat betreft het management van de GRADE-ontwikkeling adviseert het ENW:

- te zorgen voor continuïteit in de doorontwikkeling van het instrumentarium en de onderliggende kennis (nieuwe kennis en gereedschappen zijn niet op afroep beschikbaar, voor de ontwikkeling daarvan is tijd nodig);
- de operationele versie van het instrumentarium regelmatig en op van tevoren afgesproken tijdstippen te actualiseren, afgestemd op de actualisering van het WTI- en OI-instrumentarium waar het de hydraulische belastingen betreft.



Ik vertrouw erop u zo voldoende te hebben geadviseerd.

Hoogachtend,

Ir. G. Verwolf
Voorzitter van het Expertise Netwerk Waterveiligheid

Referenties

- Barneveld, H., 2011. SOBEK-Models Rhine for Hval and GRADE including flood areas behind dikes, Rapport PR2140.10, HKV_{consultants}/HKV_{contor} Lelystad/Aachen.
- Hegnauer, M., Beersma, J.J., Van den Boogaard, H.F.P., Buishand, T.A., Passchier, R.H., 2014. Generator of Rainfall and Discharge Extremes (GRADE) for the Rhine and Meuse basins: Final report of GRADE 2.0. Deltares report 1209424-004-ZWS-0018, Delft, The Netherlands.
- Hegnauer, M. en A. Becker, 2013. Technical Documentation GRADE, part II: Models Rhine. Deltares Rapport 1207771-003-ZWS-0013, Delft.
- Lammersen R., 2004. Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein, final report, Deutsch-Niederländische Arbeitsgruppe Hochwasser, Düsseldorf, Germany (also available in Dutch, Arnhem, The Netherlands).
- Paarlberg, A., 2014. GRADE Niederrhein, Dijkoverstroming versus dijkdoorbraak; Rapport PR2942.10, HKV-Lijn in Water
- Prinsen, G., van den Boogaard, H., Hegnauer, M., 2015. Onzekerheidsanalyse hydraulica in GRADE, Deltares Rapport 1220082-010-HYE-0001, Delft.