

Hoogwaterbescherming langs de Rijntakken

Onzekerheden en omgaan met onzekerheden



C 23581-2



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Avalwaterbehandeling/RIZA

In dit werkdocument wordt in beginsel de visie van de auteur weergegeven, niet noodzakelijkerwijs die van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat.



Rijkswaterstaat/RIZA
Rijksinstituut voor
integraal Zoetwaterbeheer en
Afvalwaterbehandeling
Documentatie
Postbus 17
8200 AA Lelystad

Hoogwaterbescherming langs de Rijntakken

Onzekerheden en omgaan met onzekerheden

Dit werkdocument betreft een concept. Binnenkort zal de inhoud worden uitgebreid met een bespiegeling van de onzekerheden in het benedenrivierengebied. Daarna zal het werkdocument definitief worden gemaakt.

Wim Silva
RWS/RIZA
Werkdocument nr. 2000.179X
6 maart 2001

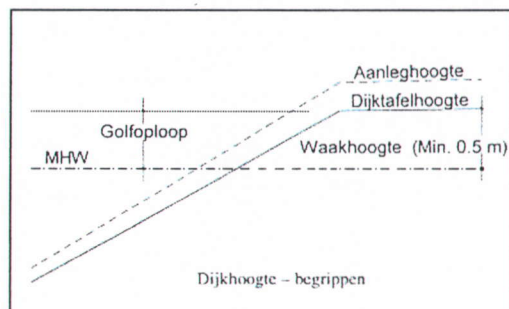
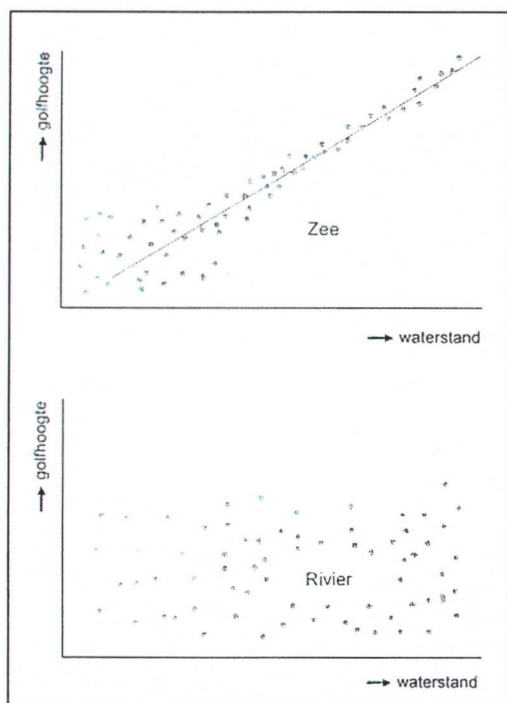
Waakhoogte en onzekerheden in de berekening van de maatgevende hoogwaterstanden

Bij de bepaling van de dijkhoogte wordt uitgegaan van de maatgevende waterstand die de dijk uiteraard moet kunnen keren. Op de Rijntakken wordt deze waterstand volledig gedomineerd door de afvoer: opwaaiing door wind, zoals in het benedenrivierengebied, speelt geen rol. Een andere belangrijke parameter bij het ontwerphoogte van de dijk is golfploop door wind. Door (langdurige) golfploop kunnen dijken verweken of bezwijken door uitspoeling van grond. Overigens is er, in tegenstelling tot langs de kust, voor rivieren geen verband tussen golfploop en waterstand: hoge rivierafvoeren kunnen zowel zonder als met sterke wind optreden.

De golfploop wordt bepaald uitgaande van een bepaalde windrichting en -sterkte en de daarbij behorende golven, rekening houdend met de geometrie van het voorland en het buitentalud. De maatgevende waterstand met daarbij opgeteld de golfploop geeft de dijktafelhoogte. Verder wordt rekening gehouden met klink van het dijklichaam en zetting van de ondergrond over een bepaalde onderhoudsperiode om te voorkomen dat de hoogte van de dijk lager wordt dan de nodige dijktafelhoogte. Dit leidt tot de zogenaamde aanleghoogte. Het verschil tussen dijktafelhoogte en maatgevende waterstand wordt waakhoogte genoemd. Daarvoor wordt doorgaans 0,5 m aangehouden, ook wanneer de berekende golfploop lager is. Dit wordt onder andere gedaan in verband met onzekerheden in de bepaling van de maatgevende waterstanden en om er voor te zorgen dat er een goed berijdbare kruin is bij extreem hoogwater. Het laatste voor onder meer het inspecteren van de dijken, de aanvoer van materialen bij dreigende dijkdoorbraak en het opruimen van drijfhout dat de dijk kan beschadigen.

Een paar rekenvoorbeelden. Als de golfploop 0,1 m bedraagt, resteert bij een waakhoogte van 0,5 m voor de opvang van onzekerheden in de berekening van de maatgevende waterstanden 0,4 m dijkhoogte. Bij een golfploop van 0,4 m is dit getal 0,1 m. Als de golfploop gelijk is aan 0,6 m, komt de waakhoogte ook op 0,6 m te liggen en is er dus geen ruimte beschikbaar voor genoemde onzekerheden. Dus: naarmate de golfploop groter wordt, neemt de reserve voor onzekerheden af om uiteindelijk tot nul te worden gereduceerd als de golfploop een waarde van 0,5 m overschrijdt.

Als we de berekende golfploop van de dijken langs de Rijntakken afzonderlijk bekijken, blijkt er een behoorlijke variaties op te treden: ruwweg van enkele dm's voor de IJssel tot wel 1 m voor de Boven-Rijn en Waal. Langs eenzelfde Rijntak zijn ook grote variaties mogelijk, afhankelijk van onder meer de ligging van de rivier ten opzichte van de maatgevende windrichting, de breedte van het rivierbed en de waterdiepte bij extreem hoge afvoeren. De consequentie hiervan is dat ook de mate waarin onzekerheden in de bepaling van de maatgevende waterstanden zijn verdisconteerd in de dijkhoogte langs de Rijntakken sterk varieert. Vooral langs de IJssel lijken de dijken enige 'overhoogte' te hebben om die onzekerheden op te vangen.



Verband tussen golven en waterstand bij zee en rivier

Uit (TAW, 1998)

Waarom deze notitie?

In februari 2000 is door de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat de discussienotitie Ruimte voor de rivier gepresenteerd. In deze notitie wordt, met het oog op het probleem van toenemende rivierafvoeren, een voorlopig standpunt geformuleerd over de gewenste oplossingsrichting op de lange termijn en over te nemen maatregelen op de korte termijn. Het standpunt is onder meer gebaseerd op de resultaten van de studies 'Ruimte voor Rijntakken' (RvR) en 'Integrale Verkenning Benedenrivierengebied' (IVB).

In de discussienotitie is een kaart opgenomen waarop 'Ruimtelijke reserveringen ten behoeve van hoogwaterbescherming' zijn weergegeven. De kaart moet worden gezien als een inbreng van het ministerie van V&W ter voorbereiding van de Vijfde Nota Ruimtelijke Ordening. De ruimtelijke reserveringen hebben behalve op het winterbed van de rivieren betrekking op kansrijke binnendijkse maatregelen als retentiegebieden, groene rivieren bij stedelijke knelpunten en overloopgebieden in noodsituaties. De laatste categorie maatregelen, ook wel calamiteitengebieden genoemd, vormt het (logische) uitvloeisel van het beleidsuitgangspunt zoals dat in de Vierde Nota Waterhuishouding is verwoord, namelijk dat wanneer waterstanden in de rivier optreden waarop de dijken niet berekend zijn, het gecontroleerd inunderen van een gebied de voorkeur geniet boven het ongecontroleerd overstromen. Het kaartje en in het bijzonder de noodoverloopgebieden hebben geleid en leiden nog steeds tot heftige discussies in de Nederlandse samenleving.

Het feit dat dijken kunnen overstromen hangt voor een belangrijk deel samen met de onzekerheden waarmee de hoogwaterbescherming is omgeven. In deze notitie worden, na een toelichting op de factoren die een dijkontwerp bepalen, deze onzekerheden op een rij gezet. Aangegeven wordt wat er met ons beveiligingssysteem mis kan gaan en wat we in een dergelijke situatie kunnen doen. Het accent ligt op de (on)mogelijkheden van de inzet van noodoverloopgebieden. Daarbij worden uitsluitend de rivierkundige aspecten belicht: bestuurlijke, juridische en sociaal-economische aspecten blijven dus buiten beschouwing.

Deze notitie is op basis van beschikbare informatie opgesteld en richt zich op de Rijntakken. Opdrachtgever is het Hoofdkantoor van Rijkswaterstaat. Alhoewel specifieke verschillen in onzekerheden tussen de Rijntakken en Maas zijn aan te wijzen, zijn de algemene principes net zo goed op de Maas van toepassing. Een belangrijke bron van informatie is het RvR-rapport 'Wat het onderzoek ons heeft geleerd' waarin uitgebreid op onzekerheden rond de hoogwaterbescherming wordt ingegaan.

Hoe worden rivierdijken gedimensioneerd?

Dijken worden qua hoogte, breedte en talud zodanig ontworpen dat ze hoogwater gedurende een bepaalde tijdsduur kunnen tegenhouden. Voor het ontwerp zijn er technische leidraden. Een belangrijk vertrekpunt vormt de maatgevende hoogwaterstand, dit is de waterstand die de dijk nog veilig moet kunnen keren. Deze waterstand heeft een bepaalde kans van voorkomen die samenhangt met het beschermingsniveau dat voor de verschillende dijkkringgebieden is gekozen. Deze beschermingsniveaus - of ook wel veiligheidsnormen - zijn in de Wet op de waterkering vastgelegd. Zo hebben de dijkringen langs de Rijntakken vrijwel alle een beschermingsniveau van 1/1.250, dat wil zeggen: de kans dat de rivierwaterstand boven de maatgevende waterstand uitkomt, mag in een jaar niet groter zijn dan 1/1.250. In het westen van ons land zijn de beschermingsniveaus beduidend hoger: 1/2.000 oplopend tot 1/10.000 in bijvoorbeeld dijkkring 'Centraal Holland' waartoe vrijwel de gehele Randstad behoort. Dit hangt samen met de grotere economische belangen en bevolkingsdichtheid, maar ook met de moeilijke voorspelbaarheid van storm op zee, waardoor de kans op slachtoffers groter is. Ook is van belang dat zeewater zout is en bij eventuele overstroming grotere schade toebrengt.

Bij de bepaling van de hoogte van de dijk wordt, behalve met de maatgevende hoogwaterstand, rekening gehouden met golfoploop, inklinking van het grondlichaam en een waakhoogte om onder meer de dijk tijdens hoogwater goed begaanbaar houden. Verder moet de dijk breed genoeg zijn in verband met verschillen in draagkracht van de ondergrond en met grondwaterstroming onder en door de dijk waardoor verweking en op den duur afschuiving kan optreden.

Tot welke hoogte kan de afvoer van de Rijn reiken?

Een moeilijk te beantwoorden vraag. Voor natuurverschijnselen als sneeuw, regen en dus ook rivierafvoer bestaan immers geen bovengrenzen. Wel kunnen we hydrologische (meet)gegevens van het stroomgebied op een rij zetten aan de hand waarvan we een indruk van de maximale afvoer kunnen krijgen.

- De 'nieuwe' maatgevende afvoer met een kans van voorkomen van gemiddeld 1/1250 per jaar (of eens in de 1250 jaar) bedraagt 16.000 m³/s. Hogere afvoeren hebben een kleinere kans maar zijn desalniettemin niet uit te sluiten. Zie daarvoor ook het intermezzo over het hoogwater van 1997 op de Oder in Polen.
- De onzekerheidsband (90% betrouwbaarheidsinterval) rond de maatgevende afvoer van 16.000 m³/s ligt tussen 13.000 en 18.500 m³/s.
- Als de hoogst gemeten afvoeren van de zijrivieren van de Rijn, over de periode 1880 tot 1995, bij elkaar worden opgeteld, komen we op ongeveer 17.000 m³/s. Daarbij moet de kanttekening worden gemaakt dat het sinds mensenheugenis nog nooit is voorgekomen dat op alle zijrivieren gelijktijdig een hoogste afvoer is opgetreden.
- Uitgaande van de afvoercapaciteit bij Bonn (15.600 m³/s) en de gemeten maximale afvoeren van benedenstroomse zijrivieren bedraagt het aanbod van Rijnwater bij Lobith ruim 18.000 m³/s.
- Rekening houdend met klimaatverandering kan de maatgevende Rijnafvoer tot ruim 19.000 m³/s stijgen (maximum scenario rond 2100). De onzekerheidsband zal globaal even groot zijn als bij 16.000 m³/s.

Zit er een maximum aan de Rijnafvoer bij Lobith omdat bovenstrooms de dijken overstromen? In de huidige situatie en in de toekomst?

In het algemeen geldt dat de beschermingsniveaus tegen hoogwater die in Duitsland bij het ontwerp van dijken worden gehanteerd, goed vergelijkbaar zijn met die in Nederland. Een uitzondering geldt voor de noordelijke Oberrhein waar de huidige bescherming op een niveau van gemiddeld 1/70 tot 1/100 per jaar ligt. Rond het jaar 2015, na voltooiing van de retentiewerken langs de zuidelijke Oberrhein, beschermen de dijken hier het achterland met een frequentie van 1/200. Langs de Mittellrhein is er in hoofdzaak een natuurlijke bescherming door het aan weerszijden gelegen bergmassief: het potentieel overstromingsgebied is hierdoor beperkt. Het beschermingsniveau langs de Niederrhein in Nordrhein Westfalen is op een aantal trajecten relatief laag. Momenteel loopt een dijkversterkingsprogramma dat over ongeveer 15 jaar afgerond zal worden. Het ontwerp van deze dijken is op het traject Krefeld-Lobith gebaseerd op een minimaal beschermingsniveau van gemiddeld 1/500 per jaar, met een bijbehorende Rijnafvoer van 14.600 m³/s. Op het traject bovenstrooms Krefeld bedraagt het beschermingsniveau 1/200 per jaar; hiermee correspondeert een afvoer van 12.900 m³/s. Op een aantal plaatsen zijn de dijken al hoger dan deze niveaus en op andere plaatsen, waar hoge investeringswaarden achter de dijk liggen dan wel waar er een grote bedreiging voor de bewoners is, kunnen de dijken hoger worden aangelegd. Bij het ontwerp van de dijken wordt een waakhogte van 1,0 m aangehouden. In Nederland staat hier een minimale waakhogte van 0,5 m tegenover. Verder worden de dijken onder een flauwer talud aangelegd en wordt meer klei in het buitentalud verwerkt waardoor de stabiliteit in vergelijking met dijken in Nederland groter is.

Gegeven de beschermingsniveaus met de daarbij behorende rivierafvoer en de gehanteerde waakhogte kan de afvoercapaciteit van de noordelijke Oberrhein en de Niederrhein worden geschat. Boven deze waarde vinden overstromingen van het achterland plaats. Voor de Oberrhein blijkt de afvoercapaciteit op ongeveer 6.300 m³/s te liggen. In de huidige situatie vinden op de Niederrhein bij een afvoerniveau van ongeveer 14.500 m³/s op enkele trajecten overstromingen plaats. Na afronding van het dijkversterkingsprogramma rond 2015 moet de afvoer op het traject bovenstrooms Krefeld en het traject Krefeld-Lobith een waarde van respectievelijk orde 16.000 en 18.000 m³/s overschrijden alvorens de dijken overstromen. (Het verschil in afvoer tussen beide trajecten wordt verklaard door de toestroming van de zijrivieren Ruhr, Emscher en Lippe.) Daarbij is verondersteld dat de waakhogte volledig bijdraagt aan de afvoer van het Rijnwater. Met golfoploop is geen rekening gehouden omdat het er hierom gaat inzicht in de maximale afvoer te krijgen: de combinatie van extreme rivierafvoeren met weinig of geen wind kan zich immers voordoen. Evenmin is rekening gehouden met mogelijk verder gaande uitschuring van het zomerbed en met verruimingsmaatregelen, in het bijzonder dijkverleggingen, waardoor op termijn de afvoercapaciteit van de Niederrhein nog zal kunnen toenemen. Tot slot moet bedacht worden dat verruimings- en retentiemaatregelen langs de Boven-Rijn en Rijntakken in Nederland ook resulteren in een verlaging van de hoogwaterstanden en dus in een vergroting van de afvoercapaciteit op de Niederrhein in Duitsland. De mate waarin en de afstand waarover is afhankelijk van de intensiteit waarmee dergelijke maatregelen in Nederland worden getroffen. Om een idee te geven: een waterstandsverlaging van 0,3 m bij Lobith, overeenkomend met een vergroting van de afvoercapaciteit met ongeveer 1000 m³/s op die plek, is in bovenstroomse richting pas na een afstand van orde 20 km praktisch tot nul gereduceerd. Bij een waterstandsverlaging van 1,0 m waarmee de afvoercapaciteit met ongeveer 3000 m³/s toeneemt, is dit na een afstand van orde 60 km het geval.

De grote vraag is natuurlijk of in de toekomst de dijken in Duitsland, in het bijzonder langs de noordelijke Oberrhein, niet verhoogd zullen worden. Dit is in het licht van de in het Actieplan Hoogwater gemaakte afspraken niet te verwachten. In het Actieplan wordt immers op basis van solidariteit tussen de landen die het stroomgebied delen naar oplossingen gestreefd. Een consequentie hiervan is dat benedenstrooms geen problemen mogen ontstaan als gevolg van maatregelen die bovenstrooms genomen worden. Het is daarom dat dijkverhoging niet aannemelijk is. De consequentie van het structureel verhogen van dijken zou immers zijn dat benedenstrooms in Duitsland én Nederland met hogere waterstanden rekening moet worden gehouden. **Vervolg op bladzijde 8.**

Zijn de huidige dijken 'veilig'?

Na de hoogwaters van 1993 en 1995 zat de schrik goed in de benen. De regering besloot tot het Deltaplan Grote Rivieren: alle rivierdijken moesten in het jaar 2000, uitgaande van een maatgevende afvoer van 15.000 m³/s bij Lobith, op de vereiste sterkte zijn gebracht. De waterschappen zijn daarin praktisch volledig geslaagd. Alleen op een beperkt aantal plaatsen zullen de dijken niet op tijd verbeterd zijn: bijvoorbeeld bij Everdingen / Hagestein en het traject tussen Driel en Kesteren waar de verwerving van gronden een knelpunt vormt. Een mogelijk probleem is dat de taluds van de pas versterkte dijken nog niet (volledig) zijn begroeid waardoor deze dijken extra gevoelig zijn voor de eroderende kracht van het rivierwater. Bij een extreem hoogwater zullen dan mogelijk noodmaatregelen als het afdekken met plastic doek getroffen moeten worden.

Zoals gezegd, richt het Deltaplan Grote Rivieren zich op een veilige afvoer van 15.000 m³/s bij Lobith. Bedacht moet worden dat er langs de Rijntakken nogal wat dijken zijn die in het verleden, bij een hogere Rijnafvoer dan 15.000 m³/s, zijn ontworpen. Deze dijken, die dus een overhoogte hebben, treffen we verspreid over het riviereengebied aan. Een praktisch aaneengesloten traject met dergelijke dijken op beide oevers bevindt zich langs de IJssel bovenstrooms van Wijhe. Verder is met de ruimte in het doorstroomprofiel die in het verleden (sinds 1980) door uitschuring van het zomerbed is ontstaan, geen rekening gehouden bij de bepaling van de huidige maatgevende waterstanden (Randvoorwaardenboek 1996). Vooral op de Boven-Rijn kan hierdoor mogelijk een wat hogere afvoer veilig worden opgevangen (zonder dat de huidige maatgevende waterstanden worden overschreden). Binnenkort, na actualisatie van de modellen die voor de berekening van de maatgevende hoogwaterstanden worden gebruikt, wordt pas echt duidelijk hoeveel extra ruimte er in het winterbed van de Rijntakken (nog) aanwezig is.

Zijn de dijken na afronding van het dijkversterkingsprogramma veilig? Aan de ene kant, ja. De dijken voldoen immers vanaf het jaar 2000 aan de veiligheidsnorm die in de Wet op de waterkering is vastgelegd. Aan de andere kant is, ook naar aanleiding van de hoogwaters van 1993 en 1995, duidelijk geworden dat we met een hogere Rijnafvoer (16.000 m³/s bij Lobith) rekening moeten houden. Verdere maatregelen zijn dus nodig om veilig te blijven. In het project Ruimte voor Rijntakken is daartoe verkend hoe, in lijn met de Vierde Nota waterhuishouding, met verruimingsmaatregelen en met dijkverhoging als sluitstuk ook in de toekomst een 'veilig' riviersysteem bereikt kan worden.

Bij discussies over onze veiligheid tegen overstroming moeten we wel bedenken dat het om een relatief begrip gaat. Er kan altijd een waterstand op de rivier optreden waarop onze dijken niet zijn berekend. Dit gegeven ligt impliciet besloten in de benadering via normen. Verder spelen allerlei onzekerheden een rol. De gewenste veiligheid is een maatschappelijke keuze. Ook al zouden we volledige veiligheid willen - wat overigens met enorme investeringen en negatieve gevolgen voor landschap en milieu zou samengaan - dan nog is er het probleem dat voor natuurverschijnselen als wind, regen en rivierafvoer geen absolute en bekende bovengrenzen bestaan. Garanties kunnen dus niet worden gegeven; er blijft altijd een restrisico. Wel kunnen we ons er zo goed mogelijk tegen wapenen en, voor het geval dat het mis gaat, goed voorbereid zijn.

Hoe worden de maatgevende hoogwaterstanden bepaald?

De maatgevende hoogwaterstanden worden berekend met gedetailleerde computermodellen waarin de stroming van het water en de waterstanden in de rivier worden nagebootst. De maatgevende afvoergolf wordt opgelegd aan de bovenrand van het model, dit is bij Lobith. Vervolgens berekent het model de afvoer over de drie Rijntakken en de bijbehorende waterstanden. De waterstanden worden behalve over de lengte ook over de breedte van het rivierbed berekend. De waterstanden in het midden van de hoofdgeul worden beschouwd als de maatgevende hoogwaterstanden. In bochten kunnen de waterstanden aan rechter en linker oever nog al eens verschillen, wat voor de hoogte van de dijken natuurlijk van belang is.

De maatgevende hoogwaterstanden worden dus bepaald met modellen die een beperkte afspiegeling vormen van hoe een rivier er in werkelijkheid bijligt en functioneert. Kenmerken van de rivier die in de modellen worden ondergebracht zijn onder meer de bodemligging van het zomerbed en de uiterwaarden, de ligging en hoogte van

Vervolg van bladzijde 6.

Een vergelijkbaar effect treedt overigens ook op als bij dreigende overstroming tot tijdelijke maatregelen als het plaatsen van zandzakken wordt overgegaan. Op termijn behoort aanvullende retentie misschien tot de mogelijkheden maar dit heeft benedenstrooms een effect dat met een overstroming vergelijkbaar is.

Alles overziend kan geconcludeerd worden dat in de **huidige situatie** de afvoer bij Lobith door overstromingen Duitsland aan een maximum van ongeveer **14.500 m³/s** is gebonden. In de toekomst, na afronding van het dijkversterkingsprogramma langs de Nederrijn in **2015**, kan als een veilige bovengrens voor de afvoer bij Lobith **18.000 m³/s** worden aangehouden. Overstromingen langs de Nederrijn zullen overigens ook delen van Nederland kunnen bereiken, omdat de dijkkring aan de linkeroever tot en met de Ooijpolder bij Nijmegen doorloopt en de dijkkring aan de rechteroever via de Oude IJssel (langs Doetinchem) naar de IJssel kan overlopen. Wel liggen hier en daar obstakels in de vorm van oude dammen en dijken én taluds van wegen en spoorlijnen die de stroming van het water kunnen belemmeren. Het omgekeerde - overstroming vanuit Nederland richting Duitsland - kan ook, zij het in mindere mate en vooral aan de linkeroever van Boven-Rijn en Waal, het geval zijn. Wanneer hier de dijken overstromen of bezwijken, kan Duits grondgebied tot aan Kleve onder water komen te staan. Een keerdam ten oosten van Nijmegen, liggend in een laagte op de grens tussen Nederland en Duitsland, moet dit voorkomen. Tijdens het hoogwater van 1995 stonden in Noordrhein-Westfalen vrachtwagens met zand klaar om open stukken in de keerdam te dichten, mocht het tot een overstroming komen. Er zijn plannen om deze keerdam te verhogen.

In hoeverre kan de afvoer bij Lobith door maatregelen in het stroomgebied worden verminderd?

Maatregelen in het stroomgebied hebben voornamelijk betrekking op het landgebruik en het tijdelijk bergen van Rijnwater (retentie). Verruimingsmaatregelen als het verdiepen van het zomerbed en/of de uiterwaarden waarmee de afvoercapaciteit wordt vergroot komen niet of nauwelijks in aanmerking. Dergelijke maatregelen kunnen een afvoergolf versnellen waardoor in benedenstroomse richting de waterstanden hoger komen te liggen. Een kort overzicht van mogelijke maatregelen volgt hieronder.

- Maatregelen in de sfeer van het landgebruik in het stroomgebied van de Rijn, die beogen de opname van neerslag in de bodem te verbeteren, zoals natuurontwikkeling en extensivering van de landbouw, kunnen bij regelmatig terugkerende hoogwaters een afvoervertragend en -verminderend effect hebben. Onder maatgevende omstandigheden is de invloed van dit type maatregel van ondergeschikt belang. Een gevaar bij afvoervertraging is dat piekafvoeren van zijrivieren en Rijn gaan samenvallen waardoor de hoogwaterstanden op de Rijn hoger komen te liggen. In de huidige situatie lopen afvoergolven van zijrivieren in de regel vóór op die van de Rijn.
- Retentiemaatregelen in de zijrivieren van de Rijn hebben doorgaans tot doel een bepaalde locatie (dorp of stad) bescherming tegen hoogwater te bieden. Verder benedenstrooms, bij het samenstromen met andere zijrivieren of de Rijn zelf, kan het effect op de hoogwaterstanden positief of negatief uitvallen of tot nul worden gereduceerd, afhankelijk van de genese van de afvoergolf in het (deel)stroomgebied.
- Op de Hochrhein bestaat in principe de mogelijkheid om tijdelijk een relatief groot volume water in de Bodensee te bergen. Omdat echter hoogwaters op Hochrhein, Mittelrhein en Nederrijn in de regel niet samenvallen, operationalisering een voorspellingstermijn van minstens 5 dagen vooruit vraagt en de politieke haalbaarheid laag wordt ingeschat, vormt retentie in de Bodensee voorlopig geen reële optie.
- Langs de zuidelijke Oberrhein is momenteel 80 miljoen m³ retentievolume beschikbaar. In de periode tot rond 2015 is uitbreiding tot bijna 290 miljoen m³ voorzien. Het waterstandsverlagend effect is ver in benedenstroomse richting merkbaar: ter hoogte van Lobith ongeveer 25 cm bij inzet van alle (geplande) maatregelen. Voorwaarde hierbij is wel dat de hoogwatergolf in belangrijke mate uit het zuiden van het stroomgebied afkomstig is. Bij voor Nederland maatgevende afvoeren hebben de (geplande) retentiemaatregelen geen meerwaarde, omdat er dan reeds overstromingen langs de noordelijke Oberrhein plaatsvinden. Retentie vermindert in een dergelijke situatie vanzelfsprekend wel de mate waarin overstromingen benedenstrooms plaatsvinden.
- De Mittelrhein doorstroomt een smal dal waardoor ruimte voor retentiemaatregelen niet of nauwelijks aanwezig is.
- Vanuit Nederland gezien hebben retentiemaatregelen langs de Nederrijn het voordeel dat hiermee waterstandsverlagingen worden bereikt onafhankelijk van de genese van de afvoergolf in het stroomgebied. Er zijn plannen om in de periode tot 2015 op 11 locaties de dijken landinwaarts te verleggen. Wanneer dit gepaard gaat met de inrichting als retentiegebied (met een totaal volume van orde 175 miljoen m³) mag worden uitgegaan van een waterstandsverlaging van ongeveer 30 cm bij Lobith. Naar zich nu laat aanzien vormen retentiegebieden op ongeveer 4 locaties een reële optie. Het hiermee te bereiken waterstandsverlagende effect wordt geschat op maximaal 10 cm bij Lobith.

Alles overziend kan geconcludeerd worden dat, onder maatgevende omstandigheden in Nederland, maatregelen in het stroomgebied van de Rijn (bovenstrooms van Lobith) niet of nauwelijks een reducerend effect op de afvoer bij Lobith hebben en in die zin geen alternatief voor rivierverruimende maatregelen in Nederland vormen. De beste maatregel in Duitsland ten gunste van Nederland is eigenlijk de garantie dat onder maatgevende omstandigheden overstromingen langs de noordelijke Oberrhein (blijven) plaatsvinden en dat langs de Nederrijn maximaal orde 18.000 m³/s kan worden afgevoerd. Maatregelen anders dan retentie, zoals het verhogen van dijken of tijdelijk plaatsen van zandzakken bij dreigende overstromingen leiden benedenstrooms tot hogere waterstanden, ook in Nederland.

kribben, kaden en veerwegen én vegetatie in uiterwaarden. Deze gegevens worden op gezette tijden met meetcampagnes verzameld en vormen dus het resultaat van een momentopname. De modellen worden ruwweg om de vijf jaar met actuele gegevens gevoed om, in het kader van de Wet op de Waterkering, inzicht in de ontwikkeling van de hoogwaterstanden te kunnen geven. Eventuele tussentijdse 'natuurlijke' veranderingen in het riviersysteem, zoals in de bodemligging van het zomerbed, komen dus niet in de hoogwaterstanden tot uitdrukking. Veranderingen die door mensenhanden worden aangebracht moeten (via een vergunning) zodanig worden uitgevoerd dat ze niet tot wijziging van de maatgevende waterstanden leiden.

Hoe wordt de maatgevende afvoer bepaald?

Deze afvoer wordt via een statistische analyse afgeleid uit piekafvoeren die zich in het verleden hebben voorgedaan. Op de Rijn bij Lobith wordt gemeten vanaf het jaar 1901. Eerst wordt begonnen met het zogenaamd homogeniseren van de afvoerreeks. Het stroomgebied van de Rijn heeft in de loop van de tijd namelijk nogal wat veranderingen ondergaan waardoor ook de afvoercharacteristiek van de Rijn is veranderd: eenzelfde neerslagpatroon in het stroomgebied leidt nu zowel qua hoogte als vorm tot een andere afvoergolf bij Lobith dan aan het begin van de 20e eeuw. En omdat we de maatgevende afvoer voor de huidige omstandigheden willen weten, moeten afvoerpieken in het verleden gecorrigeerd worden voor veranderingen die het stroomgebied in de 20e eeuw heeft doorgemaakt, zoals de Oberrhein-kanalisatie in de periode 1928-1977.

Na het homogeniseren van de afvoerreeks volgt een statistische analyse. Het resultaat hiervan is een grafiek met op de X-as de kans van voorkomen van hoogwaters en op de Y-as de hoogte van de afvoer. De lijn die door de opgetreden piekafvoeren sinds 1901 kan worden getrokken wordt de werklijn genoemd. Door deze te verlengen kan de afvoer met een kans van voorkomen van 1/1250 per jaar worden afgelezen. Voor de huidige werklijn bedraagt deze dus 15.000 m³/s bij Lobith.

Bij de afgeleide afvoer hoort een onzekerheidsband die bijvoorbeeld in het geval van de nieuwe maatgevende afvoer van 16.000 m³/s aangeeft dat er 90% kans is dat die maatgevende afvoer ligt tussen 13.000 en 18.500 m³/s.

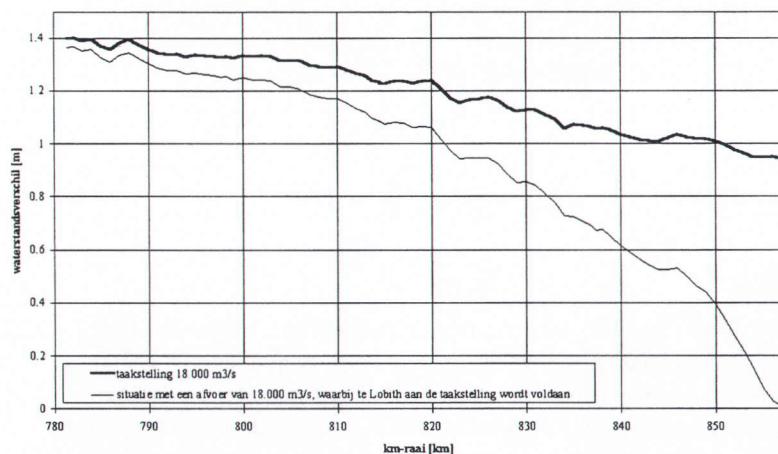
Kan de maatgevende afvoer ons land wel bereiken?

De vraag is dan of er in het stroomgebied, met name Duitsland, overstromingen plaatsvinden waardoor afvoergolven worden afgetopt. In de huidige situatie blijkt dit op de Niederrhein bij een afvoerniveau van ongeveer 14.500 m³/s het geval te zijn. Na afronding van het dijkversterkingsprogramma rond 2015 kan de Niederrhein op het traject bovenstrooms Krefeld en het traject Krefeld-Lobith een afvoerniveau van respectievelijk 16.000 en 18.000 m³/s bereiken alvorens de dijken gaan overstromen. (Het verschil in afvoer tussen beide trajecten wordt verklaard door de toestroming van de zijrivieren Ruhr, Emscher en Lippe.) Op de noordelijke Oberrhein ligt de bovengrens voor een 'veilige' afvoer rond 6.300 m³/s.

In de huidige situatie is dus de kans gering dat de (oude of nieuwe) maatgevende afvoer ons land bij Lobith bereikt. Immers, boven 14.500 m³/s wordt de afvoergolf op de Niederrhein afgetopt, tenzij met succes noodvoorzieningen worden getroffen. Mochten de dijken langs de Niederrhein overstromen, dan kan dat ook voor Nederland vervelende gevolgen hebben omdat de dijkringen zowel aan de rechter- als linkeroever tot op Nederlands grondgebied doorlopen.

Voor de langere termijn, na voltooiing van het dijkversterkingsprogramma langs de Niederrhein, komen we tot de conclusie dat het niet waarschijnlijk is dat een maatgevende afvoer van 16.000 m³/s Nederland kan bereiken als het zwaartepunt van de toestroming via zijrivieren in het zuiden van Duitsland is gelegen. In dat geval vinden namelijk overstromingen langs de noordelijke Oberrhein plaats. Een maatgevende afvoergolf met het zwaartepunt in het midden en noorden van het stroomgebied gaat niet gepaard met overstroming langs de Oberrhein en kan naar verwachting wel tot een maatgevende afvoer van 16.000 m³/s te Lobith leiden. Bij dit afvoerniveau vinden geen overstromingen plaats langs de Niederrhein, mogelijk wel langs de Mittellrhein maar dit Rijntraject doorstroomt een smal dal met aan weerszijden een beperkt potentieel overstromingsgebied.

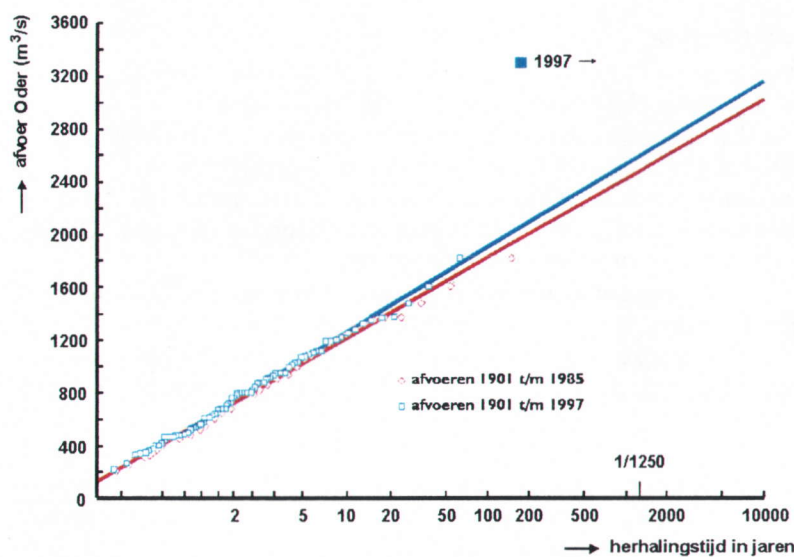
In de toekomst kunnen onder invloed van klimaatverandering de neerslaghoeveelheden en daardoor extreme afvoeren van de Rijn stijgen. Ook in die situatie kunnen we ervan uitgaan dat door overstromingen en / of aanvullende retentie langs de Oberrhein een bovengrens aan de afvoer in benedenstroomse richting wordt gesteld. Ontwikkelingen in de neerslaghoeveelheden in het midden en noorden van het stroomgebied zullen dus vooral van invloed op de hoogte van extreme afvoeren in Nederland zijn. Een globale analyse waarbij rekening



Waterstandsverandering op de Nederrijn onder invloed van rivierverschuiving op de Rijnakken

Rivieren trekken zich niets aan van landsgrenzen. Dat geldt ook voor de gevolgen van ingrepen in de rivier. Bovenstaande figuur laat het effect zien van rivierverschuiving in Nederland op de waterstanden van de Nederrijn in Duitsland, het traject van Ruhrort (kml. 781) tot Lobith (kml. 857). De vergelijkingsbasis (nul-lijn) wordt gevormd door de waterstanden bij een afvoer van 15.000 m³/s te Lobith. Deze afvoer is samengesteld uit een afvoer te Ruhrort van 14.250 m³/s en een zijdelingse toestroming via de Lippe van 750 m³/s. De vette lijn geeft de hydraulische taakstelling bij een afvoer te Lobith van 18.000 m³/s. Opnieuw is de afvoer via de Lippe 750 m³/s, en derhalve bij Ruhrort 17.250 m³/s. De dunne lijn is voor dezelfde afvoersituatie, maar nu met de veronderstelling dat benedenstrooms in Nederland maatregelen zijn genomen die er toe leiden dat bij Lobith juist aan de taakstelling wordt voldaan.

Doordat bij Lobith wordt voldaan aan de taakstelling (ter plaatse meer dan 90 cm), worden de waterstanden op de Nederrijn zó beïnvloed dat te Ruhrort (globaal 75 km bovenstrooms van Lobith) nog een waterstandsverschil van bijna 5 cm resteert.



Werklijn van de Oder in Polen en het hoogwater van 1997

De maatgevende afvoer van de Rijn bij Lobith geldt voor een gebeurtenis eens in de 1250 jaar. Maar er wordt pas 100 jaar gemeten. Dat betekent dat de werklijn wordt geëxtrapoleerd ver buiten de gemeten reeks. Dat kan raar uitpakken, zoals valt te illustreren aan de meetreeks van de rivier de Oder in Polen. Een reeks 1901-1985 levert daar een vrijwel rechte lijn op zonder 'uitbijters'. In 1997 werd echter een afvoer gemeten van 3300 m³/s, de hoogste van de eeuw. Deze ligt ver buiten de onzekerheidsband van de bestaande grafiek. Het zou volgens de 'oude' lijn een 1/25.000 afvoer kunnen zijn geweest, maar dat weten we pas als we nog 24.900 jaar kunnen meten en er in die tijd niets verandert. (Overigens is het voor statistisch verantwoorde uitspraken nodig om nog 4 maal zolang te meten). Intussen leidt dat ene hoogwater ertoe dat de 'nieuwe' extrapolatielijn de 1/1250 afvoer doet stijgen van 2500 naar 2600 m³/s. Dat is nog steeds ver onder de opgetreden afvoer! Met de laatste constatering wordt meteen duidelijk dat extreme afvoeren zoals op de Oder misschien wel heel zeldzaam zijn, maar desalniettemin dit of volgend jaar kunnen optreden.

wordt gehouden met overstromingen langs de Oberrhein leert dat, uitgaande van 4 °C temperatuurstijging in de komende eeuw (de bovenschatting voor het klimaatseffect in 2100), een afvoertoeename bij Lobith tot orde 18.000 m³/s rond 2100 niet valt uit te sluiten. Indien géén rekening wordt gehouden met de overstroming van dijken langs de Oberrhein, hoort bij 4 °C temperatuurstijging een afvoer te Lobith van ruim 19.000 m³/s. Maar dan stelt de Niederrhein een bovengrens aan de hoeveelheid water die Nederland kan bereiken: 17.500 à 18.000 m³/s, dit is de geschatte afvoer waarbij overstromingen langs de Niederrhein kunnen optreden.

Falen van dijken, hoe kan het misgaan?

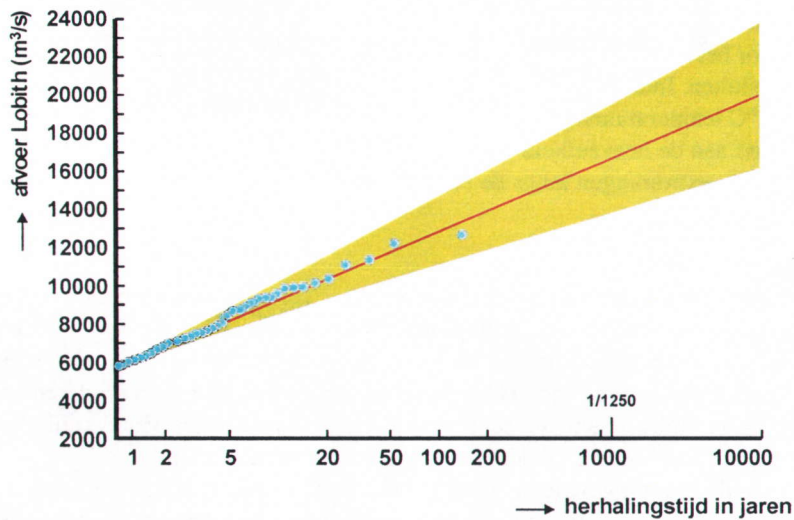
Verschillende oorzaken zijn aan te wijzen waarom op een gegeven moment de dijken hun waterkerende functie niet meer kunnen vervullen. De waterstand op de rivier of de golfoploop door wind kunnen een niveau bereiken waarop de dijk niet berekend is: de dijk stroomt over. Bij het ontwerp van dijken wordt met dit fenomeen niet of nauwelijks rekening gehouden waardoor na verloop van tijd het binnentalud van de dijk kan gaan eroderen en uiteindelijk de dijk zal bezwijken. Een ander faalmechanisme heeft betrekking op de stabiliteit van de dijk die door de indringing van rivierwater in gevaar kan komen. Dit kan het afschuiven van het buiten- en/of binnentalud en vervolgens bezwijken van de dijk tot gevolg hebben. Tot slot kunnen er met constructies in dijken, bijvoorbeeld een sluis of gemaal, dingen misgaan zoals overloop en overslag van rivierwater maar ook bezwijken onder de druk van het rivierwater.

De dijken kunnen dus door verschillende oorzaken of combinaties hiervan hun beschermende functie niet meer vervullen. Na afronding van het Deltaplan Grote Rivieren zijn de dijken langs de Rijntakken, op enkele (hierboven genoemde) uitzonderingen na, op de vereiste sterkte gebracht. Momenteel loopt bij de waterschappen de toetsing van de rivierdijken in het kader van de Wet op de waterkering. Mogelijk dat daarbij nog onvolkomenheden naar voren komen. Niettemin zullen er onzekerheden over de stabiliteit van dijken blijven bestaan waarvan de eventuele gevolgen pas duidelijk worden als zich een extreme hoogwatersituatie daadwerkelijk voordoet. Mogelijk kunnen noodmaatregelen (plastic bekleding, zandzakken, enz) dan nog de helpende hand bieden. In het vervolg van de notitie beperken we ons tot het falen van dijken door overstromen.

Hogere waterstanden, waarom kan het misgaan?

Dijken overstromen omdat hogere rivierwaterstanden optreden dan die waarop de dijk ontworpen is. De maatgevende waterstanden worden dus overschreden. De vraag is dan door welke oorzaken hogere waterstanden dan de maatgevende kunnen optreden. Een simpele oorzaak is dat de optredende afvoer de normafvoer overschrijdt. We gaan nu bij het ontwerp van ons beveiligingssysteem uit van een afvoer van 15.000 m³/s met een gemiddelde kans van voorkomen van 1/1250 per jaar. Hogere afvoeren hebben een kleinere kans, maar dat wil niet zeggen dat ze niet kunnen optreden. Andere oorzaken liggen meer in de sfeer van onzekerheden waarmee de berekening van de maatgevende hoogwaterstanden is omgeven. Op een rij en in willekeurige volgorde:

- De normafvoer komt hoger uit. Zoals hiervoor aangegeven, hoort bij de nieuwe maatgevende afvoer van 16.000 m³/s een onzekerheidsband die ligt tussen 13.000 en 18.500 m³/s (zie figuur op bladzijde 12). Bij de huidige maatgevende afvoer van 15.000 m³/s zal de marge globaal even groot zijn. Een behoorlijk breed afvoerbereik dus. Ter illustratie: 1000 m³/s meer via de Rijntakken levert 20 à 30 cm hogere waterstanden op. Echter, hiervoor is ook al aangegeven dat de Niederrhein beperkingen oplegt aan de watermassa die ons land kan bereiken: maximaal 14.500 m³/s in de huidige situatie, maximaal rond 18.000 m³/s na voltooiing van het dijkverbeteringsprogramma in 2015. De kans op overschrijding van de maatgevende waterstanden in Nederland is dus in de huidige situatie gering, maar kan niet volledig worden uitgesloten omdat onzeker is of en in hoeverre overstromingen langs de Niederrhein (kunnen) worden tegengegaan door noodvoorzieningen. Mochten zich overigens overstromingen voordoen, dan kunnen deze ook delen van Nederland bereiken.
- De maatgevende golfvorm is anders. Net zoals de afvoer is ook de maatgevende golfvorm uit historische gegevens afgeleid. Het resultaat is een gemiddelde afvoergolf met een 'mooie' sinusvorm waarmee de maatgevende hoogwaterstanden worden bepaald. In de praktijk komen er echter ook afgeplatte, scherpe en tweetoppige afvoergolven voor. Dit heeft te maken met de wijze waarop ze ontstaan en vooral met de fasering van afvoergolven uit zijrivieren in het stroomgebied. Of dergelijke vormen ook onder maatgevende



Het 90% betrouwbaarheidsinterval van de werklijn bij Lobith

Hoogwaters en maatgevende afvoer

De huidige maatgevende afvoer bedraagt 15.000 m³/s. De statistische analyse van afvoerpieken over de periode 1901-1995 met daarin de hoogwaters van 1993 en 1995 levert een maatgevende afvoer van 16.000 m³/s.

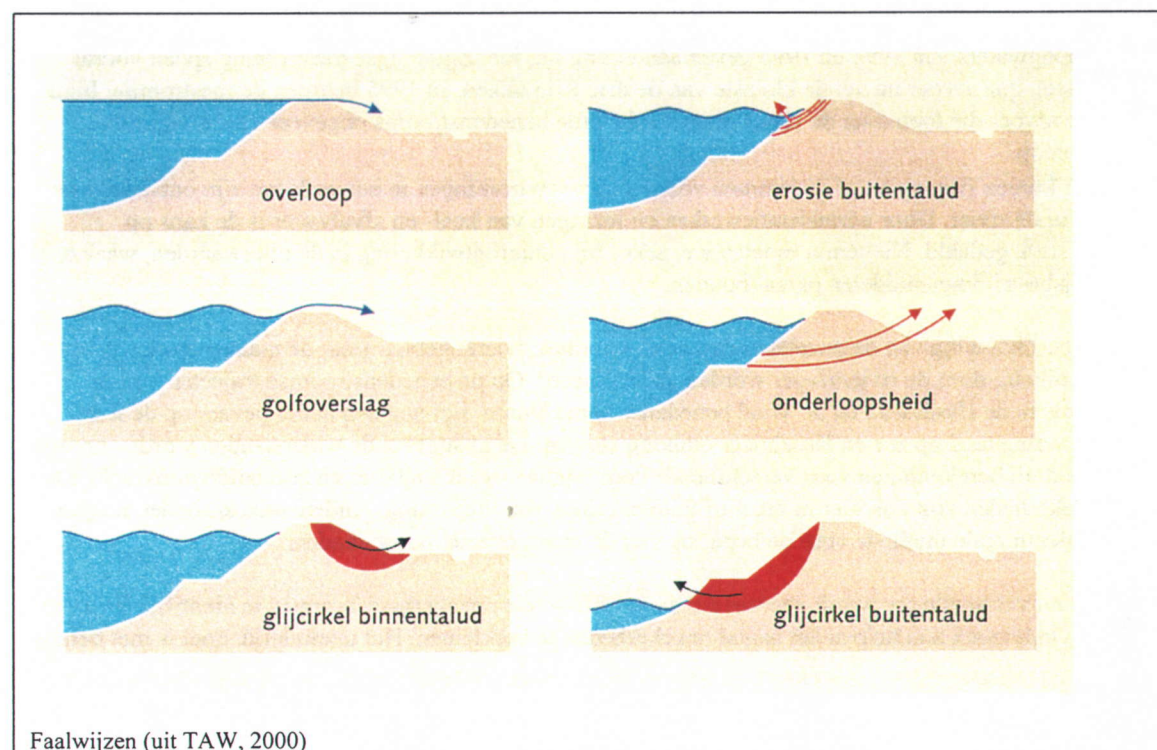
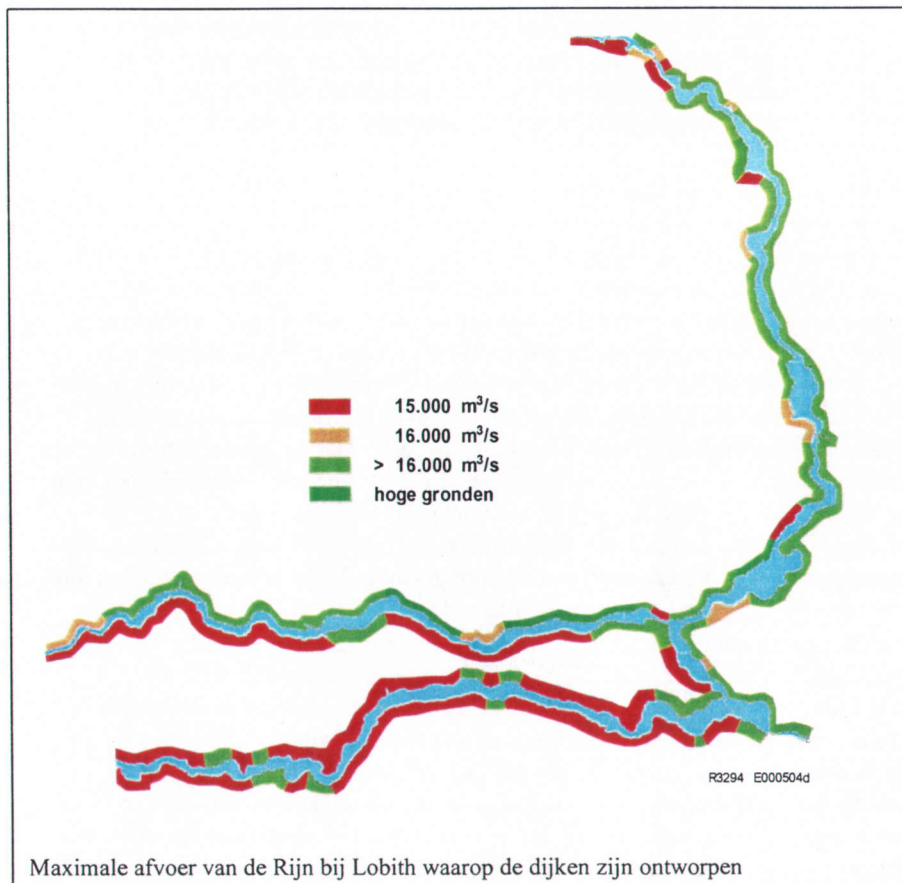
De periode 1901-1995 is relatief kort in vergelijking met de maatgevende afvoer die zich gemiddeld eens in de 1250 jaar voordoet. Verlenging van deze periode met de historische afvoerreeks 1981-1995 - dit zijn 15 jaren met relatief veel afvoerpieken - levert in 2010 een maatgevende afvoer van 16.500 m³/s. Eenzelfde waarde voor de maatgevende afvoer vinden we ook als de reeks uitsluitend met het hoogwater van 1995 wordt uitgebreid. Wordt de periode verlengd met een reeks jaren die een gemiddeld beeld van piekafvoeren geeft, dan komt de maatgevende afvoer op 15.750 m³/s te liggen.

omstandigheden kunnen ontstaan, maakt deel uit van lopend onderzoek. Bij voorbaat is echter duidelijk dat onzekerheden zullen blijven bestaan. De golfvorm is van betekenis voor de hoogwaterstanden (hoe stomper, des te hoger) en de stabiliteit van waterkeringen die verzadigd kunnen raken als het water er lang en hoog tegenaan staat. Bovendien blijkt dat de golfvorm van invloed is op de verdeling van de afvoer op de splitsingspunten van de Rijntakken.

- De verdeling van de afvoer over de Rijntakken wijkt af. De hoogwaterstanden op de Rijntakken en de afvoerverdeling op de splitsingspunten zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden. Een relatief kleine verandering in de afvoerverdeling kan forse effecten op de takken hebben. De afvoerverdeling waar vanuit wordt gegaan berust op berekeningen waarbij de geometrie van het rivierbed (vorm van zomerbed en uiterwaarden) en de stromingsweerstand van het zomerbed en de uiterwaarden inclusief de daar aanwezige vegetatie belangrijke factoren zijn. Omdat een maatgevende afvoer in het recente verleden nog niet is opgetreden, is het niet mogelijk geweest de modeluitkomsten te verifiëren. Het is dus nog maar de vraag of de berekende waterverdeling wel precies zo zal optreden. Bovendien is, zoals hierboven aangegeven, de golfvorm van invloed op de verdeling over de Rijntakken. Van belang is verder dat de infrastructuur rondom de splitsingspunten, zoals geleidingsdammen, kades en overlaten, onder maatgevende omstandigheden met relatief grote stroomsnelheden intact blijft. Ook kan mogelijk het samengaan van een extreme afvoergolf met een sterke wind de afvoerverdeling verstoren. Een laatste onzekerheidsbron betreft de bodemligging van het zomerbed rondom de splitsingspunten tijdens het passeren van een hoogwatergolf; de verdeling van het met de rivier meegevoerde zand over de takken is een uiterst gecompliceerd vraagstuk.
- De bodemligging en vooral stromingsweerstand van het zomerbed én de uiterwaarden zijn onder maatgevende omstandigheden anders dan verondersteld. De modellen die worden gebruikt voor de berekening van de maatgevende waterstanden, worden geijkt aan werkelijk waargenomen waterstanden in de rivier, zoals bij de hoogwaters van 1993 en 1995. Op de meetpunten wordt een afwijking van ongeveer 10 cm tussen modelresultaat en waarneming geaccepteerd. Op tussenliggende punten kan de afwijking groter zijn. Voor de berekening bij maatgevende afvoer worden aannames over de ontwikkeling van stromingsweerstand bij deze afvoer gedaan. Verwacht wordt dat de onzekerheid in berekende maatgevende waterstanden langs de Rijntakken ligt in de orde van enkele dm's. Dit geldt bij de huidige inrichting van het rivierbed waarbij in de uiterwaarden voornamelijk agrarisch grasland wordt aangetroffen. De indruk bestaat dat bij de (her)introductie van meer natuur in de uiterwaarden de onzekerheid in maatgevende waterstanden zal toenemen. Dit hangt samen met het feit dat de stromingsweerstand van verschillende vegetatietypen zoals riet, ruigtes en bos moeilijk is in te schatten en, ook niet bij lagere hoogwaters, een toetsing van modelresultaten aan waargenomen waterstanden heeft kunnen plaatsvinden. Het gaat immers om een toekomstige situatie.
- De zijdelingse toestroming via beken en kanalen naar de Rijntakken is groter dan aangenomen. Ervaringen tijdens de hoogwaters van 1993 en 1995 geven aanleiding hiertoe. Zijdelingse toestroming speelt vooral langs de IJssel, qua afvoer nu net de kleinste van de drie Rijntakken. In 1995 bedroeg de toestroming bijna 10% van de afvoer die toen over de IJssel ging. Dit leverde benedenstrooms ongeveer 15 cm hogere waterstanden op.
- Op de rivier komen ijsgang en/of ijssdammen voor. Veel overstromingen in het verleden zijn ontstaan door ijssdammen in de rivier. Door normalisatiewerken en lozingen van koel- en afvalwater is de kans op ijssdammen sterk gedaald. Niettemin moeten we, zeker bij natuurontwikkeling in de uiterwaarden, waakzaam blijven en ijsbestrijdingsmiddelen paraat houden.

Bovenstaande beschouwing van de onzekerheden geldt voor het rivierengebied waar de maatgevende waterstanden volledig door de rivierafvoer worden gedomineerd. Op de benedenstroomse trajecten van de Rijntakken, zoals in de IJsseldelta en de Waal benedenstrooms Vuren, ligt nog een ander gevaar op de loer: stormen die de waterstand op zee en IJsselmeer omhoog stuwen. De maatgevende waterstanden worden op deze trajecten afgeleid uit berekeningen voor verschillende combinaties van Rijnafvoer en zeestand/windkracht. De genoemde onzekerheden zijn ook hier in meer of mindere mate van toepassing. Andere onzekerheden hangen onder meer samen met de methode voor de bepaling van de maatgevende waterstanden.

Met onderzoek en veldmetingen wordt geprobeerd de verschillende onzekerheidsbronnen te identificeren en te kwantificeren. Onderzoek kan helpen het aantal onzekerheden te verkleinen. Het uiteindelijke doel is met behulp



van modellen de maatgevende omstandigheden op de rivier en in het bijzonder de daarbij behorende waterstanden zo goed mogelijk te voorspellen. Het is echter een illusie te denken dat dit voor de volle 100% zal lukken. Een model blijft in meer of mindere mate een afspiegeling van de werkelijkheid; een zekere reserve bij de 'maakbaarheid' is daarom op zijn plaats. Zoals bij de recente hoogwaters is gebleken, heeft de natuur steeds weer verrassingen in petto. Ook in de toekomst zal dit zeer zeker het geval zijn. Onzekerheden zullen altijd tot op zekere hoogte aanwezig blijven, daar kan meer onderzoek niets aan veranderen. Wat we wel kunnen doen is er zo goed mogelijk rekening mee houden en, voor het geval dat het mis gaat, goed voorbereid zijn.

Hogere waterstanden, waar kan het misgaan?

Het bovenstaande maakt duidelijk dat bij het voorspellen van de maatgevende hoogwaterstanden veel onzekerheden in het geding zijn. Hoe deze onzekerheden in de praktijk onder maatgevende omstandigheden uitwerken, afzonderlijk en in combinatie, is moeilijk te bepalen. Dat betekent dat, mocht zich een maatgevende afvoer voordoen, van te voren moeilijk te zeggen valt of en waar hogere waterstanden dan de maatgevende kunnen optreden, dijken gaan overstromen en uiteindelijk mogelijk zelfs bezwijken. Dit geldt zowel op het niveau van een Rijntak (bij afwijkingen van de maatgevende afvoerverdeling op de splitsingspunten) als voor afzonderlijke locaties langs een tak (bij afwijkingen van bijvoorbeeld de plaatselijke stromingsweerstand of bij meer zijdelingse toestroming). Vooral door afwijkingen in de afvoerverdeling over de Rijntakken moet bij voorbaat niet worden uitgesloten dat zelfs bij een afvoer die lager is dan de maatgevende toch langs een tak de maatgevende waterstanden worden overschreden en dijken gaan overstromen. Bij een afvoer groter dan de maatgevende zou verwacht mogen worden dat de dijken benedenstrooms Lobith het eerst in gevaar zullen komen. Echter, ook dit valt niet met zekerheid te zeggen. Gaat het hoogwater met een sterke wind gepaard waardoor golfoploop en -overslag plaatsvindt? Is de dijk stabieler dan gedacht? Misschien nog belangrijker is het feit dat zich ook langs de Boven-Rijn dijken bevinden die in het verleden bij een hogere maatgevende afvoer zijn aangelegd. Misschien biedt ook nog de aanwezige Boertien-ruimte voldoende reserve om hogere waterstanden veilig te keren. Binnenkort, na actualisatie van de modellen, kan hierover uitsluitsel worden gegeven.

Het hele rivierengebied overziend en vooral kijkend naar de overhoogte van dijken en de ruimte die in het verleden door uitschuring van het zomerbed is ontstaan, lijken vooral de Boven-Rijn en de IJssel bovenstrooms Wijhe mogelijkheden te hebben hogere afvoeren bij Lobith en onzekerheden in de maatgevende waterstanden (deels) op te vangen. Uitzonderingen hierop kunnen zich echter plaatselijk voordoen.

Wat kunnen we doen als het dreigt mis te gaan?

Als zich een hoogwater aandient, treedt de hoogwaterberichtgeving in werking. Berekeningen worden gemaakt om het verloop van de hoogwatergolf bij Lobith tot enkele dagen vooruit te voorspellen. De afwijkingen van de voorspelde waterstanden blijken in het algemeen kleiner dan 10 cm voor de eerste dag en 15 cm voor de tweede dag. Op basis van de waterstanden bij Lobith worden vervolgens de waterstanden langs de Rijntakken voorspeld. Voorspelde en waargenomen waterstanden worden regelmatig naast elkaar gelegd om in het vervolg tot betere voorspellingen te komen. De kennis en ervaring van de betrokken medewerkers is hierbij van groot belang; het is en blijft mensenwerk. Dijkbewaking speelt een essentiële rol bij het signaleren van zwakke dijken en van locaties waar dijken dreigen over te stromen. Zodra het kritieke peil bij Lobith van NAP 16,50 m (situatie 1995) in zicht is en de kans op overstromen en/of bezwijken van een dijk reëel aanwezig is, zijn er twee opties: het laten overstromen van het bedreigde gebied of het gericht inunderen van een bovenstrooms gebied waardoor de waterstanden benedenstrooms lager komen te liggen. Informatie over onder meer het aantal te evacueren bewoners en de potentiële overstromingsschade in zowel het bedreigde gebied als het noodoverloopgebied is nodig om tot een weloverwogen beslissing te komen.

Andere (ook structurele) mogelijkheden om, met onzekerheden rond de hoogwaterbescherming om te gaan en daarmee de aanwezige restrisico's te verkleinen zijn bijvoorbeeld:

- Extra verruiming van het rivierbed en/of inrichting van retentiegebieden zodat een reserve ontstaat voor de opvang van onzekerheden in de berekende maatgevende waterstanden.
- Compartimentering van het binnendijkse gebied met verschillende beschermingsniveaus.

	maatgevende afvoer 15.000 m ³ /s bij Lobith		maatgevende afvoer 16.000 m ³ /s bij Lobith	
Rijntak	afvoer (m ³ /s)	% afvoer Lobith	afvoer (m ³ /s)	% afvoer Lobith
Waal	9550	64	10250	64
Neder-Rijn/Lek	3150	21	3300	21
IJssel	2300	15	2450	15

	waterstandsverandering (m)		
afvoerverandering	Waal	Neder-Rijn/Lek	IJssel
100 m ³ /s	0.04	0.08	0.09
200 m ³ /s	0.09	0.15	0.19

Splitsingspunten van de Rijntakken, gevoelige punten

De maatgevende hoogwaterstanden op de Rijntakken en de afvoerverdeling op de splitsingspunten zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden. Een kleine verandering in de afvoerverdeling heeft grote gevolgen voor de hoogwaterstanden.

In de bovenste tabel staat de berekende afvoerverdeling over de Rijntakken weergegeven bij een maatgevende afvoer van 15.000 en 16.000 m³/s. De onderste tabel geeft inzicht in de gevolgen voor de hoogwaterstanden op de Rijntakken bij afwijkingen van die afvoerverdeling.

Ruimte voor Rijntakken, vroeger en nu

In de loop van de tijd is veel ruimte aan de Rijntakken onttrokken. In de periode vanaf 1850 is een oppervlak van ongeveer 35.000 ha verloren gegaan dat in meer of mindere mate als overlaatgebied fungeerde. Dit getal is op een ruwe schatting gebaseerd: om tot een meer nauwkeurige uitspraak te komen is nader onderzoek van historische gegevens nodig, zoals van verslagen van overstromingen en oude rivierkaarten. Bekende en tot de verbeelding sprekende overlaten zijn de Spijkse overlaat langs de Boven-Rijn, de Baakse overlaat langs de IJssel en de overlaten van Heerewarden en bij de Ooijpolder langs de Waal. Als laatste is de Spijkse overlaat in 1959 gesloten. Via deze overlaat liep in noodsituaties op de rivier het Rijnstrangengebied onder water waardoor benedenstrooms de kans op overstroming afnam.

Behalve door het verdwijnen van overlaatgebieden is ook door dijkverleggingen en het opwerpen van hoogwatervrije terreinen de beschikbare ruimte voor de Rijntakken steeds kleiner geworden: met respectievelijk ongeveer 2500 en 1000 ha. De uiterwaarden van de Rijntakken (in het beheersgebied van de directie Oost-Nederland) beslaan in de huidige situatie een oppervlak van afgerond 28.000 ha.

Nu staan we aan de vooravond van een ontwikkeling waarin door dijkverleggingen en retentiegebieden weer ruimte aan de rivier wordt (terug)gegeven, terwijl het principe van noodoverloopegebieden om onzekerheden/restrisico's op te vangen weer opgeld doet. In het project Ruimte voor Rijntakken zijn de voors en tegens van (klein- en grootschalige) dijkverleggingen en retentiegebieden onderzocht; hiermee correspondeert een oppervlak van respectievelijk ongeveer 4500 (waarvan bijna 800 ha voor kleinschalige dijkverleggingen) en 7000 ha.

- Bijsturen van de afvoerverdeling op de splitsingspunten. Daartoe zullen (eenvoudige) regelwerken moeten worden aangebracht. Afwijkingen in de afvoerverdeling - een belangrijke onzekerheidsbron - die leiden tot overschrijding van de maatgevende waterstanden op één of twee takken kunnen hiermee worden gecorrigeerd. Misschien bieden dergelijke regelwerken ook de mogelijkheid om een boven-maatgevende afvoer zodanig over de Rijntakken te verdelen dat één of twee takken kunnen worden ontzien.

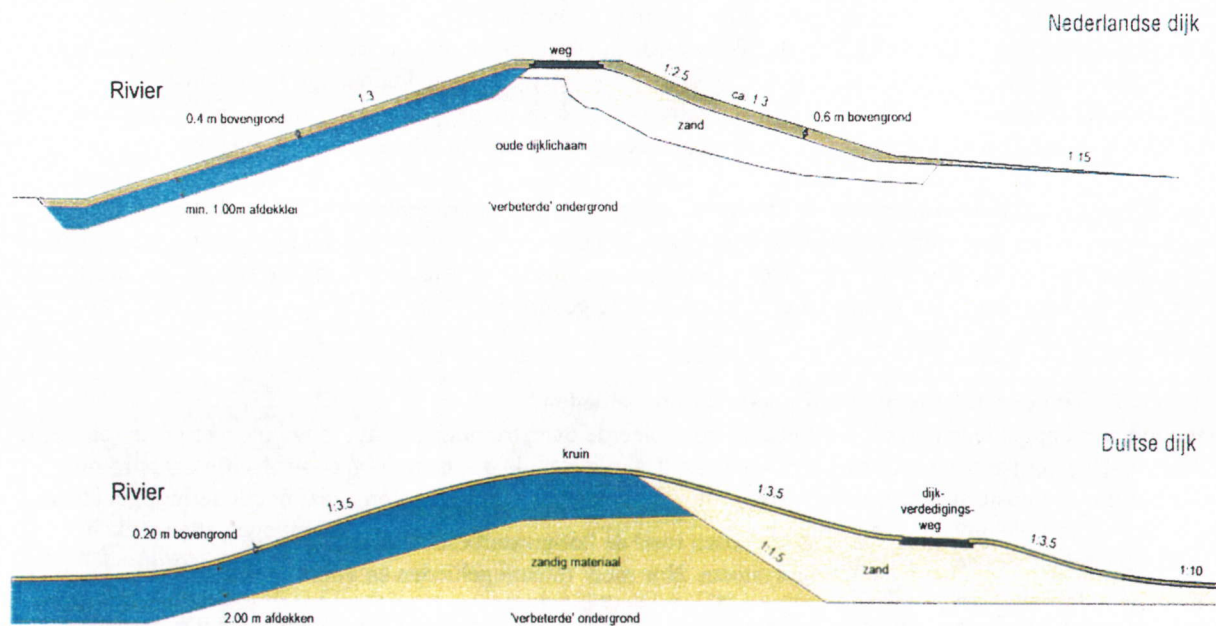
In de bijlage zijn ter illustratie enkele voorbeelden opgenomen hoe met calamiteiten kan worden omgegaan. Voor wat betreft de afvoercapaciteit van de Rijntakken is daarbij uitgegaan van de huidige situatie (15.000 m³/s) en situatie in 2015 (16.000 m³/s). Een mogelijk toekomstige situatie waarin de Rijntakken een afvoer van 18.000 m³/s veilig kunnen verwerken is (nog) niet in beschouwing genomen.

..... in het bijzonder met de inzet van noodoverloopgebieden?

Met noodoverloopgebieden wordt beoogd ongecontroleerde overstromingen - met mogelijk zeer grote schade of zelfs maatschappelijke ontwrichting - tegen te gaan. Daarvoor in de plaats komt gecontroleerde overstroming, daar waar die de minste schade oplevert. Het grote verschil met retentiegebieden is dat noodoverloopgebieden alleen dienen voor de opvang van onzekerheden rond de hoogwaterbescherming. Retentiegebieden maken structureel deel uit van het beveiligingssysteem. Hoe meer retentiegebieden en vooral -volume wordt opgenomen in de strategie om hogere rivierafvoeren veilig te kunnen verwerken, des te minder heeft een beroep op rivierverruiming te worden gedaan. Een retentiegebied wordt dus als het ware aan het rivierbed toegevoegd met dien verstande dat die gebieden alleen in een uitzonderlijke situatie (met een gemiddelde kans groter dan 1/1250 per jaar) onder water komen te staan. Het gebied zal door dijken moeten worden omsloten en van een in- en uitlaatwerk moeten worden voorzien. Afhankelijk van de snelheid waarmee het retentiegebied geledigd moet worden, is pompcapaciteit nodig. De dijken komen te vallen onder de werking van de Wet op de waterkering (onder meer 5-jarige toetsing). Er zullen consequenties zijn voor landgebruik, toekomstige investeringen en bewoning in het gebied.

In het geval van noodoverloopgebieden is de kans op overstromen kleiner dan 1/1250 per jaar. De vraag is of een dergelijk gebied een gehele bestaande dijkkring moet omvatten of een deel daarvan, dat dan omdijkt moet worden. De kosten van dijk aanleg, de inundatiediepte en de hiermee gepaard gaande schade spelen onder andere een rol bij de beantwoording van die vraag. Om tijdig en snel genoeg de beoogde waterstandsverlaging op de rivier te kunnen realiseren zijn inlaatwerken noodzakelijk. Een uitlaatwerk, al of niet ondersteund met pompcapaciteit, is een vereiste.

Hiervoor is al duidelijk geworden dat van te voren zeer moeilijk is aan te geven waar hogere waterstanden kunnen optreden dan die waarop de dijken zijn berekend. Dat maakt het ook moeilijk hierop te anticiperen. Een keten van noodoverloopgebieden langs de Rijntakken is ondoenlijk. Voor de hand ligt dergelijke gebieden zo ver mogelijk bovenstrooms te situeren: dus langs de Boven-Rijn, zo dicht mogelijk bij Lobith en/of rondom de splitsingspunten. In een situatie met een hogere dan maatgevende afvoer (of een situatie met maatgevende afvoer terwijl het rivierengebied hierop nog niet berekend is) profiteren alle Rijntakken én ontvangende wateren hiervan. Noodoverloopgebieden langs de Rijntakken hebben in een dergelijke situatie weinig zin: het water is immers bovenstrooms hiervan al over de dijken heen gelopen, tenzij die trajecten extra worden verruimd. Ook in een situatie met een afwijkende afvoerverdeling op de splitsingspunten (bij maatgevende of zelfs beneden-maatgevende omstandigheden) kan een noodoverloopgebied langs de Boven-Rijn de helpende hand bieden. Echter, op een gegeven moment kan de looptijd van de afvoergolf een beperkende factor vormen: met andere woorden, het afvoer- en waterstandsreducerend effect van het noodoverloopgebied bereikt niet op tijd de lokatie waar het, bijvoorbeeld door een hogere stromingsweerstand, meer zijdelingse toestroming of door een ongelukkige combinatie van rivierafvoer en storm op zee / IJsselmeer) mis dreigt te gaan. Hoe meer benedenstrooms die lokatie zich bevindt, des te groter de kans hierop. Bovendien verschillen de looptijden per Rijntak. Bijvoorbeeld: de looptijd van een hoogwatergolf van Lobith naar bijvoorbeeld Gorinchem is ongeveer een halve dag, die van Lobith naar Zwolle ongeveer twee dagen. Een complicerende factor zou nog kunnen zijn dat het op het moment dat het bij deze steden mis dreigt te gaan, onduidelijk is welke hoogte de afvoer bij Lobith zou kunnen bereiken; misschien is het noodoverloopgebied enkele dagen later wel nodig om hoogwaterproblemen langs alle Rijntakken te verlichten. Om adequaat te kunnen reageren ligt het dan meer voor de hand om heel gericht op de bescherming van Gorinchem en Zwolle direct bovenstrooms van deze steden een noodoverloopgebied te situeren.



Uit (Reerink en Sipma, 1998)

Verschillen tussen rivierdijken in Nordrhein-Westfalen en Gelderland op een rij

- Het startpunt voor het ontwerp van dijken, de maatgevende waterstand, wordt in Duitsland afgeleid uit een in het verleden hoogst gemeten afvoer met bijbehorende waterstanden. Deze op enkele lokaties gemeten waterstanden worden vervolgens met 1 m verhoogd; bij deze waterstand wordt een 'maatgevende afvoer' met bijbehorende overschrijdingsfrequentie bepaald. Voor de berekening van waterstanden op tussenliggende lokaties wordt van een stationair 1-dimensionaal computermodel gebruik gemaakt. In Nederland is de maatgevende waterstand gebaseerd op een frequentieanalyse van een (gehomogeniseerde) historische afvoerreeks bij Lobith en een hieruit door extrapolatie afgeleide maatgevende afvoer met bepaalde overschrijdingsfrequentie. Bij de berekening van de maatgevende waterstanden wordt een dynamisch 2-dimensionaal model toegepast.
- Een dijkversterkingsprogramma in Duitsland betreft meestal nieuwbouw (en afgraven van oude dijken), in Nederland verbetering van bestaande dijken..
- De kruinbreedte is in Duitsland minimaal 5 m, in Nederland minimaal 3 m.
- Voor de helling van het talud wordt in Duitsland van 1:3 uitgegaan. In Nederland varieert de taludhelling meestal tussen de 1:2 en 1:3.
- In Duitsland ligt de weg, van belang om tijdens hoogwater de dijk te kunnen inspecteren, meestal aan de binnendijkse zijde, in Nederland op de dijk.
- De dikte van de afdekklei in het buitentalud bedraagt in Duitsland minimaal 2 m, in Nederland minimaal 1 m.
- De stabiliteit van een dijk wordt in Duitsland onderzocht voor een 4-tal situaties: bij een waterstand op kruinhoogte, bij maatgevende waterstand, bij snel zakkende waterstand en in een situatie met een beschadigde en dus lekkende afdekkende kleilaag. In Nederland wordt de stabiliteit bepaald bij maatgevende en snel zakkende waterstand.
- In Duitsland wordt van een waakhogte van 1 m uitgegaan. Berekening van de golfploop/-overslag wordt achterwege gelaten omdat verondersteld wordt dat bij de aangehouden waakhogte geen noemenswaardige problemen optreden. In Nederland wordt een waakhogte van 0,5 gehanteerd. Aan de (berekende) golfploop en het hiermee gepaard gaande overslagdebiet worden eisen gesteld die er toe kunnen leiden dat de waakhogte boven de 0,5 m komt te liggen.
- De kosten van verbetering / nieuwbouw van dijken liggen in Duitsland gemiddeld per kilometer twee tot drie maal hoger dan in Nederland.

Alles overziend kan worden geconcludeerd dat aan dijken in Duitsland een ruimer ontwerp ten grondslag ligt. Het ontwerp van dijken in Nederland is uitgekinder; een belangrijk reden is dat (noodzakelijkerwijs meer) met landschappelijke en cultuurhistorische aspecten én het ruimtebeslag rekening wordt gehouden.

Voor de opvang van hogere dan maatgevende afvoeren bij Lobith, om ongecontroleerde overstromingen langs de Rijntakken te voorkomen, is een fors oppervlak nodig. Om de gedachten te bepalen. Uitgaande van de huidige maatgevende afvoer van 15.000 m³/s en de huidige inrichting van de Rijntakken waarbij die afvoer veilig kan worden verwerkt, moet bij een gemiddelde afvoergolf van 16.000 m³/s een volume van ongeveer 130 miljoen m³ worden geborgen. De hiervoor benodigde ruimte is afhankelijk van de mogelijke inundatiediepte die weer wordt bepaald door de hoogteligging van het noodoverloopgebied ten opzichte van de rivier en de hoogte van de dijken waarmee het gebied is omsloten. Bij een waterdiepte van 4 m correspondeert een volume van 130 miljoen m³ met een oppervlak van ruim 3.000 ha. Bij dezelfde uitgangspunten is een areaal van ongeveer 10.000 en 20.000 ha nodig om bij een afvoergolf van respectievelijk 17.000 en 18.000 m³/s ongecontroleerde overstromingen te voorkomen. Ook om de gedachten te bepalen: het Rijnstrangengebied en de Ooijpolder zijn respectievelijk 3.100 en 1.300 ha groot. De dijkkring Ooij en Millingen beslaat een oppervlak van bijna 3.500 ha, de dijkkring Rijn en IJssel bijna 30.000 ha.

Het benodigde ruimtebeslag wordt aanzienlijk gereduceerd als de Rijntakken voor de opvang van hogere afvoeren al gedeeltelijk zijn verruimd. Wanneer bijvoorbeeld 15.250 m³/s in plaats van 15.000 m³/s veilig kan worden verwerkt, neemt het oppervlak dat nodig is bij een gemiddelde afvoergolf van 16.000 m³/s af tot ongeveer 2000 ha. Bij een afvoergolf van 18.000 m³/s moet in dit geval een areaal van ruim 15.000 ha voorhanden zijn om ongecontroleerde overstromingen te voorkomen.

Voor alle duidelijkheid. Als er voor gekozen wordt om bijvoorbeeld het Rijnstrangengebied in te richten als retentiegebied en dus structureel deel te laten uitmaken van het maatregelpakket om een maatgevende afvoer van 16.000 m³/s veilig op te vangen, kan dit gebied niet meer worden ingezet als noodoverloopgebied. Wel kan het gebied natuurlijk in de tijd van functie veranderen. Bijvoorbeeld eerst als retentiegebied om, zolang de Rijntakken nog niet (volledig) voor een veilige afvoer van 16.000 m³/s zijn verruimd, het surplus boven 15.000 m³/s op te vangen en later als noodoverloopgebied wanneer de herinrichting van de Rijntakken is afgerond. Op de langere termijn, bij eventueel verder stijgende maatgevende afvoeren, kan de balans weer tijdelijk in de richting van retentiegebied doorslaan om vervolgens bij het voortschrijden van extra rivierverruiming steeds meer en uiteindelijk volledig weer het karakter van noodoverloopgebied te krijgen.

Conclusies

- Eind 2000 zijn de dijken langs de Rijntakken op enkele uitzonderingen na, uitgaande van een maatgevende afvoer van 15.000 m³/s bij Lobith, op de vereiste sterkte gebracht. Een mogelijk probleem is dat de taluds van de pas versterkte dijken nog niet (volledig) zijn begroeid waardoor deze dijken extra gevoelig zijn voor de eroderende kracht van het rivierwater. Bij een extreem hoogwater zullen dan mogelijk noodmaatregelen als het afdekken met plastic doek getroffen moeten worden.
- De nieuwe maatgevende afvoer van de Rijn bij Lobith bedraagt 16.000 m³/s. Wanneer we binnenkort met een hoogwater als in 1995 worden geconfronteerd of een periode tegemoet gaan met relatief veel piekafvoeren (zoals 1981 - 1995), dan stijgt de maatgevende afvoer naar 16.500 m³/s. Als een qua hoogwaters gemiddelde periode in het verschiets ligt, komt op termijn de maatgevende afvoer op een niveau van 15.700 m³/s te liggen.
- In de huidige situatie is de afvoer bij Lobith door overstromingen in Duitsland aan een maximum van ongeveer 14.500 m³/s gebonden. De huidige en nieuwe maatgevende afvoer (respectievelijk 15.000 en 16.000 m³/s) kunnen ons land dus niet bereiken, tenzij met succes noodvoorzieningen kunnen worden getroffen. In de toekomst, na afronding van het dijkversterkingsprogramma langs de Nederrijn in 2015, kan als een veilige bovengrens voor de afvoer bij Lobith 18.000 m³/s worden aangehouden. Dit komt vooral omdat bij de bouw van dijken in Duitsland van een ruimer ontwerp wordt uitgegaan. Overstromingen langs de Nederrijn zullen overigens ook delen van Nederland kunnen bereiken, omdat de dijkkringen aan zowel linker- als rechteroever tot op Nederlands grondgebied doorlopen.
- De hoogwaterbescherming langs de Rijntakken is met veel onzekerheden omgeven. Onzekerheden hebben, behalve op de stabiliteit van (constructies in) dijken, onder meer betrekking op de hoogte van de (ontwerp)afvoer, de golfvorm, de verdeling van het water op de splitsingspunten, de stromingsweerstand, het samenvallen van hoge rivierafvoeren en storm op zee/IJsselmeer en de mate waarin, vooral langs de IJssel, zijdelingse toestroming via beken en kanalen plaatsvindt. Deze onzekerheden komen uiteindelijk in de hoogte van de waterstanden tot uiting en kunnen tot gevolg hebben dat over de volledige lengte van of op bepaalde plekken langs de Rijntakken de maatgevende hoogwaterstanden worden overschreden. De vraag of bij een aankomend hoogwater een dergelijk scenario werkelijkheid kan gaan worden valt van te voren moeilijk te beantwoorden, omdat onduidelijk is welke onzekerheden, al of niet in combinatie, waar gaan spelen en de overhand hebben.

Omgaan met onzekerheden, een terugblik

Omgaan met onzekerheden en restrisico's bij de hoogwaterbescherming is niet alleen een onderwerp van de huidige tijd. Ook in het verleden werd hieraan in meer of mindere mate aandacht besteed. Een beknopt overzicht.

- Bij het ontwerp van dijken werd lange tijd als uitgangspunt gehanteerd de op dat moment hoogst bekende rivierafvoer met bijbehorende waterstanden. Voor het laatst is dit het geval geweest na het hoogwater van 1926. Voor zover bekend werd hierbij geen reserve voor onzekerheden in acht genomen. Wel werd (structureel) rekening gehouden met de inzet van het Oude Rijngebied (Rijnstrangengebied) aan de rechteroever van de Boven-Rijn. Tijdens het hoogwater van 1926 was dit gebied via de Lobithse overlaat volgelopen: bovenstrooms van de overlaat was de afvoer van de Rijn ongeveer 1.500 m³/s hoger. Ook werd (structureel) rekening gehouden met de waterhoeveelheid die tijdens het hoogwater van 1926 vanuit het Oude Rijngebied bij Kandia op het Pannerdensch Kanaal werd afgevoerd: ongeveer 1.250 m³/s. Het Rijnstrangengebied fungeerde dus als een by-pass. Samengevat werd van de volgende (maatgevende) afvoeren uitgegaan: 13.500 en 12.000 m³/s voor de Boven-Rijn respectievelijk boven- en benedenstrooms van de Lobithse overlaat, 8.250 m³/s voor de Waal, 3.750 en 5.000 m³/s voor het Pannerdensch Kanaal respectievelijk boven- en benedenstrooms van Kandia, 2.700 m³/s voor de Neder-Rijn en Lek en tot slot 2.300 m³/s voor de IJssel. Momenteel wordt overigens voor de afvoer bij Lobith niet van 13.500 maar van 12.600 m³/s uitgegaan. Naar later bleek werd met de toen gebruikelijke meetmethode (drijfvermetingen) de afvoer enigszins overschat.
- De watersnoodramp van 1953 versterkte de bestaande twijfels over het waterkerend vermogen van de rivierdijken: de 'maatgevende' afvoer werd in 1956 op 18.000 m³/s gesteld met een kans van voorkomen van 1/3000 per jaar. In 1963 werd het eindrapport gepubliceerd waarin de bijbehorende waterstanden waren opgenomen. De mogelijkheid om tijdelijk water in het Rijnstrangengebied te bergen blijft daarbij buiten beschouwing. Wel wordt rekening gehouden met onzekerheden over de afvoerverdeling op de splitsingspunten. Verondersteld werd dat door uitschuringen en aanzandingen op de Rijntakken rondom de splitsingspunten tijdens de passage van een extreem hoge afvoergolf de variatie in de bodemligging van het zomerbed maximaal 1 m kon bedragen. Vervolgens is onderzocht welke combinatie van mogelijke uitschuringen en aanzandingen tot de ongunstigste uitkomst voor wat betreft de afvoer zou leiden. Dit resulteerde in de volgende maatgevende afvoeren van de Rijntakken met tussen haakjes de afvoer wanneer geen rekening met deze morfologische processen zou worden gehouden: 11.400 (11.250) m³/s over de Waal, 7.100 (6.750) m³/s over het Pannerdensch Kanaal, 4.200 (3.950) m³/s over de Neder-Rijn/Lek en 3.050 (2.800) m³/s over de IJssel. Op basis van deze (stationaire) maatgevende afvoeren zijn de waterstanden berekend aan de hand waarvan vervolgens de dijken werden gedimensioneerd. De consequentie was dat van de rond 650 km dijk ongeveer 550 km zou moeten worden versterkt waarvan een groot deel ingrijpend.
- In 1969 werd door Rijkswaterstaat verslag gedaan van nieuwe inzichten bij de bepaling van de maatgevende hoogwaterstanden. Allereerst werd geconcludeerd dat een extreem hoogwater als een golfverschijnsel moet worden opgevat en dat dus bij de berekening van de waterstanden met topvervlakking rekening moest worden gehouden. Dit speelt op de Neder-Rijn/Lek en in het bijzonder op de IJssel, niet op de Waal. Echter, om de ontwikkelingsmogelijkheden voor stadsuitbreiding en industrievestiging in de uiterwaarden niet bij voorbaat te blokkeren en om onzekerheden in de berekening van de topvervlakking op te vangen, werd een reductie van 10% op de bergende breedte van het rivierbed toegepast. Verder ontstond het inzicht dat het proces van aanzandingen en uitschuringen op de Rijntakken rondom de splitsingspunten minder dramatisch was dan eerder verondersteld. Ook werd men zich bewust van de onzekerheden over de mate van zijdelingse toestroming via kanalen en beken naar de IJssel en over de stromingsweerstand die tijdens hoogwater voor zomerbed en uiterwaarden moest worden aangehouden. Uiteindelijk kwam men tot de slotsom dat het gezien die onzekerheden verstandig was om de in 1963 gehanteerde maatgevende afvoeren over de Rijntakken te handhaven. Wel werd met de genoemde topvervlakking en reductie in bergende breedte rekening gehouden. De nieuwe inzichten leidden op de Neder-Rijn/Lek en in het bijzonder de IJssel tot lagere maatgevende waterstanden: die op de Boven-Rijn, Waal en Pannerdensch Kanaal bleven onveranderd. De consequenties voor de mate waarin de rivierdijken moesten worden versterkt waren dan ook beperkt.

Vervolg op bladzijde 22.

Onzekerheden

'Het ingewikkelde van mijn vak is dat alles genuanceerd kan worden Het probleem met veel van dat soort onderzoek is dat heel veel niet te bewijzen valt en dat we dus moeten leven met onzekerheden. Het is aan de politiek te besluiten of ze die onzekerheden wil accepteren. Leken snappen dat vaak niet. Die zeggen, je kunt toch vaststellen of iets schadelijk is of niet. Wat doen die wetenschappers toch allemaal ingewikkeld.'

Prof. dr. Jacqueline Cramer (hoogleraar milieumanagement aan de Erasmus Universiteit Rotterdam en lid van de Raad voor Verkeer en Waterstaat) in de Volkskrant van 12 november 1999

- Onzekerheden hebben in het verleden een belangrijke rol bij de bepaling van de maatgevende hoogwaterstanden gespeeld. Opmerkelijk is dat naarmate het technisch-wetenschappelijk inzicht in de (gevolgen van de) verschillende onzekerheidsbronnen toenam, de doorvertaling hiervan naar de maatgevende waterstanden steeds meer achterwege bleef. De weerstand in de Nederlandse samenleving en politieke druk tegen dijkversterking waren hier debet aan. Opvallend is ook dat in de loop van de tijd maatregelen als de inzet van retentie- en noodoverloopgebieden uit het zicht zijn verdwenen terwijl deze momenteel weer nadrukkelijk in de belangstelling staan.
- Langs de Rijntakken bevinden zich nogal wat dijken die in het verleden, bij een hogere maatgevende afvoer dan de huidige 15.000 m³/s, zijn ontworpen. Verder is er op sommige trajecten nog ruimte in het rivierbed aanwezig die in het verleden (sinds 1980) door uitschuring van het zomerbed is ontstaan en die niet in de huidige maatgevende waterstanden tot uitdrukking is gekomen. Rekening houdend met beide factoren lijken vooral de Boven-Rijn en de IJssel bovenstrooms Wijhe mogelijkheden te hebben hogere afvoeren bij Lobith en onzekerheden in de maatgevende waterstanden (deels) op te vangen. Uitzonderingen hierop kunnen zich echter plaatselijk voordoen.
- Bij het ontwerp van dijken wordt, behalve met de maatgevende hoogwaterstand, rekening gehouden met onder meer golfploop, inklinking van het dijklichaam en een waakhogte. De waakhogte dient onder meer om er voor te zorgen dat er een goed begaanbare kruin is bij extreem hoogwater en om onzekerheden in de bepaling van de maatgevende waterstanden op te vangen. Voor de waakhogte wordt doorgaans 0,5 m aangehouden, ook wanneer de berekende golfploop lager is. Dit betekent dat, naarmate de golfploop groter wordt, de reserve voor onzekerheden in de bepaling van de maatgevende waterstand afneemt om uiteindelijk tot nul te worden gereduceerd als de golfploop een waarde van 0,5 m overschrijdt.
- Om onzekerheden rond de hoogwaterbescherming op te vangen en daarmee de restrisico's te verkleinen zijn verschillende (combinaties van) mogelijkheden aanwezig: extra verruiming van het rivierbed (structureel), compartimentering van het binnendijkse gebied met verschillende beschermingsniveaus, bijsturen van de afvoerverdeling op de splitsingspunten van de Rijntakken en noodoverloopgebieden voor gecontroleerde inundaties waarmee ongecontroleerde overstromingen zo veel mogelijk kunnen worden voorkomen.
- Het verdient de voorkeur noodoverloopgebieden zo ver mogelijk bovenstrooms te situeren: langs de Boven-Rijn en/of rondom de splitsingspunten. Alle Rijntakken én ontvangende wateren profiteren hiervan. Langs de Rijntakken ligt het voor de hand eventuele noodoverloopgebieden te situeren direct bovenstrooms van gebieden of steden met een relatief grote potentiële overstromingsschade of maatschappelijke / economische ontwrichting. Het valt immers moeilijk van te voren te zeggen waar het precies mis zal gaan.
- Om ongecontroleerde overstromingen te voorkomen is een fors oppervlak nodig: bij een gemiddelde afvoergolf van 16.000 m³/s ruim 3.000 ha, bij een gemiddelde afvoergolf van 18.000 m³/s ongeveer 20.000 ha. Het benodigde areaal wordt aanzienlijk gereduceerd als de Rijntakken voor de opvang van hogere afvoeren al gedeeltelijk zijn verruimd. Wanneer bijvoorbeeld 15.250 m³/s in plaats van 15.000 m³/s veilig kan worden verwerkt, neemt het oppervlak dat nodig is bij een gemiddelde afvoergolf van 16.000 m³/s af tot ongeveer 2000 ha. Bij een afvoergolf van 18.000 m³/s moet in dit geval een areaal van ruim 15.000 ha beschikbaar zijn om ongecontroleerde overstromingen te voorkomen. Ter illustratie: sinds 1850 is volgens een ruwe schatting een oppervlak van ongeveer 35.000 ha verloren gegaan dat in meer of mindere mate als overlaatgebied dienst deed.
- Ook voor retentiemaatregelen gaat de voorkeur uit naar gebieden die zo ver mogelijk bovenstrooms in het riviereengebied, dichtbij Lobith, zijn gelegen. In die zin dingen retentie en noodvoorzieningen naar dezelfde gebieden. Een retentiegebied dat structureel wordt ingezet onder maatgevende omstandigheden, kan niet tegelijkertijd als noodoverloopgebied fungeren. Wel kan het gebied in de tijd van functie veranderen. Bijvoorbeeld eerst als retentiegebied om, zolang de Rijntakken nog niet (volledig) voor een veilige afvoer van 16.000 m³/s zijn verruimd, het surplus boven 15.000 m³/s op te vangen en later als noodoverloopgebied wanneer de herinrichting van de Rijntakken is afgerond. Op de lange termijn, bij eventueel verder stijgende Rijnafvoer, kan dit proces zich herhalen.
- Onzekerheden zullen er altijd tot op zekere hoogte blijven bestaan. Dat betekent dat honderd procent zekerheid dat geen overstromingen zullen optreden niet kan worden gegeven. Wat we wel kunnen doen is er zo goed mogelijk rekening mee houden en, voor het geval dat het mis gaat, goed voorbereid zijn om de gevolgen - bijvoorbeeld door de inzet van noodoverloopgebieden - zo veel mogelijk te beperken.

Vervolg van bladzijde 20.

- Onrust en weerstand in de Nederlandse samenleving over de gevolgen van rivierdijkversterkingen waren voor de Minister van Verkeer en Waterstaat aanleiding om in 1975 de commissie Becht in te stellen. Op dat moment was de versterking van ongeveer 70 km geheel en ongeveer 30 km gedeeltelijk afgerond. De belangrijkste conclusie van deze commissie in 1977 luidde dat het verantwoord was van een lagere veiligheidsnorm, te weten 1/1250 per jaar, uit te gaan. De bijbehorende maatgevende afvoer kwam daarmee op 16.500 m³/s te liggen. Verder concludeerde de commissie dat het inzetten van overlaatgebieden als een structurele maatregel - dus niet als noodvoorziening - om de waterstanden te verlagen geen perspectieven bood. Als belangrijkste reden werd aangevoerd dat daarvoor in het bovenrivierengebied onvoldoende ruimte voorhanden was en dat de beschikbare ruimte in meer of mindere mate was bebouwd en bewoond zodat inundatie niet zonder bezwaar kon plaatsvinden. Het advies van de commissie is in 1978 door de Minister van Verkeer en Waterstaat overgenomen.
In 1980 werden de nieuwe 'voorlopige' maatgevende waterstanden bij 16.500 m³/s gerapporteerd. De methode van berekening was in grote lijnen op dezelfde gedachtengang als die bij 18.000 m³/s gebaseerd. Wel werden de verschillende factoren die op de hoogte van de waterstanden van invloed zijn afzonderlijk aan een nader onderzoek onderworpen. Zo werd bij de bepaling van de maatgevende afvoeren van de Rijntakken rekening gehouden met het inzicht dat tijdens een hoogwatergolf de bodemveranderingen rondom de splitsingspunten van beperkte omvang zijn. Dit resulteerde in een aanzienlijk geringere afvoerreserve: 0 m³/s voor de Waal, 50 m³/s voor de Neder-Rijn/Lek en 25 m³/s voor de IJssel. Verder bleken de topvervlakkingberekeningen bij 18.000 m³/s onjuistheden te bevatten wat tot te lage hoogwaterstanden aanleiding gaf. De 10% reductie van de bergende breedte bleef gehandhaafd. Voor de Neder-Rijn/Lek en IJssel werd in verband met onzekerheden rond de berekende topvervlakking een afvoerreserve van respectievelijk 50 en 75 m³/s ingebouwd. Op de IJssel werd een zijdelingse toestroming van 75 m³/s in rekening gebracht. Onzekerheden in de stromingsweerstand van zomerbed en uiterwaarden werden buiten beschouwing gelaten. De uiteindelijk berekende maatgevende waterstanden waren 20 à 30 cm lager dan die bij 18.000 m³/s.
In 1986 werden de definitieve maatgevende waterstanden bij 16.500 m³/s gepresenteerd. Deze waterstanden waren voor het eerst volledig op berekeningen met een hydraulisch computermodel (WAQUA) gebaseerd. Belangrijke invoergegevens betroffen de bodemligging en stromingsweerstand van zomerbed en uiterwaarden, de ligging en hoogte van kades en de zijdelingse toestroming. Het model berekende vervolgens 'automatisch' de (stationaire) afvoerverdeling over de Rijntakken en de waterstanden. Topvervlakking werd met een apart model in rekening gebracht. Met een behoorlijk uitgebreid gevoeligheidsonderzoek zijn de gevolgen voor de waterstanden van verschillende onzekerheidsbronnen in beeld gebracht. Een doorvertaling hiervan naar de maatgevende waterstanden heeft echter niet plaatsgevonden. De definitieve maatgevende waterstanden lagen aardig in de buurt van de voorlopige, met uitzondering van die langs de Waal waar de waterstanden door een grotere ruwheid van het zomerbed aanzienlijk hoger uitkwamen, zelfs hoger dan die welke destijds bij 18.000 m³/s waren berekend.
- De aanhoudende weerstand tegen dijkversterkingen in de Nederlandse samenleving was in 1992 voor de Minister van Verkeer en Waterstaat de reden om de commissie Boertien in het leven te roepen. Deze commissie concludeerde in 1993 dat de maatgevende afvoer verder naar beneden kon tot 15.000 m³/s; de veiligheidsnorm bleef ongewijzigd. Nog in datzelfde jaar werden volgens dezelfde werkwijze als bij 16.500 m³/s de daarmee corresponderende maatgevende hoogwaterstanden gepubliceerd. Onzekerheden werden niet in beeld gebracht, laat staan in de maatgevende waterstanden verdisconteerd. Evenmin werd de mogelijkheid van de inzet van overlaatgebieden in beschouwing genomen. Wel werd enige reserve in de maatgevende waterstanden aangehouden voor natuurontwikkeling in de uiterwaarden.
- De hoogwaters van 1993 en 1995 hebben tot gevolg dat de maatgevende afvoer op 16.000 m³/s bij Lobith komt te liggen. Momenteel wordt gewerkt aan de voorbereiding van het Randvoorwaardenboek dat in 2001 zal verschijnen. In tegenstelling tot in het verleden wordt voor de opvang van hogere Rijnafvoeren de oplossing nu niet gezocht in versterking van de dijken maar in verruiming van het rivierbed. Het waterstandsverschil tussen 16.000 en 15.000 m³/s dat met rivierverruiming moet worden gecompenseerd wordt met een meer geavanceerde versie van de WAQUA-modellen berekend. Onzekerheden zullen wel inzichtelijk worden gemaakt, maar niet in de berekende waterstanden tot uitdrukking worden gebracht. Retentie wordt nadrukkelijk als een potentiële maatregel naar voren geschoven om de hoogwaterstanden (structureel) te verlagen. Hetzelfde geldt voor noodoverloopgebieden die een functie bij de opvang van onzekerheden/restrisico's bij de hoogwaterbescherming zouden kunnen vervullen. Voor beide opties wordt in de komende jaren nader onderzoek verricht.

Alles overziend, kan worden geconcludeerd dat onzekerheden ook in het verleden een rol bij de bepaling van de maatgevende hoogwaterstanden hebben gespeeld. Opmerkelijk is echter dat naarmate het technisch-wetenschappelijk inzicht in de (gevolgen van de) verschillende onzekerheidsbronnen toenam, de doorvertaling hiervan naar de maatgevende waterstanden steeds meer achterwege bleef. De weerstand in de Nederlandse samenleving en politieke druk tegen dijkversterking waren hier debet aan. Opvallend is ook dat in de loop van de tijd maatregelen als de inzet van retentie- en noodoverloopgebieden uit het zicht zijn verdwenen terwijl deze momenteel weer nadrukkelijk in de belangstelling staan.

Literatuur

- Commissie Rivierdijken, 1997. Rapport commissie rivierdijken. Den Haag.
- Crebas, J.I., K.V. Heynert, W. Silva en R. Slomp, 2000. Nut en mogelijkheden noodoverloopgebieden. RIZA-werkdocument 2000.188X, Lelystad / WL-rapport Q2856, Delft.
- Langemheen, W. van de, 2000. Nota van reacties en commentaar op de analyse van de maatgevende afvoer van Rijn en Maas. RIZA-nota, Arnhem (in voorbereiding).
- Rijkswaterstaat / Directie Bovenrivieren, 1963. Eindrapport Maatgevende Hoogwaterstanden langs de Bovenrijn en zijn takken. Nota 63.6, Arnhem
- Rijkswaterstaat / Directie Bovenrivieren, 1969. Invloed van nadere onderzoeken op de maatgevende hoogwaterstanden langs de Rijntakken. Nota 69.4, Arnhem
- Rijkswaterstaat / Directie Oost-Nederland, 1999. Stand van zaken Ruimte voor Rijntakken. Arnhem.
- Rijkswaterstaat / Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, 1980. Voorlopige maatgevende hoogwaterstanden langs de Rijntakken bij MHW 16500. Nota 79.3, Arnhem
- Rijkswaterstaat / Dienst Binnenwateren / RIZA, 1986. MHW 16500 Verantwoording van het hoogwateronderzoek op de Boven-Rijn, de Waal, het Pannerdensch Kanaal, de Neder-Rijn, de Lek en de IJssel. Nota 86.35, Arnhem
- Reerink, J. en J. Sipma, 1998. Grenzeloos vertrouwen, Een onderzoek naar de verschillen in dijkenbouw tussen Gelderland en Nordrhein-Westfalen. Afstudeerscriptie Internationale Agrarische Hogeschool Larenstein, Velp
- Silva, W. en J.P.M. Dijkman, 2000. Maatregelen in het stroomgebied van de Rijn, Een verkenning van mogelijkheden en effecten op hoogwaterstanden in Nederland. RIZA-werkdocument 2000.052X, Arnhem / WL-rapport T2331.51, Delft.
- Silva, W., F. Klijn en J.P.M. Dijkman, 2000. Ruimte voor Rijntakken, Wat het onderzoek ons heeft geleerd. RIZA-nota 2000.026, Arnhem / WL-rapport R3294, Delft.
- Technische Adviescommissie Waterkeringen (TAW), 1998. Grondslagen voor waterkeren. Delft
- Technische Adviescommissie Waterkeringen (TAW), 2000. Van Overschrijdingskans naar Overstromingskans. Delft
- Waterloopkundig Laboratorium, 2001. Effectiviteit van retentie langs de Rijntakken. WL-rapport R3294.66, Delft (in voorbereiding).
- Waterloopkundig Laboratorium, 2001. Vroegere ruimte voor Rijntakken. WL-rapport R3294.67, Delft.

**Illustratieve voorbeelden van onzekerheden bij de
hoogwaterbescherming langs de Rijntakken
en hoe hiermee kan worden omgegaan**

Scenario 1

Uitgangspunt:

- Waak- en eventuele overhoogte van dijken langs de Rijntakken worden buiten beschouwing gelaten. (Dit uitgangspunt geldt voor alle scenario's.)

Situatie 2000:

- Alle Rijntakken kunnen veilig 15.000 m³/s verwerken zonder gebruikmaking van retentiegebieden.
- Maximale aanvoer vanuit Duitsland is 14.500 m³/s.

Probleem:

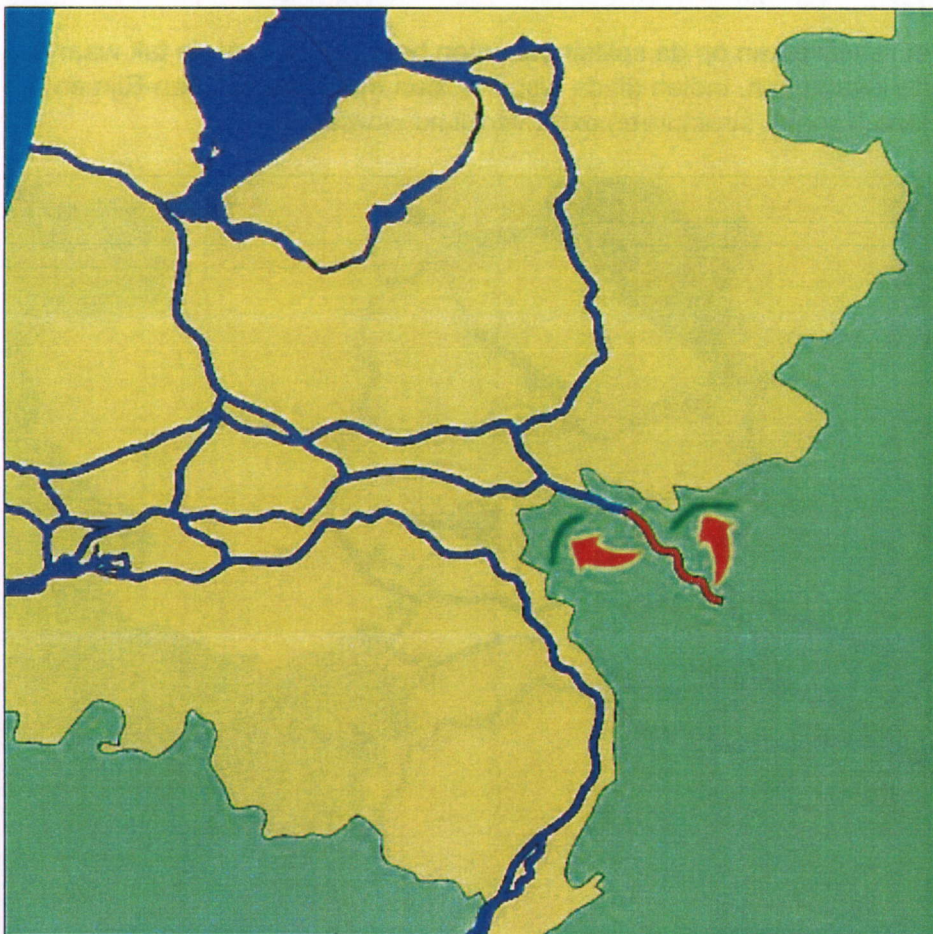
- Er dient zich een afvoergolf aan van meer dan 14.500 m³/s.

Gevolgen:

- De dijken langs de Niederrhein overstroom/bezwijken. Het water passeert binnendijs de Nederlandse grens.

Oplossing:

- De Duitsers helpen om met noodvoorzieningen het probleem onder controle te krijgen.



Scenario 2

Situatie 2015:

- Alle Rijntakken zijn verruimd om 16.000 m³/s veilig te kunnen verwerken, zonder gebruikmaking van retentiegebieden.
- Maximale aanvoer vanuit Duitsland is 18.000 m³/s .

Probleem:

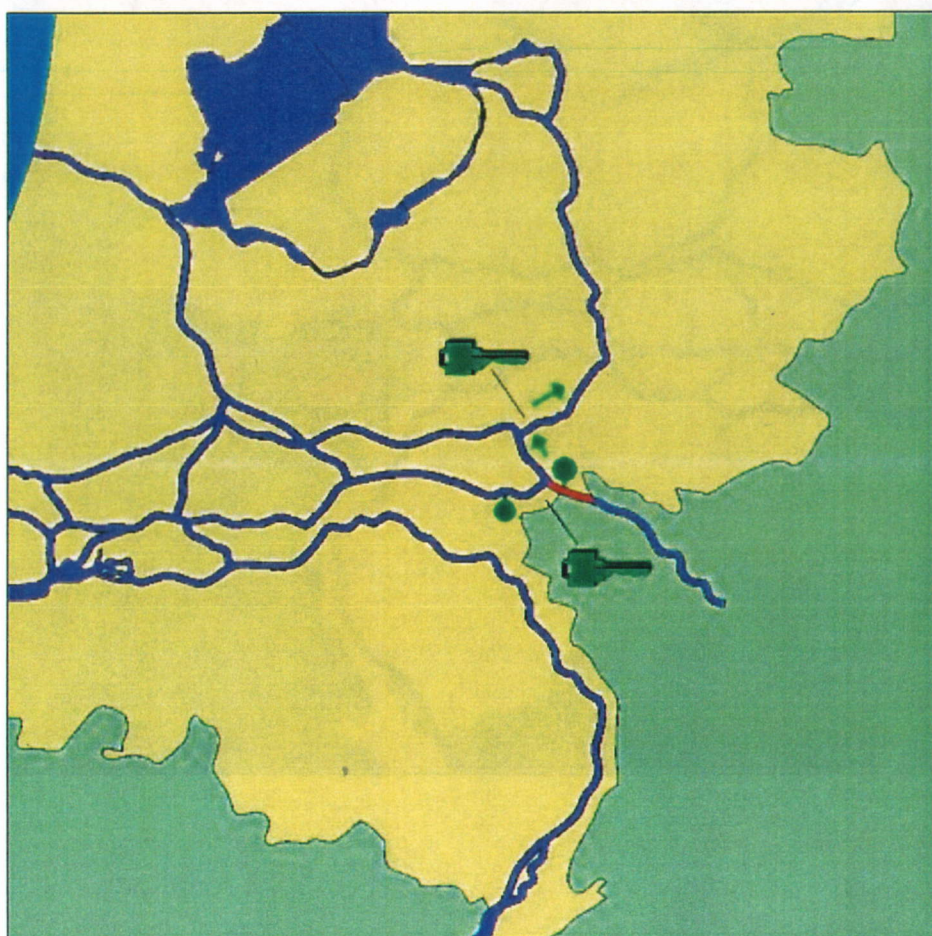
- Er dient zich een afvoergolf aan van meer dan 16.000 m³/s.

Gevolgen:

- De MHW-standen op de Boven-Rijn worden overschreden. De dijken overstroomden/bezwijken, de dijkringen aan rechteroever (Rijn en IJssel) en linkeroever (Ooij en Millingen) lopen (deels) onder.
- Bij forse overschrijding van 16.000 m³/s wordt de golf onvoldoende afgetopt: ook verder benedenstrooms, op Waal en Pannerdens Kanaal, overstroomden/bezwijken de dijken.

Oplossingen:

- Hou de Rijnstrangen en de Ooijpolder achter de hand als noodoverloopgebied. Bovenstrooms de Ooijpolder moeten de Waal en Boven-Rijn (structureel) extra worden verruimd.
- Stuur met regelwerken op de splitsingspunten het surplus naar de tak waar overstrooming het minste kwaad kan. Indien dit de IJssel is, dan moeten de Boven-Rijn en het Pannerdens Kanaal (structureel) extra verruimd worden.



Scenario 3

Situatie 2015:

- Alle Rijntakken zijn verruimd om 16.000 m³/s te kunnen verwerken, deels met gebruikmaking van de Rijnstrangen en de Ooijpolder als retentiegebied
- Maximale aanvoer vanuit Duitsland is 18.000 m³/s.

Probleem:

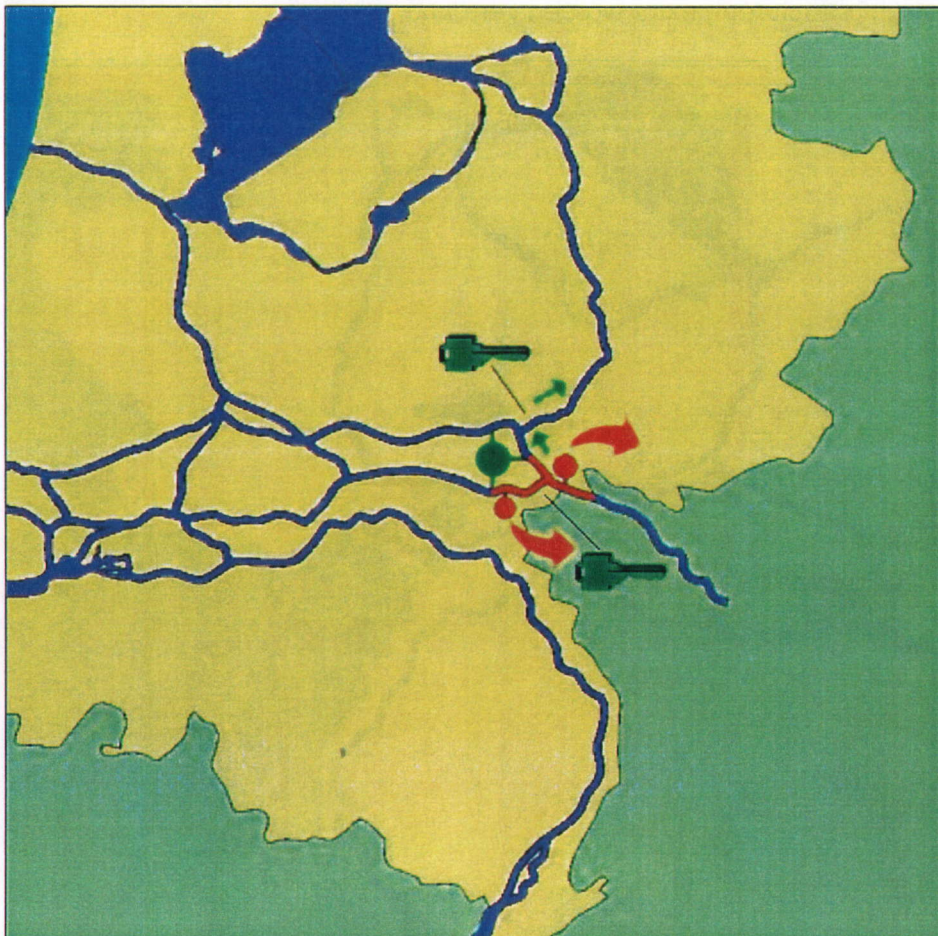
- Er dient zich een afvoergolf aan van meer dan 16.000 m³/s of,
- De afvoergolf van 16.000 m³/s is breder dan verwacht.

Gevolgen:

- De MHW-standen op de Boven-Rijn worden overschreden. De dijken, inclusief die om de retentiegebieden overstroomen/bezwijken, de dijkkringen aan rechteroever (Rijn en IJssel) en linkeroever (Ooij en Millingen) lopen (deels) onder.
- Bij forse overschrijding van 16.000 m³/s wordt de golf onvoldoende afgetopt: ook verder benedenstrooms op Waal en Pannerdens Kanaal overstroomen/bezwijken de dijken.

Oplossingen:

- Hou een noodoverloopgebied achter de hand, bijvoorbeeld in de oostelijke Betuwe. Bovenstrooms moet de rivier (structureel) extra worden verruimd.
- Stuur met regelwerken op de splitsingspunten het surplus naar de tak waar overstroming het minste kwaad kan. Indien dit de IJssel is, dan moeten de Boven-Rijn en het Pannerdens Kanaal extra verruimd worden.



Scenario 4

Situatie 2015:

- Alle Rijntakken zijn verruimd om 16.000 m³/s te kunnen verwerken, eventueel met gebruikmaking van de Rijnstrangen en Ooijpolder als retentiegebied.
- Maximale aanvoer vanuit Duitsland is 18.000 m³/s.

Probleem:

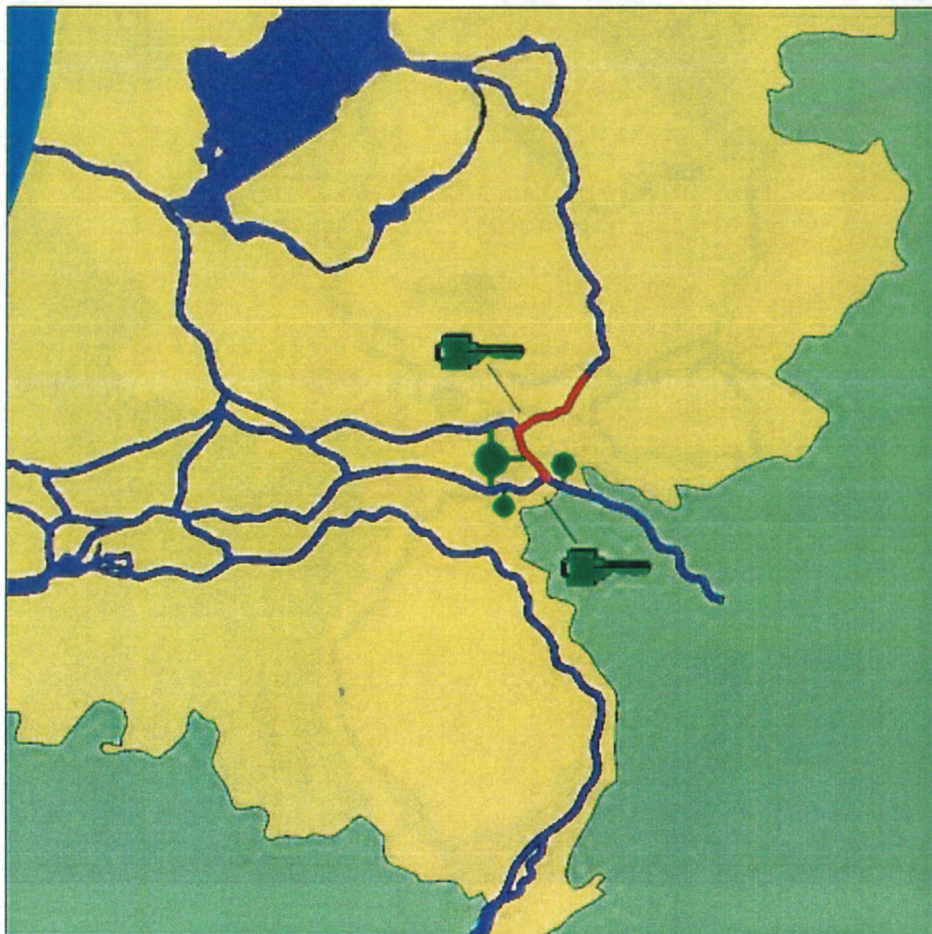
- Er dient zich een hoogwatergolf van 16.000 m³/s aan.
- De afvoerverdeling op de Pannerdense Kop en/of IJsselkop is anders dan verwacht.

Gevolgen:

- Als een tak teveel afvoer krijgt omdat deze tak in de omgeving van het splitsingspunt hydraulisch minder ruw (dan verwacht) of uitgeschuurd is, dan worden de MHW-standen op deze tak, benedenstrooms van het minder ruwe / uitgeschuurde traject overschreden.
- Als een tak teveel afvoer krijgt omdat de andere tak ruwer of aangezand is, dan vindt opstuwing plaats, en worden de MHW-standen bovenstrooms van het splitsingspunt overschreden.

Oplossingen:

- Stuur met regelwerken de afvoerverdeling op de splitsingspunten bij.
- Hou de Ooijpolder en de Rijnstrangen achter de hand als noodoverloopgebied. Bovenstrooms moet de Rijn (structureel) extra worden verruimd.
- Als beide gebieden al als retentiegebied gebruikt worden, hou dan een noodoverloopgebied achter de hand, bijvoorbeeld in de oostelijke Betuwe. Bovenstrooms moet de Rijn (structureel) extra worden verruimd.



Scenario 5

Situatie 2015:

- Alle Rijntakken zijn verruimd om 16.000 m³/s te kunnen verwerken, eventueel met gebruikmaking van de Rijnstrangen en Ooijpolder als retentiegebied.
- Maximale aanvoer vanuit Duitsland is 18.000 m³/s.

Probleem:

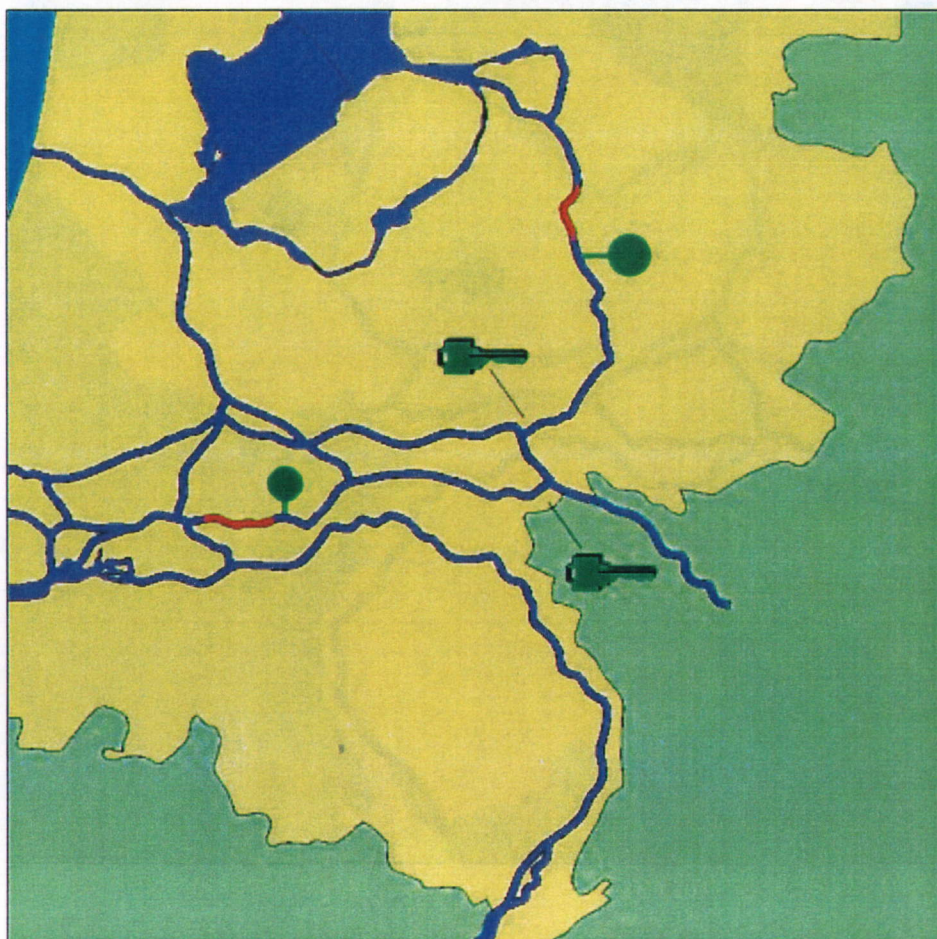
- Er dient zich een hoogwatergolf van 16.000 m³/s aan.
- Lokaal langs één of meer takken zijn de hydraulische ruwheden hoger dan verwacht.

Gevolgen:

- Aan de bovenstroomse zijde van het ruwe traject worden de MHW-standen overschreden.
- Als het ruwe traject direct benedenstrooms van een splitsingspunt ligt, neemt de afvoer op de andere takken toe.

Oplossingen:

- Laat het leger ter plaatse hydraulische knelpunten opblazen: kribben, zomerkades, ooibossen,
- Hou op strategische plaatsen noodoverloopgebieden achter de hand, rekening houdend met looptijden. De bescherming tegen overstroming richt zich op bepaalde gebieden/steden met een grote economische waarde en/of hoge bevolkingsdichtheid.
- Probeer tijd te winnen door tijdelijk de afvoerverdeling op de splitsingspunten bij te sturen, en ondertussen met noodvoorzieningen de dijk te versterken en/of mensen te evacueren.



Scenario 6

Situatie 2015:

- Alle Rijntakken zijn verruimd om 16.000 m³/s te kunnen verwerken, deels met gebruikmaking van de Rijnstrangen en de Ooijpolder als retentiegebied.
- Maximale aanvoer vanuit Duitsland is 18.000 m³/s.

Probleem:

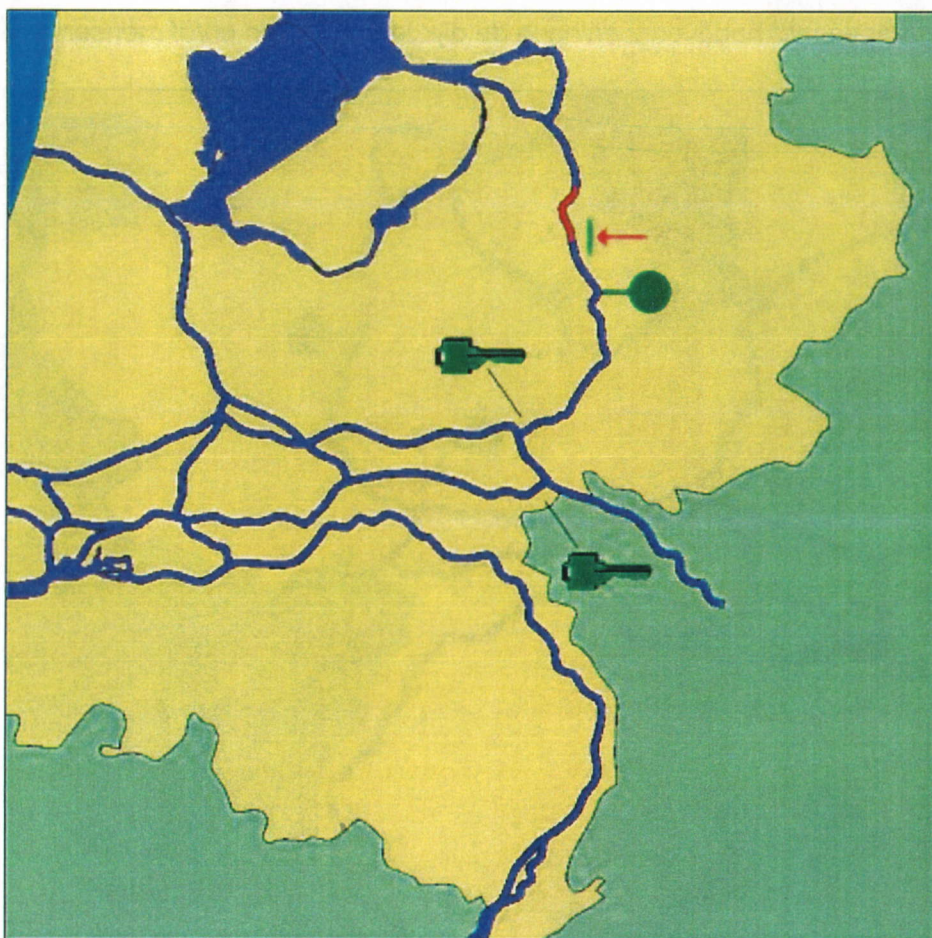
- Er dient zich een hoogwatergolf van 16.000 m³/s aan.
- Lokaal langs één of meer takken is de zijdelingse toestroming groter dan verwacht.

Gevolgen:

- Benedenstrooms van het lozingspunt worden de MHW-standen overschreden.

Oplossingen:

- Loos zo veel mogelijk water voorafgaand aan de top van de golf.
- Berg het surplus tijdens de top in het stroomgebied van de betreffende waterloop.
- Hou op strategische plaatsen noodoverloopgebieden achter de hand, rekening houdend met looptijden. De bescherming tegen overstroming richt zich op bepaalde gebieden/steden met een grote economische waarde en/of hoge bevolkingsdichtheid.
- Probeer tijd te winnen door tijdelijk de afvoerverdeling op de splitsingspunten bij te sturen, en ondertussen met noodvoorzieningen de dijk te versterken en/of mensen te evacueren.



Scenario 7

Situatie 2015:

- Alle Rijntakken zijn verruimd om 16.000 m³/s te kunnen verwerken, eventueel met gebruikmaking van de Rijnstrangen en de Ooijpolder als retentiegebied.
- Maximale aanvoer vanuit Duitsland is 18.000 m³/s.

Probleem:

- Er doet zich een combinatie voor van hoge rivierafvoer en hoge zeestand/meerpeil.

Gevolgen:

- In de overgangsgebieden van Merwede (Dordrecht), Lek (Schoonhoven) en/of IJssel (Kampen) worden de MHW-standen overschreden.

Oplossingen:

- Stuur met regelwerken de afvoerverdeling op de splitsingspunten bij of zet de retentiegebieden in. Een probleem hierbij is de relatieve lange looptijd van een afvoergolf vanaf de splitsingspunten naar de overgangsgebieden; de voorspellingstermijn voor storm op zee is relatief kort.
- Hou op strategische plaatsen noodoverloopgebieden achter de hand, rekening houdend met looptijden. De bescherming tegen overstroming richt zich op bepaalde gebieden/steden met een grote economische waarde en/of hoge bevolkingsdichtheid.
- Berg het water buitendijks door in de uiterwaarden noodkades aan te leggen dwars op de stroomrichting. Wellicht zijn de stuwen in de Neder-Rijn (na modificatie) ook te gebruiken.
- Voer het water af via de Volkeraksluizen naar de Zeeuwse wateren en/of stuur het water via bypasses: Waal -> Maas via verruimd Kanaal van St. Andries, Lek -> Waal via aangepast Merwedekanaal en IJssel -> Vossemeer via nieuw te maken bypass.

