

A wide river flows from the background towards the foreground. A large, textured ice floe is in the middle ground, partially blocking the river. The sky is a mix of soft yellow and grey, suggesting a sunset or sunrise. The water reflects the light from the sky. In the distance, there are silhouettes of trees and a low horizon line.

Ruimte maken voor de Rijn

Samenvatting van wat het onderzoek
heeft opgeleverd

Ruimte maken voor de Rijn

Samenvatting van wat het onderzoek heeft
opgeleverd

oktober 2001

IRMA

SPONGE



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

*Directie Oost-Nederland
Directie Zuid-Holland
Rijksinstituut voor integraal Waterbeheer en Afvalwaterbehandeling / RIZA*



wL | delft hydraulics



afsluitdijk



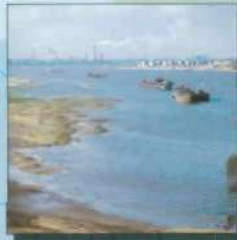
ijssel



lek



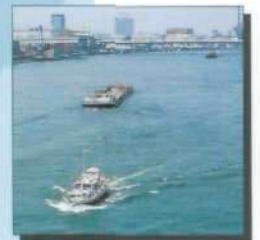
waal



niederrhein



mittelrhein



oberrhein



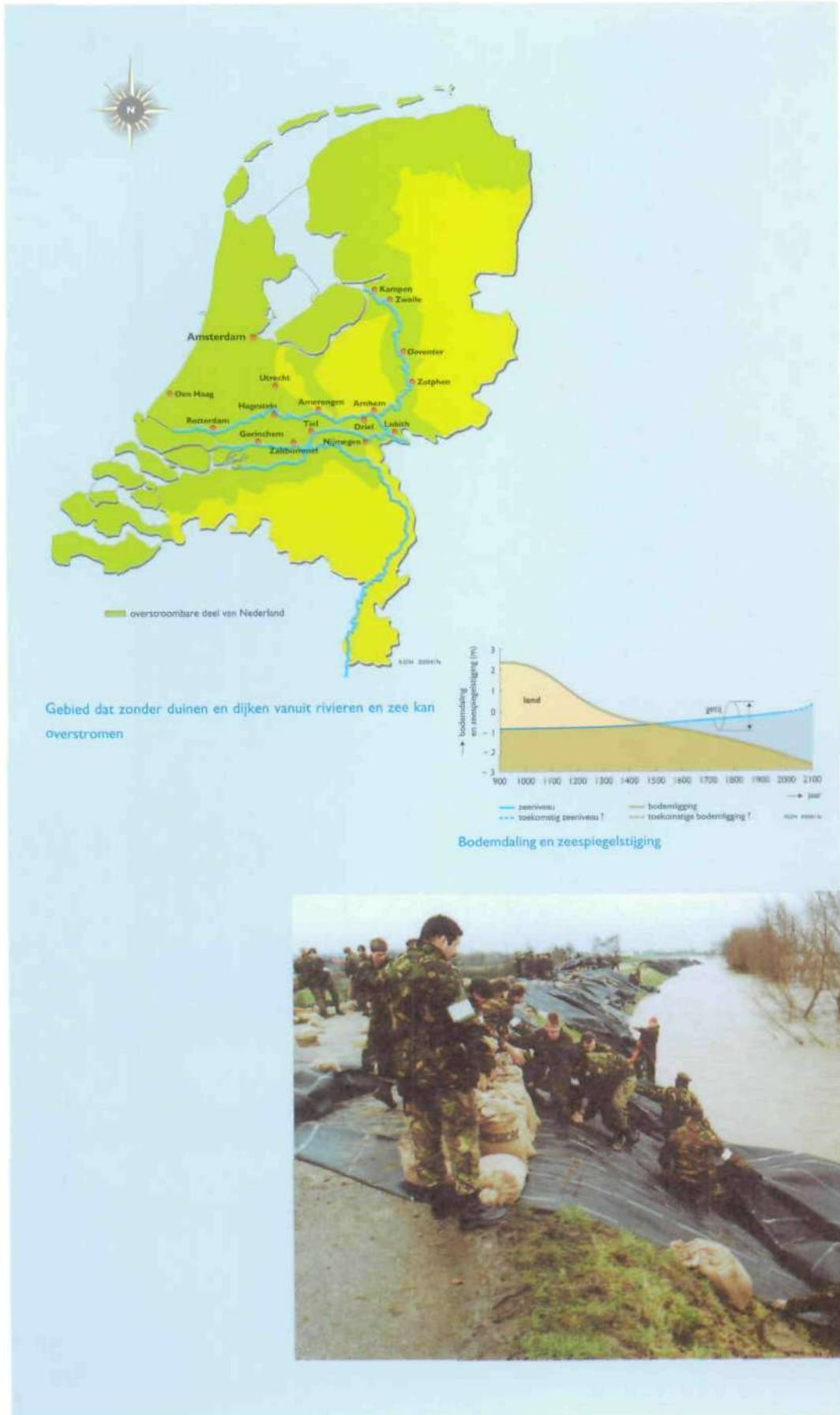
hochrhein



alpenrhein

Stroomgebied van de Rijn en studiegebied

	blz.
Ten geleide	5
Probleem en achtergronden	9
Aanpak van het probleem	23
Vasthouden van water in het stroomgebied	27
Bergen van water langs de Rijntakken	31
Afvoeren van water via de Rijntakken	35
Combineren van maatregelen	51
Omgaan met onzekerheden	55
Verantwoording van foto's en illustraties	58
Colofon	59



Ten geleide

Nederland in de Rijndelta

Meer dan de helft van Nederland ligt in het stroomgebied van de Rijn, één van de grootste rivieren van Europa. Het stroomgebied van de Rijn beslaat een oppervlakte van 185.000 km² en strekt zich uit over negen landen. De lengte van de Rijn, van bron tot uitmonding in de Noordzee, bedraagt 1320 km. De rivier stroomt door vier landen: Zwitserland, Frankrijk, Duitsland en Nederland. De Rijn komt bij Lobith Nederland binnen en legt dan nog 170 km af tot de Noordzee.

Nederland ligt dus aan het eind van de Rijn, in de delta. In een delta vertakt een rivier zich vaak, in dit geval in de zogenaamde Rijntakken: de Waal, Neder-Rijn/Lek en IJssel. Deze brochure gaat over deze Rijntakken en het benedenrivierengebied. Op de Rijntakken wordt de waterstand volledig door de rivierafvoer bepaald. Waar de waterstanden niet meer alleen door de rivierafvoer worden bepaald, maar ook de zee haar getijdeninvloed doet gelden, wordt gesproken van het benedenrivierengebied. Samen nemen de uiterwaarden en de hoofdgeul van de Rijntakken en benedenrivieren een oppervlak van ruim 500 km² in beslag.

Om Nederland bewoonbaar te maken en te houden zijn dijken aangelegd. Al omstreeks het midden van de 14e eeuw kwam een bijna aaneengesloten stelsel van dijken tot stand, dat tot op de dag van vandaag het beeld van het Nederlandse rivierenlandschap bepaalt. De dijken, ook wel banddijken of winterdijken genoemd, beschermen het achterliggende land tegen hoogwaters.

In 1995 werd het Nederlandse rivierengebied – na een lange periode van relatieve onbezorgdheid – opgeschrikt door een hoogwatergolf op de Rijn. Deze bleek de hoogste sinds 1926 en hield lang aan. Ongeveer 250.000 mensen werden voor een kleine week geëvacueerd, omdat getwijfeld werd aan de stabiliteit van de dijken die door de lange duur van de hoogwatergolf verzadigd raakten. Dit hoogwater – samen met de voorbode in 1993 en de hoogwaters langs de Maas, de tweede grote rivier in Nederland – maakte duidelijk dat oplettendheid blijft geboden als het gaat om de veiligheid van het rivierengebied tegen overstroming.

De dijken als achilleshiel?

Mede dankzij de ligging in de delta van de Rijn kon Nederland economisch tot bloei komen. Rotterdam is een van de grootste wereldhavens met een groot en rijk achterland. De landbouw in Nederland heeft kunnen profiteren van de rijke gronden die de Rijn heeft afgezet. De economisch sterke positie van Nederland is ook deels aan de dijken te danken. Tegelijkertijd maken de dijken Nederland kwetsbaar. Ze vormen een soort achilleshiel. Dat zit zo.

Een groot deel van Nederland ligt beneden zeeniveau of beneden het hoogwaterpeil op de grote rivieren. Nu stijgt de zeespiegel geleidelijk, en door klimaatverandering is dit proces inmiddels flink versneld. Door dezelfde klimaatverandering kunnen de piekafvoeren van de Rijn en de Maas fors toenemen. Het binnendijkse gebied in vooral het westen van het land is intussen al eeuwen aan het dalen, vooral door klink en door oxidatie van veen, omdat de gronden zo 'goed' ontwaterd worden. Daardoor wordt het verschil tussen waterpeilen binnendijs en buitendijs allengs groter. Binnendijs neemt de bevolking toe, het landgebruik wordt intensiever en het geïnvesteerde kapitaal groeit sterk. De economische en emotionele gevolgen van een overstroming, of zelfs van een evacuatie, zijn daardoor vele malen groter dan vroeger. Het verder verhogen en versterken van dijken is daarom niet vanzelfsprekend de beste oplossing meer.

De regering onderneemt actie

De hoogwaters van 1993 en 1995 hebben een aantal zaken in een stroomversnelling of op gang gebracht. De regering besloot allereerst door vaststelling van het Deltaplan Grote Rivieren de al lopende dijkversterking versneld uit te voeren, namelijk vóór 2001.



Beleidslijn Ruimte voor de Rivier (1996)



Adviezen rivierverruiming en
kabinetsstandpunt Ruimte voor de rivier



Dijkverbetering

Vervolgens werd in 1996 de 'Beleidslijn Ruimte voor de Rivier' van kracht, met als doel het behouden en waar mogelijk vergroten van de afvoercapaciteit van de grote rivieren én het voorkomen van nieuwe schadegevallen bij hoogwater. In 1998 werd voor het stroomgebied het Actieplan Hoogwater door de regeringen van de Rijnsoeverstaten goedgekeurd.

De regering kijkt vooruit

In 1999 verscheen de 4e Nota Waterhuishouding. Daarin werd aan hoogwaterbescherming veel aandacht besteed, mede omdat het in de lijn der verwachting ligt dat klimaatverandering in de toekomst tot hogere rivierafvoeren en een hogere zeespiegel zal leiden. Het antwoord op deze ontwikkelingen ligt in het anticiperen op te voorziene ontwikkelingen.

De regering heeft een reeks verkennende onderzoeken uit laten voeren en een commissie ingesteld om te adviseren over de richting van het waterbeheer in de toekomst. Afgeronde verkenningen zijn:

- Ruimte voor Rijntakken;
- Integrale Verkenning Benedenrivierengebied; en
- Waterhuishouding in het Natte Hart (het IJsselmeergebied).

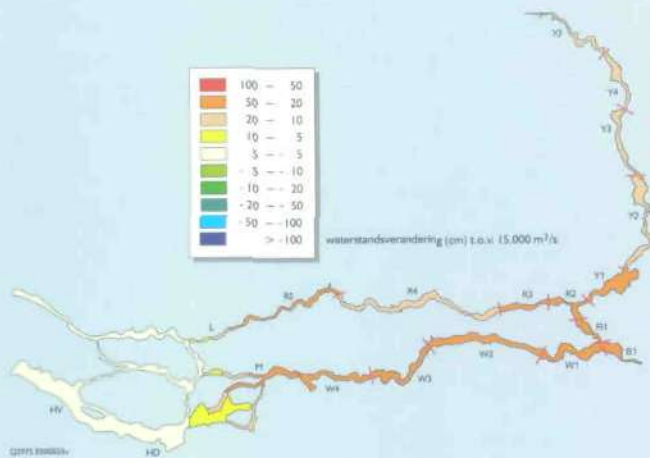
Voor de Maas loopt nog een Integrale Verkenning Maas. De regering heeft mede op basis van de resultaten van de verkenningen standpunten ingenomen over het waterbeleid. In deze kabinetsstandpunten worden drie vervolgstappen aangekondigd die belangrijk zijn voor het rivierengebied:

- Een 'Planstudie Ruimte voor de Rivier', gericht op concrete planvorming en uitvoering van maatregelen in de Rijntakken en het benedenrivierengebied. Het werk moet op de korte termijn (2015) afgerond zijn.
- Een 'Spankrachtstudie', die moet helpen bij het formuleren van een strategie voor de lange termijn (2050 en verder). Deze studie moet inzicht geven in de toekomstige verdeling van een hoogwaterafvoer over de drie Rijntakken. Ook moet de studie in beeld brengen welke gebieden langs de rivier in de toekomst nodig zijn voor de opvang van hoogwater.
- Een commissie 'Noodoverloopgebieden', die moet adviseren over het gebruik en de locatie van noodoverloopgebieden. Absolute veiligheid is niet mogelijk, er blijft altijd een kleine kans op overstroming. Daarom wordt bekeken of het mogelijk is om deze overstromingen gecontroleerd te laten plaatsvinden om zo de schade zoveel mogelijk te beperken.

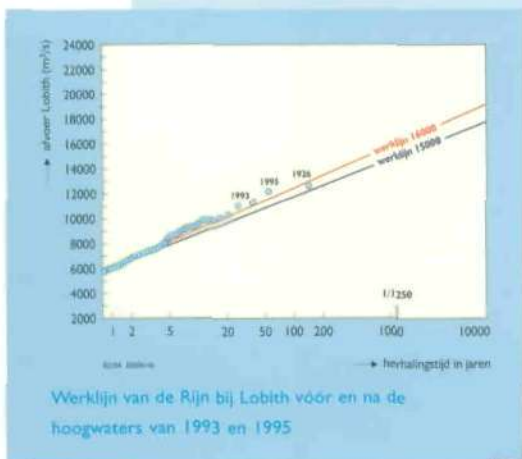
Waarom deze brochure?

In het onderzoek dat voor de afgeronde verkenningen is uitgevoerd, is inzicht verkregen in de mogelijkheden en onmogelijkheden om grotere rivierafvoeren veilig te verwerken bij een hogere zeespiegel. De resultaten van het onderzoek zijn samengevat in een rapport over de Rijntakken ('Ruimte voor Rijntakken, Wat het onderzoek ons heeft geleerd') en achtergrondrapporten bij het Advies Integrale Verkenning Benedenrivierengebied (o.a. 'Integrale Verkenning Benedenrivieren, Van onderzoek naar advies'). Deze brochure bevat relevante passages uit deze rapporten en geeft ook de meest recente inzichten weer.

Deze kennis kan van belang zijn voor een ieder die actief betrokken wil zijn bij de planstudie, deel wil nemen aan de discussies over de lange-termijn strategie en/of noodoverloopgebieden, of gewoonweg geïnteresseerd is in de rivier.



Verandering van de hoogwaterstanden, gemiddeld per traject, bij een toename van de maatgevende Rijnafvoer van 15.000 naar 16.000 m³/s bij gelijkblijvende afvoerverdeling op de splitsingspunten van de Rijntakken, en een zeespiegelstijging van 0 cm.



Werklijn van de Rijn bij Lobith vóór en na de hoogwaters van 1993 en 1995



Hoogwater januari 1995

Probleem en achtergronden

Wat is eigenlijk het probleem?

Het probleem waarmee we op korte termijn worden geconfronteerd is dat de maatgevende afvoer ten gevolge van de hoogwaters van 1993 en 1995 hoger uitvalt dan voorheen. De maatgevende afvoer is de afvoer die, volgens de statistieken, met een kans van 1/1250 per jaar optreedt. Deze maatgevende afvoer bepaalt op zijn beurt de maatgevende hoogwaterstanden waar de hoogte van de dijken van wordt afgeleid.

Eind 2001 wordt de maatgevende afvoer opnieuw vastgesteld. De maatgevende afvoer van de Rijn zal dan op 16.000 m³/s komen te liggen; deze was 15.000 m³/s. Zonder verdere maatregelen betekent dit ook hogere maatgevende hoogwaterstanden. De figuur hiernaast laat zien hoeveel de waterstanden stijgen door deze toename van de maatgevende afvoer bij Lobith met 1000 m³/s.

Door klimaatverandering zal de maatgevende afvoer op de lange termijn (2050-2100) waarschijnlijk verder toenemen tot 18.000 m³/s. Tegelijkertijd stijgt de zeespiegel, waardoor het water in de rivieren vanuit zee wordt opgestuwd.

Als we deze waterstandsstijging toelaten, moeten de rivierdijken hoger en sterker gemaakt worden. Als we dat niet doen, neemt de kans op overstroming toe. Maar hoe hoger de dijken worden, hoe groter de gevolgen zijn als er toch een keer een dijk doorbreekt. Achter de rivierdijken liggen vaak diepe polders, waar bij een dijkdoorbraak nu al enkele meters water zou kunnen komen te staan.

De uitdaging van de kabinetsstandpunten is dan ook om naast dijkversterkingen ook andere maatregelen te verkennen waarmee - ondanks de hogere maatgevende afvoer - een nieuwe ronde van dijkverhogingen kan worden voorkomen. Daarbij wordt uitgegaan van het principe van 'Ruimte voor de Rivier': door de rivier ruimer te maken, dalen de hoogwaterstanden. De maatregelen om de toename van 15.000 m³/s naar 16.000 m³/s op te vangen moeten vóór 2015 zijn uitgevoerd.

Bescherming tegen overstromingen van het binnendijkse rivierengebied is dus het centrale vraagstuk?

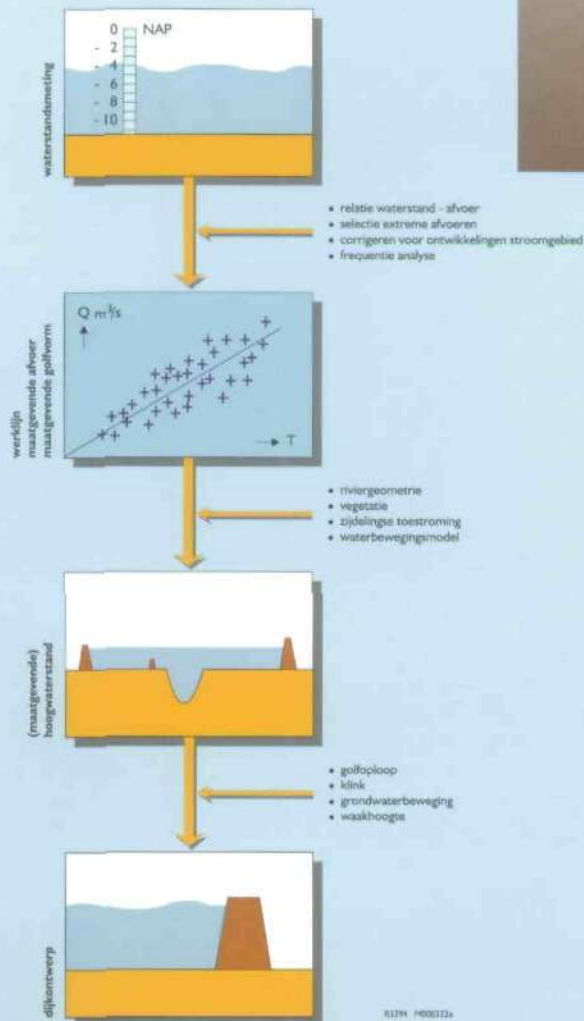
Inderdaad, want dat is de plek waar we wonen, werken en recreëren, waar industrie is gevestigd en waar land- en tuinbouw wordt bedreven. Het beschermen van al die activiteiten tegen overstroming vanuit de rivier heeft de hoogste prioriteit.

Maar het is geen bescherming ten koste van alles. Er moet wel rekening worden gehouden met 'algemene belangen', waarvoor de overheid een taak heeft als hoeder. Daarbij kan men denken aan de ontwikkeling en het behoud van de natuur, aan het behoud van cultuurhistorisch erfgoed, en aan versterking van de ruimtelijke kwaliteit. Ook moet rekening worden gehouden met sociaal-economische belangen van vele maatschappelijke geledingen.

Tenslotte wordt over veiligheid steeds vaker gedacht in termen van risico's. Een overstromingsrisico bestaat uit een kans op een overstroming en het gevolg van die overstroming. Het verkleinen van de kans is dan ook niet het enig mogelijke, ook het verkleinen van de gevolgen leidt tot een lager risico. Deze idee ligt onder andere ten grondslag aan het denken over noodoverloopgebieden, of: beter een gecontroleerde overstroming met kleine gevolgen dan een ongecontroleerde met grote.

Hoe is onze bescherming tegen hoogwater langs de grote rivieren eigenlijk geregeld?

De bescherming tegen hoogwater is samengevat in de Wet op de waterkering die in 1996 van kracht is geworden. Hierin staat dat de waterschappen verantwoordelijk zijn voor de aanleg en het onderhoud van de dijken. Langs de Rijntakken en in het benedenrivierengebied gaat het om ruim duizend km.



Van waterstandsmeting, via werklijn en maatgevende hoogwaterstand, naar dijkontwerp



De Wet op de waterkering schrijft voor dat beheerders hun dijken elke vijf jaar moeten toetsen op veiligheid. Deze toetsing vindt plaats per dijkkringgebied. Dat is een gebied dat wordt omsloten door dijken. Soms maken de dijken de ring niet rond, maar sluiten ze aan op hogere gronden zoals de Veluwe. Er zijn in Nederland 53 dijkkringgebieden waarvan 20 langs de Rijntakken.

De Wet op de waterkering geeft ook aan dat om de vijf jaar, de eerstvolgende keer eind 2001, de maatgevende afvoer en hoogwaterstanden opnieuw moeten worden vastgesteld. Op basis hiervan wordt berekend hoe hoog de dijken moeten zijn. De hoogwaterstanden moeten steeds opnieuw worden vastgesteld omdat de rivier in de tijd verandert. Het zomerbed schuurt uit of zandt aan, de uiterwaarden slibben op, en in de uiterwaarden wijzigt soms het landgebruik of ontwikkelt de begroeiing zich.

Tot slot regelt de Wet op de waterkering dat Rijkswaterstaat voor adequate waarschuwingdiensten zorgt. Als verwacht wordt dat de waterstand op de Rijntakken of langs de kust een bepaalde waarde overschrijdt worden de verantwoordelijke overheden op de hoogte gesteld.

Waarop is de hoogte van onze rivierdijken dan precies gebaseerd?

Dijken worden zo ontworpen dat ze hoogwater gedurende een bepaalde tijd kunnen keren. Een belangrijk vertrekpunt vormt de maatgevende hoogwaterstand, dit is de waterstand die de dijk nog veilig moet kunnen keren. Vervolgens wordt rekening gehouden met opwaaiing en golfoploop. Tenslotte wordt aan de dijk extra hoogte gegeven om de dijk tijdens hoogwater als inspectiepad goed begaanbaar houden en om inklinking van het grondlichaam op te vangen.

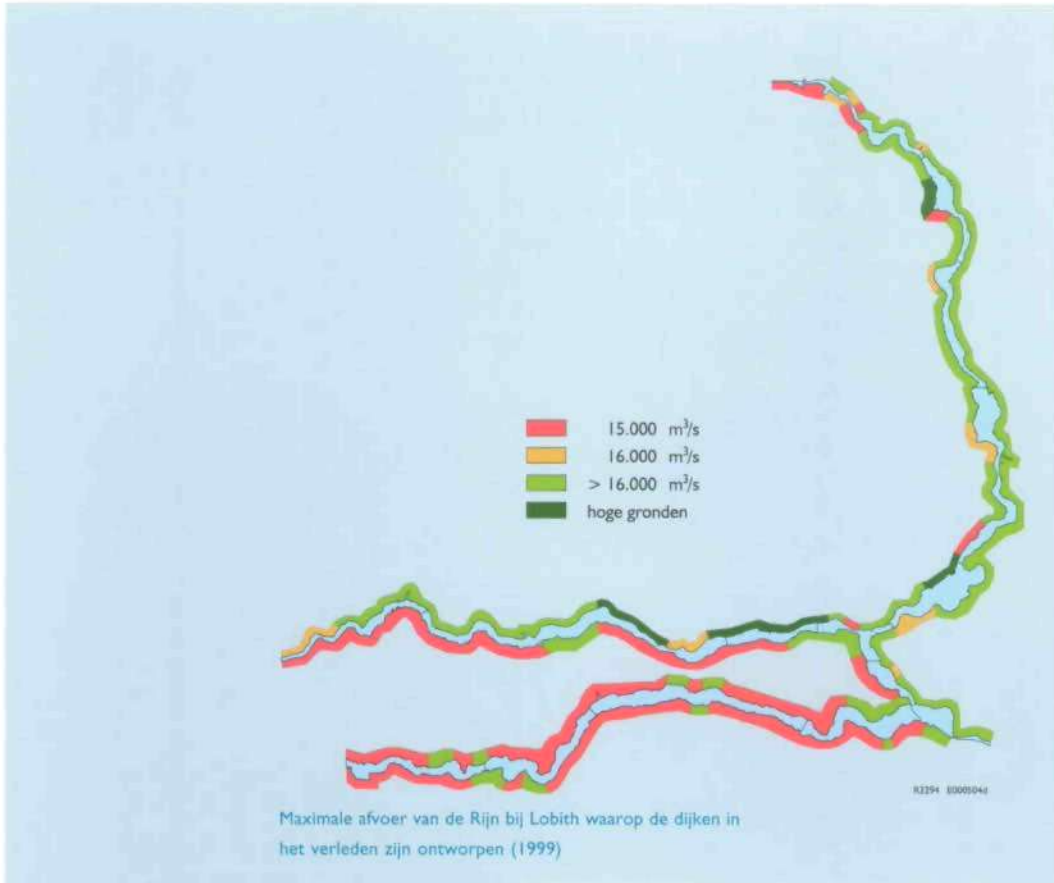
De maatgevende hoogwaterstand is de waterstand met een kans van voorkomen die samenhangt met het beschermingsniveau dat voor de verschillende dijkkringgebieden is gekozen. Zo hebben in Nederland de dijkkringen langs de Rijntakken vrijwel alle een beschermingsniveau van 1/1250 per jaar, dat wil zeggen: de kans dat de waterstand in een bepaald jaar hoger wordt dan de maatgevende waterstand is kleiner dan 1/1250. In het benedenrivierengebied zijn de beschermingsniveaus hoger, namelijk 1/2000 oplopend tot 1/10.000 per jaar voor bijvoorbeeld dijkkring 'Centraal Holland' waarin grote steden liggen zoals Rotterdam en Den Haag. Dit hangt samen met de bevolkingsdichtheid en de grotere economische belangen, en met de moeilijke voorspelbaarheid van storm op zee. Daardoor is de kans op slachtoffers groter. Bovendien is zeewater zout en dat brengt bij eventuele overstroming grotere schade toe.

Hoe worden de maatgevende hoogwaterstanden berekend?

De maatgevende hoogwaterstanden op de Rijntakken kunnen worden berekend als de maatgevende afvoer bij Lobith bekend is. Daarbij wordt gebruik gemaakt van computermodellen waarmee de stroming van het water in de rivier wordt nagebootst.

De waterstanden in de rivier worden vooral bepaald door de ruimte die in het rivierbed aanwezig is en door de stromingsweerstand die het water van bijvoorbeeld kaden en begroeiing ondervindt. Het verband tussen maatgevende afvoer en maatgevende waterstanden ligt dus niet vast, maar is afhankelijk van de vorm van het rivierbed, de hoogte van de uiterwaarden en de begroeiing in de uiterwaarden.

In het benedenrivierengebied worden de maatgevende waterstanden berekend uit een groot aantal combinaties van rivierafvoeren voor de Rijn en de Maas, de waterstand op zee en het al dan niet falen van de Maeslantkering en de Hartelkering bij Rotterdam.



Hoogwater op de Waal



Zaltbommel

Wat betekent een kans op overschrijding van de maatgevende waterstand eigenlijk?

Ten eerste betekent overschrijding van de maatgevende waterstand nog niet dat er een dijk overloopt of onmiddellijk zal breken. Er is immers extra waakhogte ingebouwd. Vervolgens zijn een kans van eenmaal per 1250 jaar, van 1/1250 per jaar, of - nog beter - van 0,08% per jaar op overschrijding van de maatgevende waterstand slechts verschillende manieren om uit te drukken dat er een statistische kans is op overschrijding van de maatgevende waterstand. Wat dat precies inhoudt is vaak aanleiding tot misverstanden.

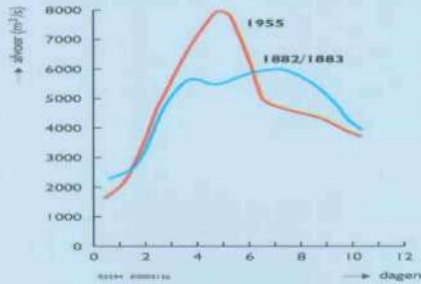
Eenmaal per 1250 jaar betekent namelijk *niet* dat een overschrijding maar eens per 1250 jaar kan voorkomen of dat het na zo'n gebeurtenis 1250 jaar duurt voordat het weer gebeurt. Het betekent dat een overschrijding *gemiddeld* eenmaal per 1250 jaar optreedt op grond van metingen in het verleden en statistische aannames. De kans dat er volgend jaar een overschrijding van de maatgevende waterstand op de Rijntakken optreedt is dus 0,08%. In een mensenleven van 80 jaar is die kans ongeveer 6%. De kans op tweemaal zo'n gebeurtenis tijdens een mensenleven is ongeveer 0,2%. De kans op waterstanden hoger dan die in 1995 is ongeveer 2% per jaar. Iemand die na dit hoogwater is geboren, heeft een kans van 80% tenminste eenmaal een waterstand op de Rijntakken mee te maken die hoger is dan die in januari 1995. De kans dit ten minste twee keer mee te maken is 50%.

Voor de veiligheidsniveaus in het benedenrivierengebied van 1/2000, 1/4000 en 1/10.000 geldt hetzelfde verhaal als voor de 1/1250 kans, maar met steeds kleinere getallen.

Zijn de huidige dijken nu veilig of niet?

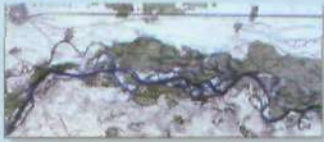
Na de hoogwaters van 1993 en 1995 zat de schrik goed in de benen en werd achterstand in de dijkverzwaring geconstateerd. De regering besloot tot het Deltaplan Grote Rivieren: alle rivierdijken zijn in het jaar 2000 op de toen vereiste sterkte gebracht. Zijn de dijken dan nu veilig? Aan de ene kant, ja: de dijken zijn immers versterkt zoals overeengekomen en zijn op dit moment sterker dan ooit tevoren. Aan de andere kant, nee: want de maatgevende afvoer wordt eind 2001 bijgesteld naar 16.000 m³/s. Daar zijn de dijken - op enkele uitzonderingen na - niet op berekend. De dijken zijn natuurlijk hetzelfde gebleven, nog even hoog en even sterk, maar omdat er dan wordt uitgegaan van een hogere maatgevende afvoer zijn verdere maatregelen nodig om 'even veilig' te blijven.

Bij discussies over veiligheid tegen overstroming moet wel bedacht worden dat het om een relatief begrip gaat. Er kan altijd een waterstand op de rivier optreden waarop onze dijken niet zijn berekend. Dit ligt impliciet besloten in de benadering via normen. De gewenste veiligheid is een maatschappelijke keuze. Ook al zou men 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 nooit worden gegeven; er blijft altijd een zeker risico bestaan. Wel kan men zich er zo goed mogelijk tegen wapenen en, voor het geval het mis gaat, goed voorbereid zijn. Juist voor dergelijke onvoorziene omstandigheden wordt nagedacht over gecontroleerde overstroming in noodoverloopgebieden.



Hoogwatergolf van 1882/1883 en 1955 op de Oberrhein bij Worms

Deze golven zijn door hevige neerslag in het zuiden van het stroomgebied ontstaan en hebben een vergelijkbaar volume. Die van 1955 is aanzienlijk steiler en hoger door de kanalisatie van de Oberrhein.



Oberrhein volgens de plannen van Johann Gottfried Tulla

De kaartjes tonen de Oberrhein voor de regulatie rond 1830, na de regulatie en na de kanalisatie (met stuwen) rond 1963. Door deze werken heeft de Oberrhein veel van zijn oorspronkelijke overstroomingsvlakte verloren.

Stuwen en stuwdammen in het stroomgebied van de Rijn

Deze vormen een onneembare barrière voor het zand en grind dat met de rivier wordt meegevoerd. Benedenstrooms vult de rivier dit tekort weer aan door uit de bodem materiaal op te nemen. Zonder tegenmaatregelen komt het zomerbed hierdoor steeds lager te liggen.



Hoe groot is de maatgevende afvoer bij Lobith nu? En hoe was deze vroeger?

Vanaf eind 2001 bedraagt de maatgevende afvoer 16.000 m³/s bij Lobith. Voor alle duidelijkheid: dat is de in 2001 opnieuw vastgestelde maatgevende afvoer waarin rekening is gehouden met de hoogwaters van 1993 en 1995. Tot eind 2001 was de maatgevende afvoer 15.000 m³/s, een waarde die was vastgesteld op advies van de commissie Boertien, die in 1992 in het leven was geroepen naar aanleiding van groeiende weerstand in de Nederlandse samenleving tegen voorgenomen dijkversterkingen.

De maatgevende afvoer heeft in het verleden onder invloed van voortschrijdend inzicht en wisselende ideeën over de te gebruiken veiligheidsnormen nogal wat variaties gekend. Zo zijn de rivierdijken langs de Rijntakken na overstromingen in 1926 aangepast aan de tot op dat moment hoogst bekende afvoer (ongeveer 12.500 m³/s bij Lobith). De watersnoodramp van 1953 versterkte echter de bestaande twijfels over het waterkerend vermogen van de rivierdijken: de maatgevende afvoer van de Rijn werd in 1956 op 18.000 m³/s gesteld met een kans van optreden van ongeveer 1/3000 per jaar. De consequentie hiervan was dat de rivierdijken zeer ingrijpend versterkt moesten worden. De onrust en weerstand die hierdoor in de Nederlandse samenleving ontstonden, waren voor de Minister van Verkeer en Waterstaat aanleiding om in 1975 de commissie Becht in te stellen. De belangrijkste conclusie van deze commissie 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. Uiteindelijk concludeerde de al genoemde commissie Boertien in 1993 dat de maatgevende afvoer verder naar beneden kon tot 15.000 m³/s; de veiligheidsnorm van 1/1250 per jaar bleef ongewijzigd.

Hoe wordt de maatgevende afvoer bij Lobith eigenlijk berekend?

De maatgevende 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 corrigeren voor veranderingen die het stroomgebied van de Rijn in de 20^e eeuw heeft doorgemaakt.

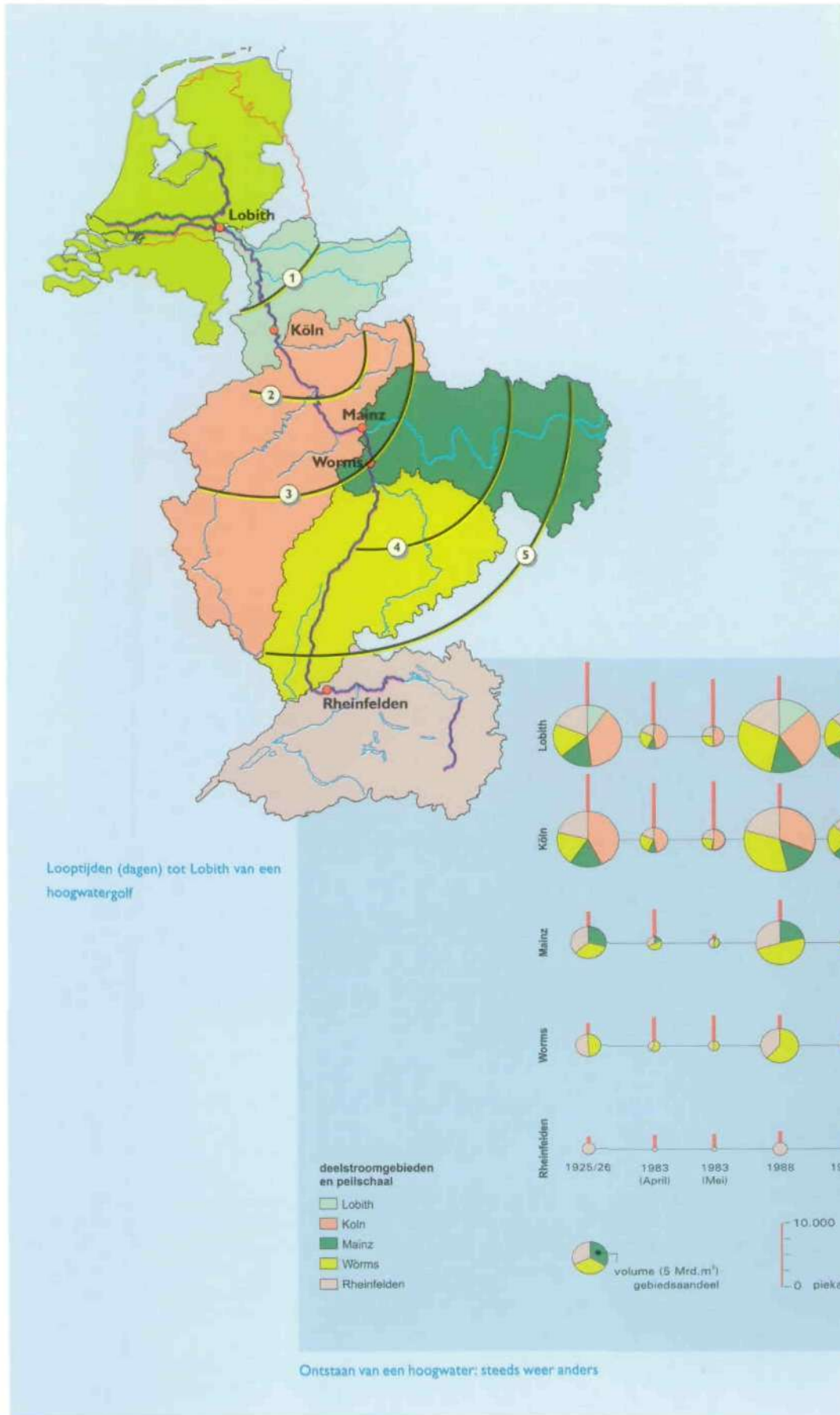
Een belangrijke verandering betreft de kanalisatie van de Oberrhein in het zuiden van Duitsland in de periode na 1928. Het gevolg hiervan is dat afvoergolven die vooral door neerslag in het zuiden van Duitsland ontstaan, sneller en spijter ons land bereiken.

Na alle correcties volgt een statistische analyse. Het resultaat hiervan is een grafiek met op de horizontale as de kans van voorkomen van hoogwaters en op de verticale as de hoogte van de afvoer. De lijn door de opgetreden piekafvoeren wordt de werklijn genoemd. Door deze te verlengen kan de afvoer met een kans van voorkomen van 1/1250 per jaar worden afgelezen.

Hoe ontstaat een hoogwater op de Rijn?

Door neerslag die in het stroomgebied van de Rijn valt, vanzelfsprekend. Maar de hoogte en vorm van de afvoergolf die we bij Lobith waarnemen is het gevolg van de fasering in de tijd van de afvoer van de zijrivieren naar de Rijn en de afvoer op de Rijn zelf. Doorslaggevend daarvoor is het neerslagpatroon: waar, in welke delen van het stroomgebied, en wanneer de regen valt.

Verder speelt de voorgeschiedenis een rol. Heeft het al een tijd geregend waardoor de ondergrond nog nauwelijks water kan opnemen? Of was de ondergrond bevroren waardoor neerslag snel tot afstroming komt? Of ging het net dooien waardoor eerder gevallen sneeuw smelt. Al met al betekent het dat praktisch elk hoogwater een andere wijze van ontstaan kent.



Ontstaan van een hoogwater: steeds weer anders

Zo is het hoogwater van 1993 vooral in het midden en zuiden van het Rijnstroomgebied ontstaan, doordat de afvoerpiek van de Moezel bij Koblenz vrijwel samenviel met de piek op de Rijn. De afvoer van de Moezel was met 4200 m³/s de hoogste sinds de metingen in 1817 begonnen. In Zuid-Duitsland was de toestand niet extreem.

Het hoogwater van 1995 is met name ontstaan in het midden en noorden van het stroomgebied. Door een extreme afvoer van de Main was de afvoer op de Mittelrhein in 1995 groter dan in 1993, maar de piekafvoer van de Moezel was ruim 600 m³/s lager dan in 1993. Forse regenval in de kleine deelstroomgebieden ten noorden van de Moezel leidde echter tot een 6 cm hogere waterstand in Keulen dan in 1993. Bij Lobith was de afvoer 12.000 m³/s en de waterstand ongeveer 10 cm hoger dan de hoogst gemeten waterstand, die van 1926.

Nederland kwam er in 1995 tamelijk goed vanaf omdat de meeste piekafvoeren van de zijtakken niet samenvielen met de piek van de afvoer op de Rijn zelf. De piek van sommige zijrivieren liep vóór op de piek in de hoofdgeul, de piek van andere zijrivieren viel ná de piek van de afvoergolf in de hoofdgeul, alleen die van de Moezel viel praktisch gelijk. Bovendien arriveerde de piekafvoer in het benedenrivierengebied juist nadat er een forse afwaaiing op zee was opgetreden, waardoor er extra gespuid kon worden via de Haringvlietssluisen.

Hoe lang duurt het voordat een afvoergolf ons land bij Lobith bereikt?

Daar gaat aardig wat tijd overheen. Een hoogwater dat in het zuiden van Duitsland is ontstaan doet er 4 à 5 dagen over voordat het ons land bereikt. Van Koblenz tot Lobith - een afstand van 250 km - duurt nog altijd 2 dagen.

In Nederland plant een hoogwater zich langzamer voort dan in Duitsland omdat we in de vlakke delta van de Rijn zijn aangeland. Een hoogwatergolf legt de afstand tussen Lobith en de Noordzee - een afstand van ongeveer 170 km - in ongeveer 2 dagen af.

Hoe verdeelt de maatgevende afvoer zich bij de splitsingspunten over de Rijntakken? En gaat dat vanzelf?

Bijna 65% van de hoeveelheid water die bij hoge afvoeren ons land bij Lobith binnenkomt, vervolgt zijn weg via de Waal. Ruim 20% stroomt verder via de Neder-Rijn en Lek, terwijl de IJssel ongeveer 15% te verwerken krijgt. Deze verdeling komt in grote lijnen nog steeds overeen met de verdeling zoals die in 1771 in een conventie tussen de provincies Gelderland, Overijssel, Utrecht en Holland is afgesproken: 6/9 van de Rijnafvoer via de Waal, 2/9 via de Neder-Rijn/Lek en 1/9 via de IJssel. Deze afvoerverdeling blijft praktisch onveranderd bij een toename van de maatgevende afvoer.

De verdeling over de takken gaat inderdaad vanzelf, er komt geen regelwerk aan te pas. De vorm en inrichting van het rivierbed, tot ongeveer 25 km benedenstreams van de splitsingspunten, bepalen de verdeling van de afvoer over de takken, dat wil zeggen: bodemhoogte van de hoofdgeul, hoogteligging en breedte van de uiterwaarden, aanwezigheid van dammen, kaden, overlaten, bruggenhoofden, begroeiing, enz.

Belangrijke constructies die bij hoogwater de afvoerverdeling beïnvloeden zijn de Millingerdam op de linker oever van de Waal en de Pannerdensch overlaat op de rechter oever van het Pannerdensch Kanaal.

De verdeling van het water over de Rijntakken is dus onlosmakelijk verbonden met de inrichting rondom de splitsingspunten. Verstoring van deze afvoerverdeling brengt onmiddellijk risico's voor de veiligheid tegen overstroming met zich mee, omdat 100 m³/s teveel naar de Neder-Rijn/ Lek of IJssel al bijna 10 cm hogere waterstanden veroorzaakt. De rivierbeheerder besteedt dan ook veel aandacht aan het beheer en onderhoud van de rivier rondom de splitsingspunten.



Monding van IJssel in Ketelmeer



Splitsingspunten van de Rijntakken



IJsselkop



Stormvloedkering in Nieuwe Waterweg



Pannerdensch Kop

Is alleen de afvoer bij Lobith belangrijk of komt er in Nederland nog water bij?

In Nederland is de totale toestroming via zijrivieren, beken en kanalen naar de Rijn naar verhouding gering. Bij het hoogwater van 1995 bedroeg de zijdelingse toestroming naar Waal en Neder-Rijn nog geen 1% van de afvoer op die Rijntakken. Alleen langs de IJssel, qua afvoer nu net de kleinste van de drie Rijntakken, kan de zijdelingse toestroming fors zijn: in 1995 bijna 10% van de afvoer die toen over de IJssel ging.

Worden de maatgevende hoogwaterstanden op de Rijntakken ook bepaald door de waterstanden op zee en het IJsselmeer?

Op de Rijntakken vormen hoge Rijnafoeren de belangrijkste oorzaak van hoogwaters. Op de benedenstroomse delen van de Rijntakken en in het benedenrivierengebied zijn er ook andere oorzaken: stormen die de waterstand op zee en het IJsselmeer omhoog stuwen. Op de Waal is opstuwung nauwelijks merkbaar, pas op de Merwede is dat het geval. Op de Lek moet benedenstrooms van Hagestein steeds meer rekening worden gehouden met de waterstand op zee. Maatgevende hoogwaterstanden worden hier dan ook afgeleid uit berekeningen voor verschillende combinaties van Rijnafvoer en zeestand. Bij Rotterdam worden de maatgevende hoogwaterstanden vrijwel volledig door de zee bepaald.

In de IJsseldelta vormen stormen op het IJsselmeer een serieus gevaar. Bij Zwolle wordt de maatgevende hoogwaterstand nog volledig door de IJsselafoer bepaald, maar benedenstrooms van Kampen vooral door de maatgevende storm op het IJsselmeer.

Verandert de maatgevende afvoer in de toekomst niet, bijvoorbeeld door klimaatverandering?

Ja, inmiddels is wel onomstotelijk vast komen te staan dat het klimaat verandert en dat de gemiddelde temperatuur op aarde zal stijgen, maar wat dat precies voor de rivierafvoeren betekent is moeilijk vast te stellen. Een hogere luchttemperatuur gaat gepaard met een toename van de neerslag in de winterperiode. Hogere rivierafvoeren kunnen hiervan het gevolg zijn, maar veel hangt af van de luchtcirculatie over Europa.

Over hoeveel de maatgevende afvoer van de Rijn zou kunnen stijgen lopen de verwachtingen nogal uiteen. Uitgaande van bijvoorbeeld een gemiddelde schatting van 1 °C temperatuurstijging rond het jaar 2050 komt de maatgevende Rijnafvoer tegen die tijd ongeveer 5% hoger te liggen. De hoge maar niet onrealistische schatting van 2 °C temperatuurstijging komt overeen met 10% toename van de Rijnafvoer. In dat geval zou de maatgevende afvoer rond 2050 bijna 18.000 m³/s kunnen worden. Als de stijging van temperatuur en rivierafvoer ook na 2050 doorzet, resulteert dit rond 2100 in een afvoer van ruim 19.000 m³/s.

Zit er geen maximum aan de afvoer bij Lobith omdat bovenstrooms in Duitsland de dijken overstromen?

Inderdaad zou er sprake kunnen zijn van een fysiek maximum. Dat wordt vooral bepaald door de dijkhoogten in Duitsland, zowel langs de zijrivieren als langs de Rijn zelf. Als de afvoeren immers hoger worden dan waar de dijken in Duitsland op zijn berekend, zullen daar grootschalige overstromingen optreden. Een deel van het water verlaat dan de rivier, waardoor de afvoer tussen de dijken lager wordt. Het water dat de overstromingen heeft veroorzaakt komt dan pas later de Rijn af.

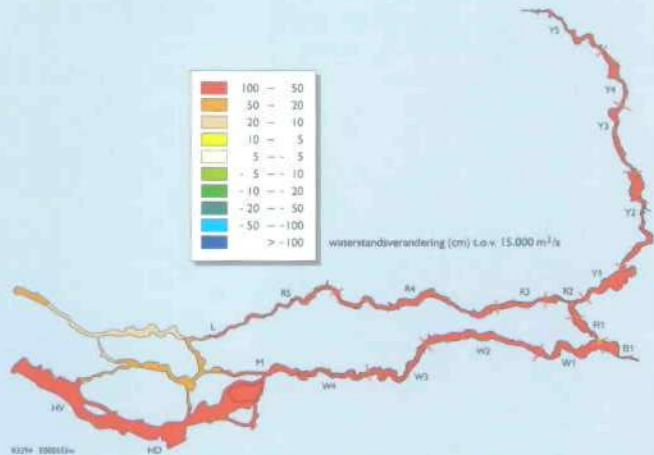
Het belangrijkste gegeven in verband met een eventueel fysiek maximum is de dijkhoogte in Nordrhein-Westfalen, het deel van Duitsland dat aan Nederland grenst. In het verleden zijn hier dijken aangelegd die plaatselijk al gaan overstromen bij een afvoer van 14.500 m³/s. Na afronding rond 2015 van het lopende dijkversterkingsprogramma zullen de dijken pas overstromen bij een afvoer ergens tussen 17.500 en 18.000 m³/s. Als er in Duitsland dan geen nieuwe maatregelen meer worden genomen, is die afvoer voor de Rijn bij Lobith voorlopig de meest waarschijnlijke fysieke bovengrens.



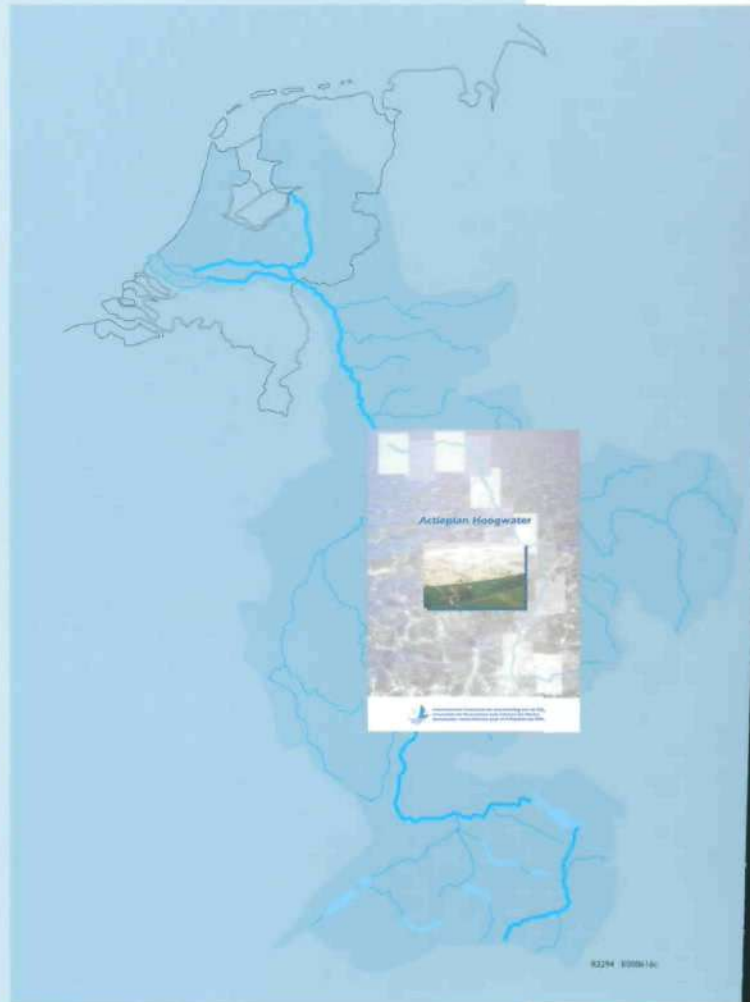
Waterdiepten in door hoogwater bedreigd gebied langs de Niederrhein met (in rood) en zonder (in blauw) dijken bij een Rijnaafvoer met een kans van optreden van 1/500 jaar

Actieplan Hoogwater Rijn

Een belangrijke doelstelling van het Actieplan is het verlagen van de extreem hoge waterstanden (benedenstrooms van het door stuwen gereuleerde deel van de Oberrhein) met gemiddeld 30 tot 70 cm in respectievelijk 2005 en 2020. Deze verlagingen zijn het geschatte effect van maatregelen in het gehele stroomgebied, inclusief die in Nederland.



Verandering van de hoogwaterstanden, gemiddeld per traject, bij een toename van de maatgevende Rijnaafvoer van 15.000 naar 18.000 m³/s bij gelijkblijvende afvoerdeling op de splitsingspunten van de Rijntakken, en een zeespiegelstijging van 45 cm.



De grote vraag is dan natuurlijk of in de toekomst de dijken in Duitsland niet verhoogd zullen worden, of het rivierbed zal worden verruimd, waardoor er een hogere afvoer door de rivier kan. Dit is in het licht van in het Actieplan Hoogwater gemaakte afspraken niet te verwachten. In het Actieplan wordt namelijk op basis van solidariteit tussen de landen naar oplossingen gestreefd. Dit houdt in dat benedenstrooms geen problemen mogen ontstaan als gevolg van maatregelen die bovenstrooms genomen worden.

Mochten de dijken in Nordrhein-Westfalen overigens overlopen of het begeven dan kan dat ook voor Nederland vervelende gevolgen hebben. Bij een dijkdoorbraak op de linkeroever kan het water binnendijs tot Nijmegen stromen. Bij een doorbraak op de rechteroever stroomt het water via de Oude IJssel (langs Doetinchem) naar de IJssel. Dat is in 1784 ook gebeurd na een dijkdoorbraak bij Bislich.

En wat zijn de gevolgen van zeespiegelstijging voor de hoogwaterstanden op de Rijn?

Voor de gevolgen van de klimaatverandering bestaan er verschillende verwachtingen. Zo gaat de gemiddelde schatting uit van een relatieve zeespiegelstijging van 25 cm rond het jaar 2050; de hoge schatting is 45 cm rond 2050.

Voor de Rijntakken resulteert de hoge schatting in ongeveer 10 cm extra verhoging van de maatgevende hoogwaterstanden op de Lek bij Schoonhoven en in 5 cm extra op de Waal bij Gorinchem. Een verhoogde Rijnaivoer van 18.000 m³/s veroorzaakt hier echter zo'n 70 cm verhoging. De hogere hoogwaterstanden worden op deze plaatsen dus vooral veroorzaakt door een hogere rivierafvoer.

Zeespiegelstijging betekent voor het IJsselmeer dat spuien via de Afsluitdijk moeilijker wordt. De hoge schatting voor zeespiegelstijging betekent voor de IJssel een ongeveer 20 cm hogere maatgevende waterstand bij de uitmonding in het Ketelmeer. Voor het benedenrivierengebied betekenen hogere waterstanden op zee dat de Maeslant- en Hartelkering vaker gesloten zullen moeten worden dan nu het geval is.

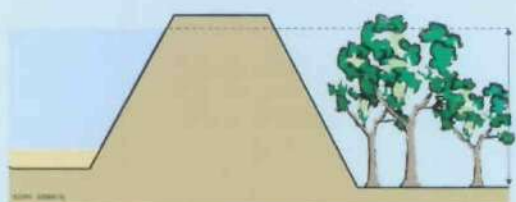
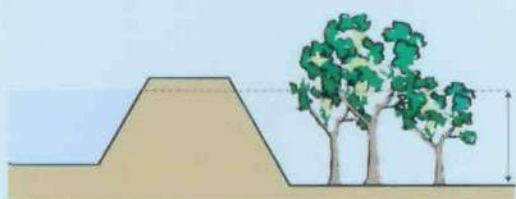
Hoe groot is het probleem op lange termijn dan?

Hiernaast is te zien hoever de waterstanden stijgen bij een toename van de maatgevende afvoer bij Lobith van 15.000 m³/s tot 18.000 m³/s en een gestegen zeespiegel. Deze stijging van de waterstand vormt het probleem waar we mogelijk op langere termijn voor worden geplaatst. Geschat wordt dat 18.000 m³/s voorlopig de maximale afvoer is die Lobith tussen de dijken kan bereiken. De eerder genoemde Spankrachtstudie verkent of een dergelijke afvoer ook nog veilig kan worden verwerkt. Deze studie wordt ook uitgevoerd om te kunnen beoordelen of maatregelen voor de korte termijn passen binnen oplossingsrichtingen voor de lange termijn. Als het roer op lange termijn termijn volledig moet worden omgegooid kan men zich immers afvragen of dat niet al voor de korte termijn gewenst is.

Alles samenvattend ...?

Door de recente hoogwaters stijgt in 2001 de wettelijk vastgestelde maatgevende afvoer van de Rijn bij Lobith van 15.000 naar 16.000 m³/s. Als we niets doen aan de beschikbare ruimte voor de Rijn zal dit leiden tot 20 à 30 cm hogere waterstanden op de Rijntakken, waardoor hogere dijken nodig zijn om de bescherming tegen overstroming op het huidige niveau te handhaven. Hoe hoger de waterstand in de rivier, des te groter de gevolgen als het toch tot een overstroming komt. Dit vraagt maatregelen op de korte termijn, voor 2015.

Op de lange termijn kunnen de waterstanden op de Rijntakken nog hoger worden als door klimaatverandering de Rijnaivoer verder toeneemt. Een maatgevende afvoer van 18.000 m³/s bij Lobith resulteert in 50 à 90 cm hogere waterstanden. In het benedenrivierengebied en in de benedenstroomse delen van de Rijntakken zullen door zeespiegelstijging op de lange termijn de hoogwaterstanden verder stijgen.



Hogere dijken, grotere risico's



Het gebied rondom Arnhem in 1830 en 2000

Aanpak van het probleem

Waarom niet gewoon weer de dijken verhoogd?

Natuurlijk beschikken we over de technische mogelijkheden om, net zoals in het verleden, nu en in de toekomst de dijken te blijven verhogen. Maar maatschappelijk gezien is dat - vooral op de lange termijn - ongewenst. Dijkversterkingen hebben immers steeds meer nadelige gevolgen voor landschap, natuur en cultuurhistorische waarden. En het verschil in hoogte tussen de waterstand in de rivier en het binnendijkse gebied wordt steeds groter waardoor het overstromingsrisico alleen maar groter wordt als het tot een overstroming zou komen. Nu al maken de grotere bevolkingsomvang en de toegenomen investeringen in het binnendijkse gebied overstromingen tot een veel ingrijpender gebeurtenis dan zo'n 20 of 30 jaar geleden. Bovendien wordt door de steeds hogere en zwaardere dijken de illusie van absolute veiligheid versterkt, waardoor de investeringen weer toenemen, waarna de roep om extra dijkverhoging weer toeneemt, waardoor de investeringen ... etc. We draaien zo rond in een negatieve spiraal.

In het kabinetsstandpunt Waterbeleid in de 21^e Eeuw is daarom een ander beleid voorgesteld, gericht op het doorbreken van deze negatieve spiraal:

- anticiperen in plaats van reageren;
- meer ruimte aan water geven naast technische maatregelen, zoals dijkverhoging; en
- waterproblemen niet afwentelen op benedenstrooms gelegen gebieden, door achtereenvolgens: vasthouden – bergen – afvoeren.

Dus bij voorbaat meer ruimte maken voor de rivier ...?

Dat is toch wel iets te stellig. Inmiddels is in het kabinetsstandpunt Ruimte voor de Rivier nadere invulling gegeven aan beleid dat al werd aangekondigd in de 4e Nota Waterhuishouding van 1999. Nog steeds heel simpel samengevat betekent het: dijkverhoging zoveel mogelijk voorkomen door rivierverruimende maatregelen, waardoor bij hogere maatgevende afvoeren de maatgevende waterstanden toch niet stijgen.

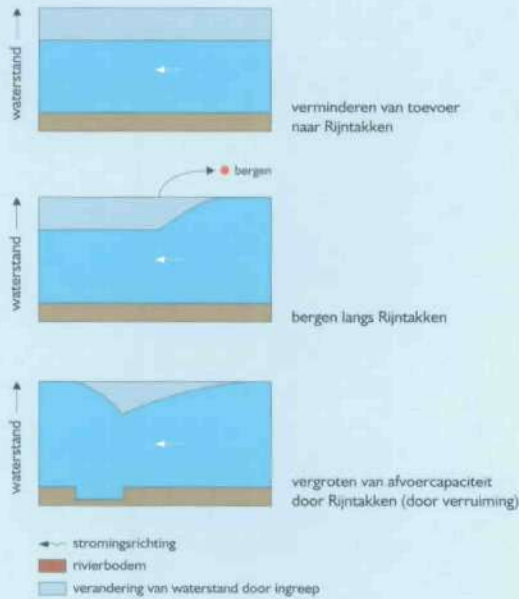
Men wil beter dan voorheen rekening houden met het gedrag van de rivier in reactie op menselijk ingrijpen. Daarbij kan men denken aan uitschuring van het zomerbed in bovenstroomse riviertrajecten als reactie op vastlegging van de vaargeul, aan aanzanding in het zomerbed in benedenstroomse trajecten door de afsluiting van de zeearmen, en aan opslibbing van de uiterwaarden door de aanleg van dijken en kaden. Door deze processen komen de uiterwaarden immers steeds hoger te liggen ten opzichte van het zomerbed. En omdat het binnendijkse gebied intussen daalt, komt de rivier bij hoge afvoeren steeds hoger ten liggen ten opzichte van het binnendijkse gebied.

Dan nu graag wat concreter: welke mogelijkheden zijn er om te voorkomen dat de waterstanden op de Rijntakken hoger worden als de afvoer toeneemt?

In principe zijn er drie mogelijkheden om het probleem van een hogere maatgevende afvoer aan te pakken:

- vasthouden van water in het stroomgebied, en daarmee verminderen van de toevoer van water;
- bergen van (extra) water langs de Rijntakken; en
- afvoeren van (extra) water via de Rijntakken.

De mogelijkheid 'vasthouden' pakt het probleem bij de bron aan door te zorgen dat de hevige neerslag niet tot hogere afvoeren leidt of ons land niet, gedeeltelijk of pas later bereikt. Dat vraagt maatregelen bovenstrooms in het stroomgebied, met name in Duitsland, zoals retentie of verandering van landgebruik. Vergelijkbare maatregelen in Nederland kunnen misschien helpen de toevoer naar de Rijntakken vanuit beken en kanalen te verminderen.



Verskillende ingrepen, verschillende effecten



Een veelzijdig probleem, een veelzijdige aanpak

Dijkverlegging Bakenhof langs de zuidoever van de Neder-Rijn bij Arnhem: een IRMA-project



Huidige situatie



Mogelijke situatie na dijkverlegging



- 1 - kribverlaging
- 2 - zomerbedverdieping
- 3 - opheffen hydraulische knelpunten
- 4 - verlagen uiterwaard
- 5 - lokale dijkverlegging
- 6 - grootschalige dijkverlegging
- 7 - retentiebekken
- 8 - vermindering zijdelingse toestroming

Rivierverruiming: ruime mogelijkheden

De tweede manier om het probleem aan te pakken, 'bergen', gaat over het tijdelijk opslaan van rivierwater in retentiegebieden langs de Rijntakken. Dit verlaagt de waterstanden benedenstrooms van de maatregel, soms tot in het benedenrivierengebied.

De mogelijkheid 'afvoeren' doelt op maatregelen die de afvoercapaciteit van het rivierbed vergroten. Hierdoor dalen de waterstanden bovenstrooms van de maatregel. Voorbeelden zijn het verwijderen van obstakels in het winterbed, zoals hoogwatervrije terreinen, veerstoepen of bruggenhoofden, verlaging van uiterwaarden, kribverlaging, zomerbedverlaging en dijkverleggingen.

Wordt er op het moment eigenlijk al iets gedaan, of wordt er alleen maar gestudeerd?

Vooruitlopend op de planvormingsfase worden al enkele tientallen rivierverruimingsprojecten voorbereid en uitgevoerd. Deze zogenaamde 'geen-spijt projecten' - 'geen-spijt' omdat ze altijd van pas komen - vallen voor het merendeel onder het IRMA-programma, dat staat voor INTERREG Rijn-Maas Activiteiten. Dit subsidieprogramma van de Europese Commissie voor de bestrijding van hoogwaterproblemen heeft een looptijd tot 2002.

De maatregelen hebben betrekking op het verwijderen van obstakels in het rivierbed, herinrichting van uiterwaarden en dijkverleggingen. Een belangrijke voorwaarde voor de projecten is dat ze ter plekke een zodanige rivierverruiming opleveren dat tenminste de toename van de maatgevende afvoer van 15.000 naar 16.000 m³/s veilig kan worden opgevangen.

Daarnaast zijn uiterwaarden kort geleden heringericht in het kader van de laatste ronde dijkversterking. De noodzaak klei te winnen voor de dijkversterking is daarbij aangegrepen om uiterwaarden opnieuw in te richten. Dat past ook bij de wens om het uiterwaardengebied een belangrijke plaats te geven in de Ecologische Hoofdstructuur (EHS) van Nederland, zoals die is voorgesteld in het Natuurbeleidsplan van de rijksoverheid. In dat kader worden er ook nog voortdurend nieuwe 'natuurontwikkelingsprojecten' geformuleerd.

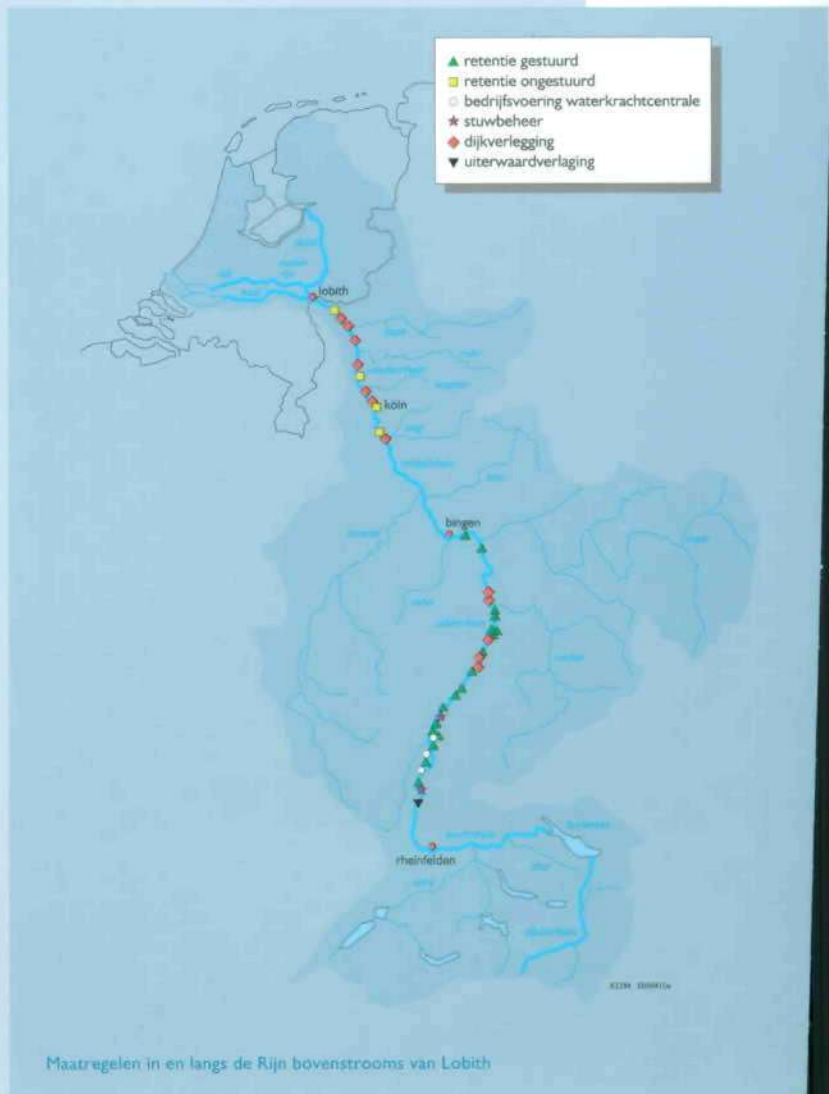
En wat als we niet op tijd klaar zijn met voldoende maatregelen of er nu al een boven-maatgevende afvoer optreedt?

Zoals gezegd: absolute veiligheid bestaat niet. In het kabinetsstandpunt Waterbeleid in de 21^e Eeuw wordt de voorkeur gegeven aan een gecontroleerde overstroming waarbij de schade beperkt kan worden, en niet aan een ongecontroleerde als er onverhoopt waterstanden optreden waar de dijken niet op berekend zijn. Daarvoor kunnen calamiteitenpolders of noodoverloopgebieden worden aangewezen. Het kabinetsstandpunt geeft aan dat er een schaderegeling moet komen voor de beoogde noodoverloopgebieden. De uitwerking van deze gedachten, alsmede de locatiekeuze is opgedragen aan de Commissie 'Noodoverloopgebieden' (Luteijn).

Een heel andere benadering is een verdergaande differentiatie van veiligheidsnormen. Er kan gekozen worden voor bijvoorbeeld lagere veiligheidsnormen bovenstrooms, of aan de zijde van de rivier waar de overstromingsschade het kleinst is. Het is zaak om al op korte termijn in het ruimtelijk beleid rekening te houden met dergelijke maatregelen. Als dit niet op tijd wordt gedaan, is het straks mogelijk te laat, omdat 'in de tussentijd de intensivering van het ruimtegebruik en de ontwikkeling van schadegevoelige functies gewoon zal doorgaan, zonder rekening te houden met de noodzaak van gecontroleerde (zeer zelden voorkomende) overstromingen'.



Verminderen van toevoer van water naar de Rijntakken



Maatregelen in en langs de Rijn bovenstrooms van Lobith



Vasthouden van water in het stroomgebied

Wat zijn de mogelijkheden om de maatgevende afvoer te Lobith te reduceren?

De maatgevende afvoer wordt bepaald door de totale hoeveelheid water die uit het stroomgebied wordt aangevoerd en de vorm van de afvoergolf. Op de totale hoeveelheid water kan alleen invloed worden uitgeoefend door de *waterbalans* in het gehele stroomgebied te veranderen. Dat is voor maatgevende omstandigheden niet mogelijk, zoals hieronder zal worden toegelicht. De vorm van de afvoergolf kan wel worden beïnvloed, maar ook dat is niet eenvoudig door de complexe fasering van afvoerpieken uit zijrivieren.

De absolute hoeveelheid water die tot afstroming komt wordt bepaald door de waterbalans: hoeveel neerslag valt er en hoeveel daarvan verdwijnt weer door verdamping. Bij geringe neerslaghoeveelheden is er een sterk verband tussen landgebruik en rivierafvoer, want neerslag bereikt de grond vaak niet eens of verdampt na opname door de vegetatie. Ook speelt tijdelijke opslag in de bodem een grote rol. Naarmate het verharde oppervlak in het stroomgebied toeneemt, komen kleinere neerslaghoeveelheden dan ook sneller in de rivier terecht. Bij extremere – en voor Nederland maatgevende – omstandigheden is het landgebruik in het stroomgebied van de Rijn echter nauwelijks meer van invloed op de rivierafvoer. Het gaat dan om lange perioden met zware regenval, soms gecombineerd met vorst in de grond. De verdamping is dan vrijwel nihil, en de opnamecapaciteit van de grond tot 0 gereduceerd: alle neerslag komt direct tot afstroming, alsof het hele stroomgebied geasfalteerd is.

Het tweede punt: de vorm van de afvoergolf. Deze wordt hoofdzakelijk bepaald door de mate van samenvallen in de tijd van piekafvoeren van de grote zijrivieren met die in de Rijn zelf. Het gaat dan vooral om de Neckar, Main en Moezel. De afgelopen eeuw liepen de afvoergolven van veel zijrivieren voor op die in de Rijn. Dat betekent dat vertraging van deze afvoergolven niet bij voorbaat gewenst is. Wat algemener gesteld: gezien de gecompliceerde *timing* van afvoerpieken op de zijrivieren en hoofdgeul, is het onjuist om te stellen dat elke maatregel die de afvoer op de zijrivieren vertraagt een goede maatregel is.

Als wijziging van het landgebruik nou niet de oplossing is, is het dan niet op een andere manier mogelijk om de maatgevende afvoer te Lobith te verkleinen?

Als we bij deze vraag denken aan bijvoorbeeld retentiemaatregelen in het stroomgebied bovenstrooms van Lobith, kan hier wel met een voorzichtig 'in principe, ja' op geantwoord worden.

Ja, omdat retentie in Duitsland afvoergolven kan aftoppen, waardoor de afvoergolf lager wordt. Voor Nederland vermindert daardoor de maatgevende afvoer. Een *voorzichtig* ja, omdat ten eerste het probleem van de fasering van afvoergolven in hoofdstroom en zijrivieren hier ook blijft bestaan. Ten tweede, omdat de werking van de retentiegebieden niet is afgestemd op het verlagen van de afvoergolf die Nederland bereikt, maar op het verlagen van afvoergolven die in Duitsland tot problemen leiden.

Langs de grote zijrivieren in Duitsland is retentie vaak goed mogelijk, maar deze is meestal gericht op het beschermen van bepaalde plaatsen tegen hoogwater. De vertraging van de afvoer kan dan leiden tot verlaging, maar ook tot verhoging van de afvoergolf op de Rijn.

Retentiemaatregelen in Duitsland langs de Rijn zelf zijn alleen mogelijk langs de Oberrhein in het zuiden en langs de Niederrhein in Nordrhein-Westfalen. Langs de Mittlerrhein, pakweg tussen de monding van de Main en Keulen, is retentie niet mogelijk omdat de rivier daar door een kloofdal stroomt.

Voorgenomen en ten dele gerealiseerde retentiemaatregelen langs het zuidelijk deel van de Oberrhein in Zuid-Duitsland, ter grootte van 290 miljoen m³, kunnen een verlaging van een extreme afvoergolf van 25 cm te Lobith opleveren. Bij afvoergolven die vooral door zijrivieren in het midden en noorden van het stroomgebied worden bepaald, zoals die van 1995, heeft Nederland bijna geen baat van deze retentiemaatregelen.



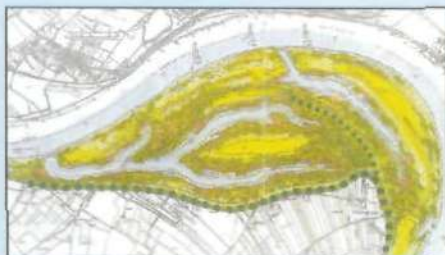
Verminderen van zijdelingse toestroming via beken en kanalen



Uitmonding van Twentekanaal in IJssel



Situatie bij Orsoy, vóór dijkverlegging



na dijkverlegging



Maatregelen langs de Niederrhein

Retentie in Nordrhein-Westfalen, langs de Niederrhein, kan voor Nederland wel veel betekenen omdat dat net bovenstrooms van Lobith is en er geen grote zijrivieren meer bijkomen. Hier zijn elf gebieden aangewezen waar ruimte aan de rivier wordt geboden. Vier van deze gebieden zijn retentiegebieden met een totale inhoud van opgeteld ongeveer 75 miljoen m³. In de overige zeven gebieden zijn dijkverleggingen uitgevoerd of gepland. Deze dragen niet substantieel bij aan een verlaging van de golf die Nederland bereikt. De wijze waarop de retentiegebieden worden ingericht en de waterhoogte waarbij ze vollopen, bepalen of Nederland er veel baat bij heeft. De waterstandsverlaging die de elf gebieden samen realiseren wordt geschat op maximaal 10 cm bij Lobith.

Samengevat: retentie in Duitsland kan een beperkte bijdrage leveren aan het verlagen van de maatgevende afvoer die Nederland bereikt, maar retentiemaatregelen in Duitsland vormen zeker geen volledig alternatief voor maatregelen in Nederland.

Is het zinvol om de zijdelingse toestroming uit Nederlandse beken en kanalen naar de Rijntakken te reduceren?

Ja en nee, ofwel een genuanceerd antwoord. De afvoer van de Rijn te Lobith is onder maatgevende omstandigheden zo enorm, 16.000 m³/s immers, dat de bijdrage van zijdelingse toestroming uit Nederlandse polders marginaal is: bij elkaar nog geen 1%.

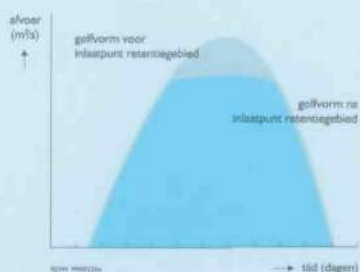
Zoals al eerder toegelicht speelt zijdelingse toestroming langs de IJssel echter wel een substantiële rol. Alle bronnen langs de IJssel bij elkaar leveren naar de huidige inzichten ruim 175 m³/s extra afvoer op. Ter vergelijking: de toename van 15.000 naar 16.000 m³/s betekent bij de huidige afvoerverdeling een extra last van 150 m³/s voor de IJssel.

Door tijdens hoogwater op de IJssel water binnendijks vast te houden kan de zijdelingse toestroming worden verminderd. Het volledig stopzetten van alle zijdelingse toevoer naar de IJssel levert een waterstandsval op van 5 cm bovenstrooms tot ruim 15 cm op de benedenstroomse delen. Of dat tegengaan van zijdelingse toevoer ook technisch mogelijk is met bijvoorbeeld retentiemaatregelen, tegen welke kosten en met welke consequenties voor de omgeving van onder meer de Oude IJssel en het Twentekanaal, is nog niet onderzocht.

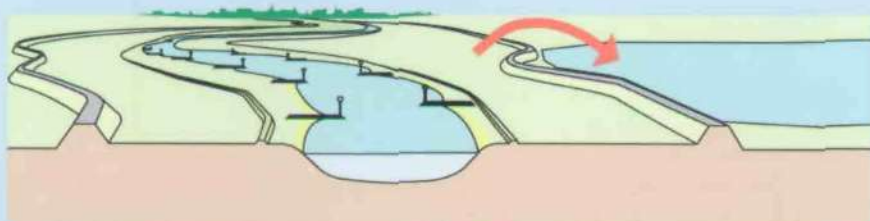
Bouwvoorschriften in overlaatgebieden in 1876

'de muren van woningen aan dijken gelegen mogen tot een decimeter boven den dijkskruin met geene andere specie dan kalk of tras worden gemetseld. In de achter- en bovenstrooms gelegen zijmuren dier woningen mogen geene deuren of luiken worden aangebragt dan boven dijkskruinhoogte, terwijl in de benedenstroomse gelegen muren deuren aangebragt wordende, die niet mogen worden gesteld in houten kozijnen, maar in in de muren gemetselde sponningen.'

Raad van Herwen en Aerdt na de watersnood van 1876



Werking van retentie met vaste (boven) en regelbare (onder) inlaat



Retentie



Boerderij op terp in Rijnstrangengebied (Dijkmanshof)

Bergen van water langs de Rijntakken

bergen

Het lijkt erop dat alle mogelijkheden om de toevoer naar de Rijntakken te beperken hiermee besproken zijn. Maar hoe zit het met de mogelijkheden in Nederland water langs de Rijntakken te bergen?

Het tijdelijk bergen van water is ook in Nederland mogelijk. Dit kan met retentie. Met retentie wordt bedoeld dat een deel van een afvoerpiek wordt afgetopt en tijdelijk wordt geborgen in een omdijkt gebied. Als de top voorbij is, wordt het tijdelijk geborgen water weer losgelaten en alsnog afgevoerd. Retentie beperkt de hoeveelheid af te voeren water voor het benedenstrooms gelegen deel van een rivier. Daarom is een locatie zo ver mogelijk bovenstrooms gewenst. In Nederland zijn retentiegebieden nabij de Duitse grens daarom het meest aantrekkelijk. Ook kan de aanleg van retentiegebieden net over de grens in Nordrhein-Westfalen nuttig zijn voor Nederland.

Hoe werkt retentie nou eigenlijk precies?

Bij retentie wordt het topje van een afvoergolf er als het ware afgeschoren. De 'golftop' wordt via een overlaat of een ander werk in een gebied gelaten, waaromheen een voldoende hoge dijk ligt. De totale bergingscapaciteit van dit gebied moet voldoende zijn om het totale volume water uit de 'golftop' te kunnen bergen. Hoe groter het retentiegebied, hoe meer de afvoertop verlaagd kan worden.

De totale benodigde bergingscapaciteit wordt bepaald door de vorm van een afvoergolf: de hoogte en tijdsduur van de golf. Om de top van een afvoergolf gedurende enkele dagen met 1000 m³/s te verminderen, is een opslagcapaciteit nodig van ruim 150 miljoen m³. Bij een waterdiepte van 5 m in het retentiegebied betekent dat een benodigd oppervlak van zo'n 3000 ha. Bij een kleinere waterdiepte zal het oppervlak dus navenant groter moeten zijn.

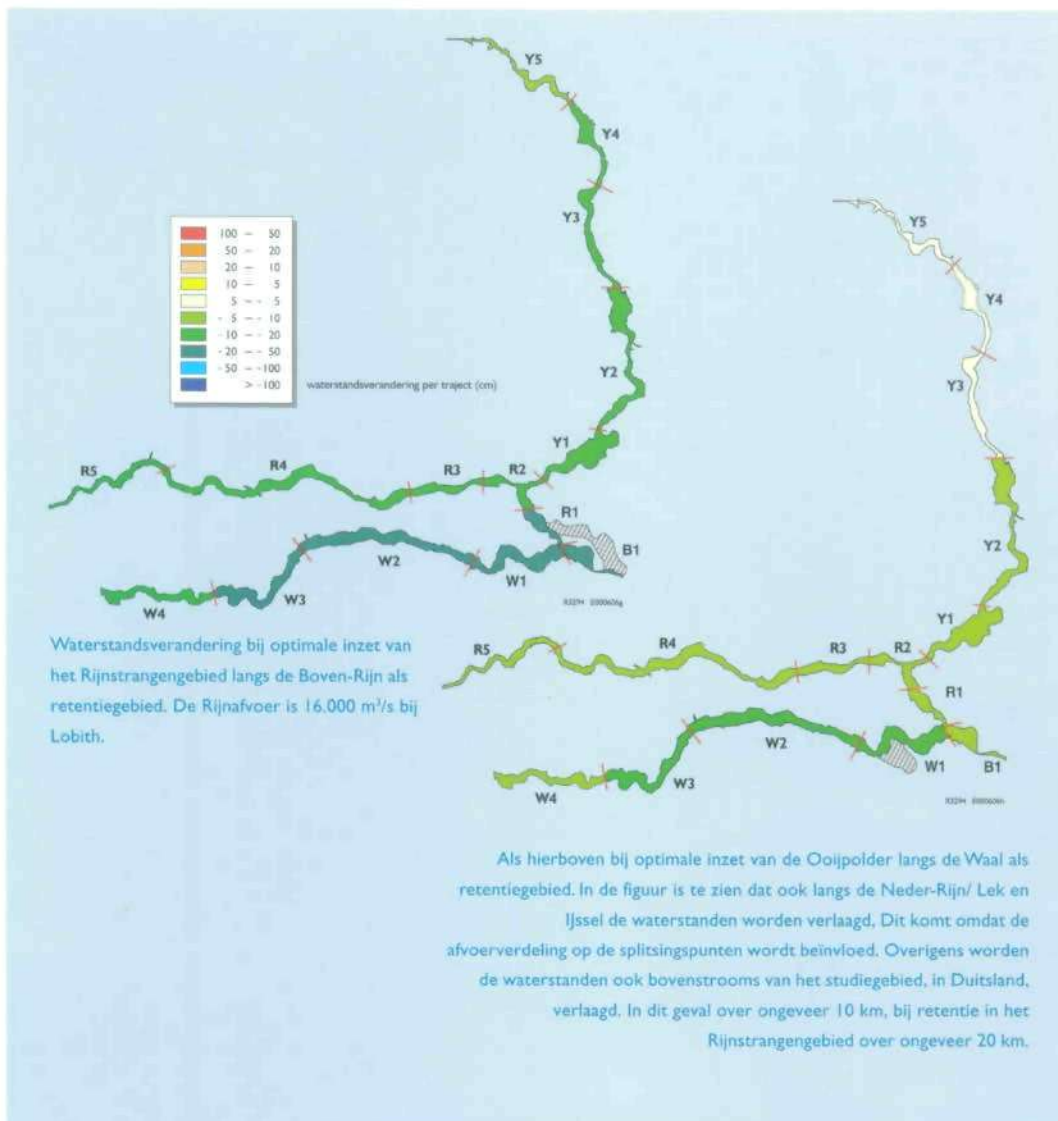
Met deze kennis van het benodigde oppervlak en de locatievoorkeur: zijn retentiebekkens langs de Nederlandse Rijntakken dan wel mogelijk?

Als we in Nederland retentiegebieden willen realiseren, moeten die dus bij voorkeur zo dicht mogelijk bij Lobith liggen. De Regering heeft in het kabinetsstandpunt Waterbeheer 21e Eeuw aangegeven daarvoor in ieder geval het Rijnstrangengebied en de Ooijpolder te willen reserveren. Het Rijnstrangengebied en de Ooijpolder hebben een opslagcapaciteit van respectievelijk ruim 150 en 65 miljoen m³, bij oppervlakken van ruim 3100 en bijna 1400 ha. Samen is dat in theorie ruim voldoende om een extra afvoer van 1000 m³/s voldoende lang af te toppen. In de Spankrachtstudie wordt verder uitgewerkt op welke locaties langs de Rijntakken retentiegebieden wenselijk en mogelijk zijn.

'In theorie ...', daarmee wordt vast geïmpliceerd dat hiermee niet alles over retentiegebieden is gezegd. Wat zijn bijvoorbeeld de consequenties van een eventuele aanwijzing van deze gebieden als retentiegebied?

Ten eerste kan een gebied alleen als retentiegebied worden gebruikt als er een dijk omheen ligt van voldoende hoogte. Voor bijvoorbeeld het Rijnstrangengebied betekent het dat er toch enkele tientallen kilometers dijk verhoogd en deels nieuw aangelegd moeten worden. Ook moet er een inlaatwerk gebouwd worden, waarmee men het water op de gewenste wijze het gebied kan laten instromen.

Vervolgens moet evacuatie natuurlijk goed geregeld zijn en is er een goede schaderegeling nodig voor mensen die in het gebied wonen of werken. Dat werkt vanzelfsprekend door in de kosten van retentiemaatregelen.



Mogelijke bergingsgebieden in het benedenrivierengebied



Retentiegebieden zullen maar zelden nodig zijn. Gedacht moet worden aan ongeveer 1/500 per jaar. Het gevaar daarvan is dat men na een aantal jaren zonder hoogwaters weer in de waan kan gaan verkeren dat ze nooit zullen hoeven te functioneren; de roep om sluiting van de overlaten of andere inlaatwerken zal dan ook groeien en de duurzaamheid van de oplossing kan daardoor in gevaar komen.

Nu we het toch hebben over het functioneren: zijn er ook risico's verbonden aan het gebruik van retentiebekkens?

Jazeker, want bij retentiebekkens luistert het tamelijk nauw. Zo moeten ze niet te vroeg vollopen, want dan zijn ze al vol voor de eigenlijke afvoerpiek is gearriveerd. Die past er dan niet meer bij en loopt 'ongehinderd' door. Eenzelfde gevaar bestaat er bij een zeer langdurige – als het ware afgeplatte – golf of bij een tweede piek kort achter de eerste, wanneer het retentiegebied nog niet (volledig) is gelegegd. Ook dan kan het retentiegebied niet meer bijdragen aan een vermindering van de afvoer.

Retentiegebieden moeten ook niet te laat vollopen, want dan is de afvoerpiek al voorbij. Dit betekent dat de timing van vollopen nogal nauw luistert. In geval van inlaat met een regelwerk betekent dat ook dat nauwkeurige voorspellingen van het afvoerloop beschikbaar moeten zijn.

En nog iets: vroeger schenen retentiebekkens niet goed te hebben gewerkt. Waarom zou dat nu anders zijn?

Vroeger werden retentiegebieden meestal gevuld via een vaste overlaat, een verlaging in een dijk om het overlopen 'gecontroleerd' te laten plaatsvinden. De capaciteit van dergelijke overlaten werd bepaald door de hoogte en door de breedte waarover ze functioneerden. Het is ook nu nog heel moeilijk een dijk over een grote lengte gelijkmatig te laten overlopen. Daar komt bij dat men vroeger de waterstanden ook nog niet zo nauwkeurig kon berekenen. Door gebruik te maken van een regelbaar inlaatwerk zou dit probleem te ondervangen moeten zijn. Daarbij is het wel goed om te bedenken dat men in het verleden slechte ervaringen had met geregelde inlaatwerken. De bewoners van een gebied namen het vaak hoog op als inundatie werd overwogen en een handgemeen met de verantwoordelijke functionaris was niet zeldzaam. In dit verband is het ervaringsfeit relevant dat naarmate een gebied minder vaak onderloopt, de maatschappelijke druk om het van overstroming te vrijwaren toeneemt.

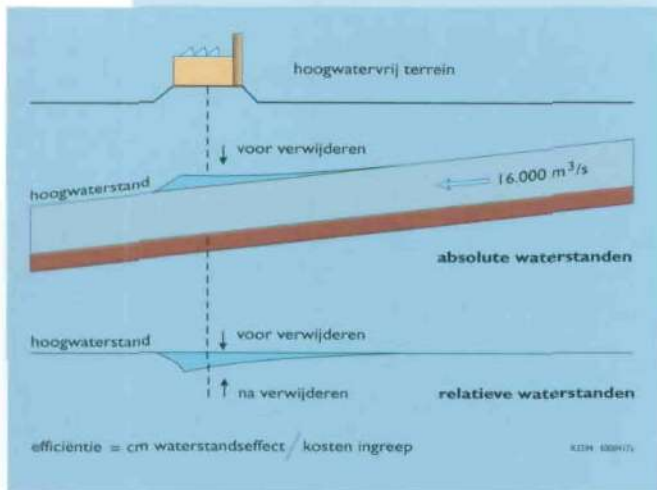
Is er verder benedenstrooms nog naar bergingsmogelijkheden gekeken?

Jazeker, behalve naar de twee hierboven genoemde grote retentiegebieden is oriënterend onderzoek gedaan naar de invloed van verscheidene kleinere retentiegebieden langs de IJssel en Neder-Rijn/ Lek en naar berging in het Veluwe-randmeer en in het benedenrivierengebied.

In het benedenrivierengebied zijn bergingsmogelijkheden in de Zuid-Hollandse en Zeeuwse wateren verkend. Daar moet het water dan via aangepaste spuisluizen in de Volkerakdam en Philipsdam naartoe worden geleid. Extra bergingscapaciteit kan ook worden gevonden in nog niet heel lang geleden bedijkte delen van de Biesbosch en langs de Bergsche Maas en Amer. Tenslotte is gezocht naar bergingsmogelijkheden in bijvoorbeeld de Hoekse Waard.



Afvoeren van water via de Rijn takken



Efficiëntie van rivierverruimende maatregelen



Baggeren op de Waal

En hoe zit het met de mogelijkheden het water langs de Rijntakken af te voeren: hoe werkt dat in vergelijking tot bergen?

Het belangrijkste verschil is dat met bergen de hoeveelheid afvoer wordt verminderd en met maatregelen die de afvoercapaciteit vergroten alleen de waterstand wordt verlaagd. In het eerste geval wordt de afvoer verkleind, in het tweede de waterstand bij dezelfde maatgevende afvoer. Dat betekent dat de maatregelen voor een ander deel van een rivier(tak) nuttig zijn. Berging is nuttig voor vrijwel het gehele gebied benedenstrooms van de maatregel. Vergroting van de afvoercapaciteit is vooral nuttig voor een beperkt riviergedeelte bovenstrooms van een maatregel.

Van afvoervergroten maatregelen is dan ook niet alleen belangrijk welke waterstandsval in hoogte wordt bereikt, maar ook over welke afstand een maatregel bovenstrooms doorwerkt. Die afstand is afhankelijk van de situatie: hoe sterk is het verhang van de rivier (het verloop van de waterstand in de lengterichting van de rivier) op die plek, hoe liggen de dijken, welke andere obstakels zijn er in de buurt, hoe is het met de stromingsweerstand van de begroeiing in uiterwaarden gesteld, etc. Sommige maatregelen verlagen de waterstand over een paar honderd meter, andere werken tientallen kilometers stroomopwaarts door.

Om de afvoer te vergemakkelijken en zo de waterstand te laten dalen, kunnen drie groepen maatregelen worden onderscheiden:

- maatregelen in het zomerbed;
- maatregelen in de uiterwaarden; en
- maatregelen binnendijks (dijkverleggingen e.d.).

Erst het zomerbed dan maar: als bij hoogwater meer dan de helft van de afvoer door het zomerbed gaat, kan dat zomerbed dan niet nog extra worden uitgebaggerd? Daar heeft vast niemand last van en het zand kan misschien worden gebruikt in de bouw.

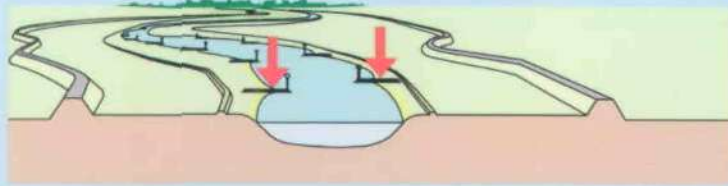
Zoals eerder opgemerkt daalt de bodem van het zomerbed in de bovenstroomse delen van de Rijntakken door ingrepen in het verleden. Vanwege de negatieve gevolgen voor onder andere scheepvaart, grondwaterstanden en de stabiliteit van kribben, wordt getracht dit in samenwerking met Duitsland te stoppen. Verdiepen van het zomerbed komt dan wat vreemd over.

In benedenstroomse delen vindt daarentegen aanzanding plaats. Daar wordt ook geregeld gebaggerd. Als andere maatregelen daar geen oplossing bieden zou zomerbedverdieping in de benedenstroomse delen kunnen worden overwogen.

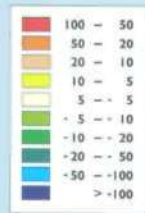
Voor de drie Rijntakken is nagegaan hoeveel waterstandsverlaging met een zomerbedverdieping van 1 m in de benedenstroomse delen kan worden behaald. Het blijkt dat zomerbedverlaging kan leiden tot een daling van de waterstand van 20 à 30 cm.

Maar als aanzanding optreedt, is zomerbedverlaging dan wel duurzaam?

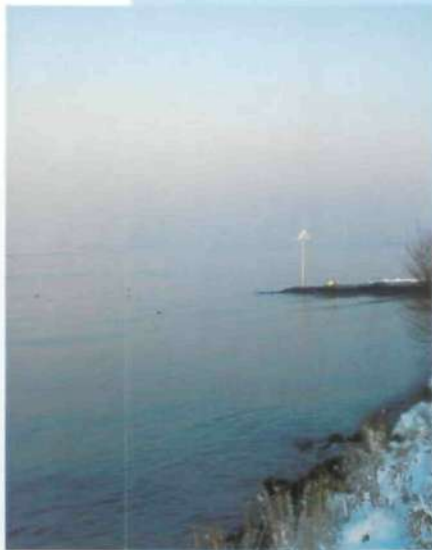
Uit berekeningen blijkt dat de 'kuil' die bij zomerbedverdieping wordt gecreëerd leidt tot snelle uitschuring bovenstrooms van de kuil. Ook blijkt dat na 50 jaar de 'kuil' op alle drie de Rijntakken zo goed als volledig is dichtgesmeerd door sedimentatie. Het beoogde effect op de waterstand is op de Waal – de morfologisch meest 'actieve' riviertak – al na 20 jaar nagenoeg verdwenen. Om het effect op de waterstand in stand te houden zal dus regelmatig gebaggerd moeten worden.



Kribverlaging



Waterstandsverandering, gemiddeld per RvR-traject, bij verlaging van de kribben. De Rijnafvoer is 16.000 m³/s bij Lobith.



Krib in benedenstrooms traject van de Waal



Krib in bovenstrooms traject van de Waal

Dus samengevat: aan zomerbedverlaging kleven bezwaren, en het kan alleen in benedenstroomse riviertrajecten. Als het dan niet uit de diepte kan, kan het dan uit de breedte? Ofwel: kunnen de kribben niet worden verwijderd of korter gemaakt?

Kribben zijn in het verleden aangelegd om er voor te zorgen dat de rivier zonder voortdurend baggeren voldoende diep blijft en er geen zandbanken ontstaan. De kribben geleiden de stroom naar het midden van de rivier en zorgen er voor dat de rivier over een vooraf vastgestelde breedte op diepte blijft. Dat is vooral voor de scheepvaart heel belangrijk.

Het verwijderen van de kribben zou betekenen dat de stroomsnelheden afnemen en de rivier plaatselijk veel ondieper wordt. Er kunnen zelfs zandbanken in het midden van de rivier ontstaan. Dat betekent dat het korter maken of verwijderen van kribben alleen mogelijk is als de scheepvaartfunctie van de rivier wordt opgegeven. In uitzonderingsgevallen, bijvoorbeeld langs de Neder-Rijn, is de functie van de kribben niet meer zo duidelijk, omdat de rivier is gestuwd en er weinig morfologische ontwikkelingen plaatsvinden. Daar zou het misschien kunnen, maar haalt het weinig uit omdat de kribben daar erg kort zijn.

Als het zomerbed nou niet smaller mag worden, zouden kribben dan wel kunnen worden verlaagd?

Ja, die maatregel is wel onder de loep genomen. In de bovenstroomse riviertrajecten is de rivierbodem door uitschuring lager komen de liggen. Daardoor liggen de kribben nu een groot deel van het jaar hoger boven water dan in de tijd dat ze zijn neergelegd. Bovenstrooms kunnen de kribben plaatselijk wel ruim 2 meter worden verlaagd, maar in de benedenstroomse trajecten is verlaging niet mogelijk.

Er is berekend welke waterstandsvaling optreedt door de verlaging van alles bij elkaar ruim 1800 kribben; in de bovenstroomse trajecten met ruim 2 m, in de middentrajecten met minder dan een meter en benedenstrooms geheel niet.

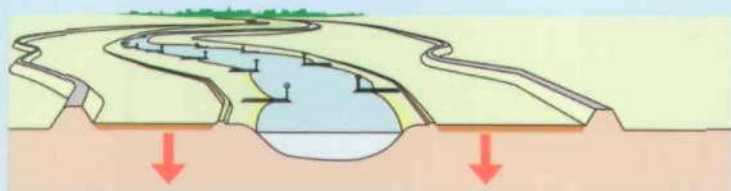
Het blijkt dat kribverlaging kan bijdragen aan een verlaging van de waterstand variërend van zo'n 5 tot 15 cm op de Waal en de IJssel. Op de Neder-Rijn is het maximaal 10 cm. Dat lijkt weinig, maar daar staat tegenover dat de kosten van kribverlaging relatief gering zijn. Daardoor is deze maatregel toch erg efficiënt.

Hiermee lijken de maatregelen in en langs het zomerbed voldoende besproken. Dan nu naar de uiterwaarden ...?

In uiterwaarden kan men denken aan verlaging en aan het verwijderen van hydraulische knelpunten.

Door sedimentieprocessen komen de uiterwaarden steeds hoger te liggen. *Uiterwaardverlaging* is een maatregel waarmee deze ophoging van uiterwaarden weer teniet kan worden gedaan. Uiterwaardverlaging kan worden gecombineerd met kleiwinning, zoals is toegepast bij de laatste dijkversterkingen en bij natuurontwikkeling. Bij dat laatste speelt onder andere een rol dat uiterwaardverlaging landbouwkundig gebruik van de grond minder rendabel maakt, met name als ook de zomerkadens worden verwijderd. Praktijkvoorbeelden – o.a. Millingerwaard, Blauwe Kamer – laten zien dat natuurontwikkeling samen met ontgroning een door velen gewaardeerd resultaat oplevert.

Het verwijderen van 'hydraulische knelpunten' houdt in dat allerlei soorten stroombelemmerende obstakels worden verwijderd of aangepast om de doorstroming te bevorderen. Het gaat daarbij om veerstoepen, bruggenhoofden, hoogwatervrije terreinen, (hoge en/of dwarse) zomerkadens, vernauwingen in het winterbed, etc.



Uiterwaardverlaging



Waterstandsverandering bij verlaging van de uiterwaarden en handhaving van het vooral landbouwkundig landgebruik. De Rijnaflow is 16.000 m³/s bij Lobith.



100	- 50
50	- 20
20	- 10
10	- 5
5	- 5
- 5	- 10
- 10	- 20
- 20	- 50
- 50	- 100
>	- 100

Gemiddelde waterstandsverandering per traject (cm).



Idem bij verlaging van de uiterwaarden waarbij natte natuur en extra open water ontstaan.



Vertel dan eerst maar eens wat over die uiterwaardverlaging

Om een beeld te krijgen van de effectiviteit van uiterwaardverlaging is verkend wat integrale verlaging van het stroomvoerend deel van de uiterwaarden oplevert. Daarbij zijn wel de beschermde natuurgebieden uitgesloten evenals stroken langs de dijk en het zomerbed die moeten voorkomen dat dijken instabiel worden of het zomerbed zich verplaatst.

Integrale verlaging kan plaatsvinden met behoud van functie, bijvoorbeeld landbouw, of met grootschalige natuurontwikkeling. In het laatste geval kan verder worden verlaagd en kunnen ook grote waterpartijen worden gecreëerd. Zulke vergaande verlaging betekent wel dat doelen van natuurontwikkeling niet helemaal worden gehaald, want het wordt allemaal erg nat en waterig. Natuurontwikkeling zonder uiterwaardverlaging leidt echter tot opstuwung van de waterstanden, omdat ruigten, struweel en bos de afvoer vertragen. Natuurontwikkeling maakt dus niet alleen verlaging van de uiterwaarden mogelijk, maar vraagt ook een verdere verlaging om te compenseren voor de opstuwung door natuur.

Bovenstrooms liggen de uiterwaarden hoog ten opzichte van het laagwaterpeil in de rivier; dat betekent dat een forse verlaging mogelijk is. Benedenstrooms liggen ze laag, daar kan minder worden afgegraven, omdat anders de landbouw en de natuurdoelstellingen in het gedrang komen of de uiterwaard geheel onder water verdwijnt.

Door uiterwaardverlaging met functiebehoud kan de hoogwaterstand langs de Waal dalen met zo'n 50 cm, langs de Neder-Rijn/Lek en IJssel met zo'n 30 tot 40 cm. Landbouwgebied wordt dan zoveel verlaagd dat nog 60% van de theoretische opbrengst kan worden gehaald. Alle zomerkaden blijven dan liggen.

Met echt heel grootschalige natuurontwikkeling en veel extra waterpartijen kan de hoogwaterstand verlaagd worden met gemiddeld zo'n 80 cm op de Waal en zo'n 60 cm op de Neder-Rijn/Lek en IJssel. Het hele gebied wordt dan zover verlaagd dat een soort 'standaard natte natuur' ontstaat, dat is veel nat grasland en moeras met slechts een beetje zachthoutoobos. Daarbij verdwijnen de zomerkaden.

Langs alle riviertakken is de waterstandsverlaging het grootst in de bovenstroomse trajecten en het kleinst in de benedenstroomse. Ver benedenstrooms is er met uiterwaardverlaging nauwelijks meer waterstandsverlaging te bereiken. Daar kan haast niet verlaagd worden omdat de uiterwaarden al erg laag zijn en bovendien is er sterke opstuwung vanuit zee en IJsselmeer. Langs de Lek zijn de uiterwaarden bovendien erg smal.

... wat kost dat nou, al dat grondverzet?

Uiterwaardverlaging is verhoudingsgewijs veruit de kostbaarste maatregel. Als uiterwaardverlaging als belangrijkste maatregel langs alle drie Rijntakken zou worden ingezet gaat het om 3 à 4 miljard euro. Grondverzet is op zich al duur, maar vooral de noodzakelijke opslag en berging van verontreinigde grond doen de kosten oplopen. Naar schatting ongeveer 15-20% van de grond is namelijk verontreinigd en nog eens 40-50% is niet bruikbaar als bouwstof.

Juist omdat het veilig opbergen van verontreinigde grond zeer kostbaar is, is gekeken of hier kostenbesparing mogelijk is. Dat kan bijvoorbeeld door de verontreinigde grond niet af te voeren, maar deze lokaal op te slaan in bestaande diepe plassen of in zandwinputten, waar eerst het bruikbare materiaal uit wordt gehaald. Met dit zogenaamde *omputten* kunnen forse kostenbesparingen worden bereikt, van 1 tot 1,5 miljard euro.



Voor uitvoering (1998)

Ontgronding en natuurontwikkeling in de Baarsemwaard langs de Neder-Rijn



In uitvoering (1999)

Is herinrichting van de uiterwaarden al niet onderdeel van bestaand natuurbeleid?

Inderdaad is herinrichting één van de uitvloeisels van de aanwijzing van grote delen van het uiterwaardengebied als deel van de Ecologische Hoofdstructuur (EHS) van Nederland. Natuurontwikkeling wordt daarbij soms gecombineerd met afgraving, ter compensatie van de opstuwung van het rivierwater die door de dichte begroeiing kan optreden.

Bij de oorspronkelijke lokalisering van natuurontwikkelingsgebieden voor de EHS is uiteraard niet getracht een maximale waterstandsverlaging te realiseren. De gebieden liggen dan ook even zo vaak in stroomluwe als stroomvoerende delen van de uiterwaarden. Het effect van verlaging van de stroomluwe delen van uiterwaarden op de waterstanden is heel klein. Ook is bij de projecten voor de EHS niet gestreefd naar het verlagen van de waterstanden. Dat leidt in veel gevallen tot een groot aandeel bos- of ruigte-ontwikkeling op plaatsen waar dit ongewenste opstuwung veroorzaakt.

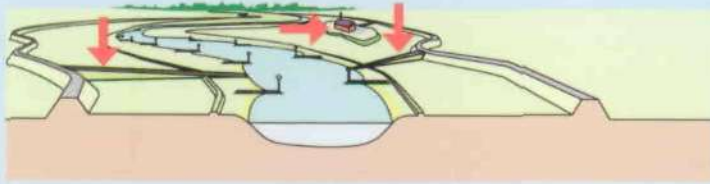
In het onderzoek is het waterstandverhogend effect van de al beoogde natuurontwikkelingen berekend. Daaruit bleek dat de realisering van de EHS zonder vergraving tot enige waterstandsverhoging leidt, met op z'n hoogst zo'n 10 cm. Door echter gelijktijdig de uiterwaard 'maximaal' af te graven zonder de natuurdoelen in gevaar te brengen, kan een waterstandsverlaging worden bereikt van maximaal zo'n 15 cm. Dat is dus veel minder dan met integrale uiterwaardverlaging kan worden bereikt.

Betekent dat nu dat de Ecologische Hoofdstructuur (EHS) niet kan worden gerealiseerd of wordt gefrustreerd?

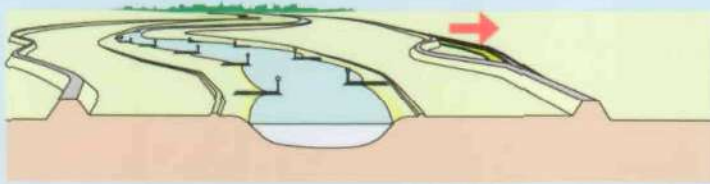
Tja, het is belangrijk dat men zich realiseert wat feitelijk met de EHS wordt beoogd. Het gaat om het realiseren van grote oppervlakken natuurgebied met de functies 'kernegebied' en 'verbindingsgebied'. De achterliggende idee is dat het duurzaam voortbestaan van sommige diersoorten, maar ook plantensoorten, slechts mogelijk is als er voldoende grote (meta-) populaties bestaan. Dat zijn aaneengesloten of goed met elkaar verbonden populaties van voldoende omvang.

De EHS kan als geslaagd worden beschouwd, als er voldoende hectares natuurgebied zijn gerealiseerd en het 'ecologisch netwerk' functioneert. De precieze locatie van natuurontwikkelingsgebieden is minder belangrijk.

Eén van de doelen van natuurontwikkeling is het laten ontstaan van hard- en zachthoutoobos. Een streefbeeld dat enkele jaren geleden voor het rivierengebied is geformuleerd gaat dan ook uit van flink wat bos. Bos kan de waterafvoer belemmeren, maar de mate waarin hangt sterk af van de plek waar dat bos staat. Daarom is nagegaan of het mogelijk is in de stroomluwe delen een fors areaal natuurlijk oobos tot ontwikkeling te laten komen. Het lijkt mogelijk daar tenminste 2500 ha bos te laten ontstaan, waarbij ruimschoots aan het streefbeeld wordt voldaan.



Verwijderen van obstakels in het rivierbed



Lokale dijkverlegging



Waterstandsverandering bij verwijdering van obstakels in het rivierbed. De Rijnafvoer is 16.000 m³/s bij Lobith



Lexkesveer langs de Neder-Rijn bij Wageningen: een belangrijk hydraulisch knelpunt



Veerstoep Lexkesveer

En nu die zogenaamde 'hydraulische knelpunten'?

Hydraulische knelpunten zijn te identificeren door de verhanglijn van de waterstanden op de rivier te bestuderen en voor iedere knik in die verhanglijn op topografische kaarten vast te stellen waardoor die wordt veroorzaakt. Meestal gaat het dan om hoogwatervrije terreinen, bruggenhoofden, veerstoepen, zomerkaden, etc.

Van ieder knelpunt is bepaald of het verwijderd kan worden en welke waterstandsverlaging gerealiseerd kan worden. Ook de kosten van verwijdering zijn begroot. De kosten van het waterdoorlatend maken van een landhoofd van een brug en het verwijderen van veerstoepen variëren van nog geen 2,5 miljoen euro tot ruim 75 miljoen euro bij een grote verkeersbrug. De kosten voor het weggraven van kaden en kleinschalige dijkverleggingen liggen meestal in de orde van 5 miljoen euro per geval, maar kunnen oplopen tot meer dan 15 miljoen euro als er veel huizen moeten worden onteigend. De kosten voor het verwijderen van hoogwatervrije terreinen kunnen oplopen tot zo'n 30 miljoen euro, waarbij onzekerheden rond verontreinigde grond een rol spelen.

Het waterstandsverlagend effect van de maatregelen varieert eveneens sterk. Na een beoordeling van alle maatregelen bij hydraulische knelpunten zijn verder alleen nog maar die maatregelen in beschouwing genomen die een waterstandsverlagend effect van tenminste 1 cm hebben ('anders loont het de moeite niet') en waarmee tenminste 2 mm waterstandsverlaging wordt bereikt per miljoen euro ('anders is het verhoudingsgewijs een te dure maatregel').

En wat levert het verwijderen van de overgebleven knelpunten op?

Gemiddeld kan met het verwijderen van zo'n 60 knelpunten de hoogwaterstand op de Waal met zo'n 20 cm worden verlaagd, op de Neder-Rijn/Lek en IJssel met zo'n 10 cm. Maar er zijn grote verschillen over de lengte van de riviertakken. Zo kan door het verwijderen van alleen de veerstoep bij Lexkesveer langs de Neder-Rijn de waterstand in één klap al ruim 20 cm worden verlaagd.

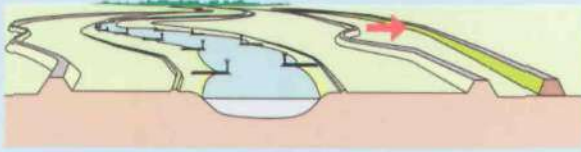
In het benedenrivierengebied zijn er naar verhouding weinig hydraulische knelpunten, zodat met het verwijderen daarvan voor het gehele gebied maar weinig kan worden bereikt.

Zullen we dan maar overschakelen op binnendijkse maatregelen?

Akkoord, maar dan hebben we het *hier* alleen over binnendijkse maatregelen ter vergroting van het doorstroomprofiel en niet over retentie of noodopvang. Binnendijkse maatregelen kunnen nuttig zijn waar vernauwingen in het winterbed aanwezig zijn: waar de breedte van de rivier als het ware tekort schiet. Dergelijke vernauwingen liggen vaak bij zogenaamde schaaldijken, of bij een stad aan de rivier.

Het is duidelijk dat ter hoogte van deze vernauwingen alleen binnendijkse maatregelen soelaas kunnen bieden; uiterwaarden ontbreken daar immers vrijwel altijd. Daarom zijn maatregelen bedacht in de categorieën:

- grootschalige dijkverleggingen;
- groene rivieren; en
- gebruik van bestaande binnendijkse waterlopen.



Grootschalige dijkverlegging



Waterstandsverlaging bij grootschalige dijkverlegging. De Rijnafvoer is 16.000 m³/s bij Lobith.



Kampen

Voorbeelden van stedelijke knelpunten langs de IJssel



Zutphen

Als eerste dan: wat zijn de mogelijkheden van grootschalige dijkverleggingen?

Er zijn zo'n 40 locaties langs de Rijntakken waar grootschalige dijkverlegging tot forse daling van de hoogwaterstanden kan leiden, als we nog even afzien van de stedelijke knelpunten.

Dijkverlegging is vooral effectief bij echte vernauwingen in het winterbed die opstuwing veroorzaken tot ver bovenstrooms. De waterstandsverlaging werkt in zo'n geval ook relatief ver bovenstrooms door. Met sommige dijkverleggingen kan wel een waterstandsverlaging van enkele tientallen cm's worden bereikt. Er zijn ook dijkverleggingen die slechts enkele cm's verlaging veroorzaken. Gemiddeld is per dijkverlegging een verlaging van zo'n 10 tot 20 cm te realiseren.

Dijkverleggingen zijn tamelijk ingrijpend en duur, vooral als er veel bebouwing op of net achter de dijk aanwezig is. Ondanks de kosten die variëren van 5 tot 60 miljoen euro voor een enkele dijkverlegging, leveren alle dijkverleggingen minimaal 2 mm waterstandsverlaging per miljoen euro op.

Langs de Waal en langs de Neder-Rijn/Lek kan met alle dijkverleggingen samen een verlaging van maximaal 60 cm worden bereikt. Langs de IJssel is dat slechts 10 cm, grotendeels omdat er langs die rivier maar enkele relatief kleine dijkverleggingen in het onderzoek in beschouwing zijn genomen.

Dus die stedelijke knelpunten zijn daar niet bij inbegrepen ...?

Nee, de stedelijke knelpunten langs de Rijntakken zijn afzonderlijk onderzocht. Dat was nodig omdat dijkverlegging vaak problematisch is als aan weerszijden van de rivier dichte bebouwing aanwezig of gepland is. Dat is bijvoorbeeld het geval bij:

- Nijmegen
- Zaltbommel
- Gorinchem
- Arnhem
- Zutphen
- Deventer
- Kampen

Als dijkverlegging niet goed mogelijk is, of onvoldoende oplevert, kan worden gekozen voor een zogenaamde groene rivier. Een groene rivier is in feite een uiterwaard tussen twee dijken die alleen bij hoogwater meestroomt. Groene rivieren kunnen voor landbouwkundige doeleinden worden gebruikt of worden ingericht als natuur- en/of recreatiegebied: ze zijn, kortom, 'groen'. Er kan ook bijvoorbeeld voor de recreatie een geul of plas in worden gegraven. Het hangt van de plek af hoe een dergelijke groene rivier het best kan worden vormgegeven.

Wat leveren groene rivieren bij de stedelijke knelpunten op?

Die leiden op de betreffende plek tot een sterke daling van de waterstand. Die daling werkt bovendien bovenstrooms ver door, in het geval van een groene rivier bij Nijmegen tot in Duitsland, van een groene rivier bij Zutphen tot bovenstrooms van de IJsselkop. Dat betekent dat andere maatregelen langs deze rivierdelen misschien overbodig worden, maar ook dat de afvoerverdeling over de drie Rijntakken kan veranderen.

De waterstandsverlaging die met een afzonderlijke verruimingsmaatregel bij een stedelijk knelpunt bereikt kan worden ligt tussen de 15 en 35 cm, met uitschieters van 50 cm voor een groene rivier bij Nijmegen en 60 cm voor een groene rivier bij Zutphen.



Waterstandsverandering door rivierverruiming bij stedelijke knelpunten langs de Rijntakken. De Rijnavvoer is 16.000 m³/s bij Lobith.



Nijmegen



Dijkverlegging (1) of groene rivier (2) Nijmegen

De maatregelen zijn wel ingrijpend voor de ruimtelijke inrichting: een fors gebied wordt aan de rivier te leen gegeven tijdens hoogwater. Dat zal consequenties hebben voor de gebruikers en bewoners. Ondanks de hoge kosten zijn maatregelen bij de stedelijke knelpunten erg efficiënt door de forse waterstandsverlaging die ermee bereikt kan worden.

Die maatregelen bij de stedelijke knelpunten lijken inderdaad nogal ingrijpend, bieden ze ook nog kansen?

Combinaties met landbouw, (water)recreatie en natuurontwikkeling zijn alle goed mogelijk in een groene rivier. Het land wordt immers maar zelden overstroomd en dan nog meestal buiten 'het seizoen', net zoals nu de uiterwaarden. Men zou kunnen stellen: land wordt jaarlijks een tijdje uitgeleend aan de rivier, maar is verder beschikbaar voor menselijke activiteiten. Er is dus wel degelijk een zekere gebruikswaarde.

Daarnaast bieden deze maatregelen voor het rivierbeheer wat men zou kunnen noemen toekomstwaarde. Er wordt voorkomen dat de misschien ooit benodigde ruimte door andere gebruiksfuncties wordt geclaimd en vastgelegd. Woonbebouwing, bedrijventerreinen, kassencomplexen en dergelijke, die nu vaak binnendijks, maar wel net achter de dijk verrijzen, zijn niet meer mogelijk omdat het gebied onder de Wet Beheer Rijkswaterstaatswerken (voorheen de Rivierenwet) komt. Dat beperkt de gebruiksmogelijkheden, maar biedt wel de mogelijkheid in de toekomst alsnog andere rivierverruimende maatregelen te nemen, zoals uiterwaardverlaging.

Ten derde kunnen dergelijke ingrijpende maatregelen worden aangegrepen om de kwaliteit van de omgeving in bredere zin te verbeteren. Dat geldt bijvoorbeeld voor locaties waar de weg- en/of railinfrastructuur niet meer voldoet (Nijmegen, Zutphen), waar plannen voor droge infrastructuur worden ontwikkeld (Kampen) en waar stedelijke vernieuwing en sanering van bedrijventerreinen kunnen worden overwogen (Arnhem). Een kwaliteitsimpuls in de ontwikkeling van de directe woonomgeving is bijvoorbeeld bij Nijmegen denkbaar, terwijl op andere plaatsen (Deventer, Zutphen) de 'groene stadsrand' voor recreatieve doeleinden kan worden opgewaarderd.

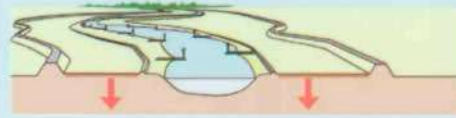
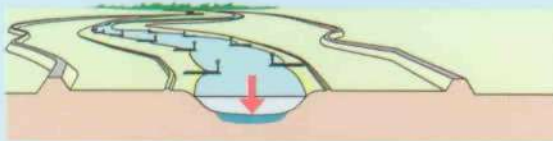
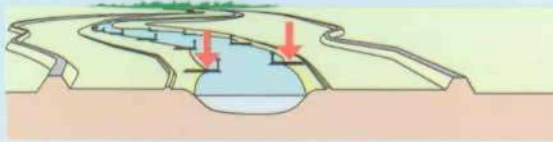
En dan was er nog het gebruik van bestaande waterlopen?

Ja, waar bestaande kanalen, riviertjes of kreekresten evenwijdig aan de rivier lopen, kunnen deze worden aangetakt om een deel van de afvoer voor hun rekening te nemen. Vooral in het benedenrivierengebied is gekeken naar mogelijkheden daartoe, bijvoorbeeld via het Kanaal van Steenenhoek, via het Steurgat door de Biesbosch of door het Eiland van Dordrecht; maar ook de Linge en het Merwedekanaal zijn als mogelijke afvoerroutes in beschouwing genomen. En ook nieuwe, nog te graven geulen zijn onderzocht op effectiviteit en kosten, bijvoorbeeld door het Land van Altena, en zelfs door de Krimpenerwaard.

Het blijkt dat sommige geulen erg duur zijn en moeilijk inpasbaar. Afvoer door het Steurgat en via extra geulen door de Dordtse en Brabantse Biesbosch en door het Land van Altena levert echter wel enkele decimeters waterstandsverlaging op. In vrijwel alle gevallen wordt echter ook water in een geheel andere richting geleid en wordt een andere rivier of een meer benedenstrooms gelegen riviertraject zwaarder belast. Dat vraagt de nodige voorzichtigheid



Overzicht van maatregelen, globaal geordend naar afnemende efficiëntie



Mogelijke geulen in het benedenrivierengebied

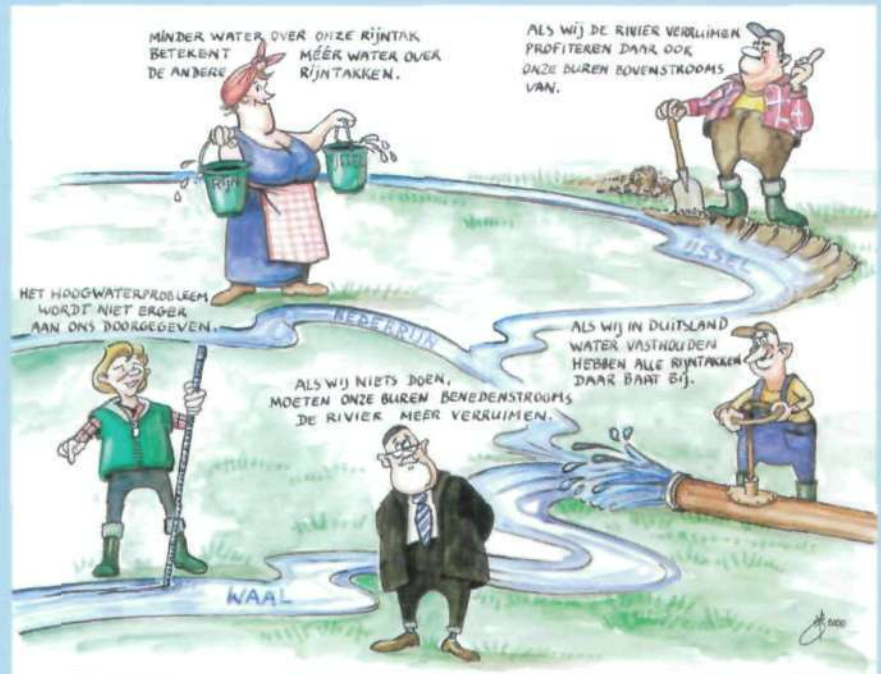


Als we nu alle maatregelen ter vergroting van de afvoer eens naast elkaar zetten: wat is dan het overall-beeld?

Het blijkt dat grootschalige verlegging van dijken, de aanleg van groene rivieren en kribverlaging de meeste waterstandsverlaging per geïnvesteerd miljoen euro opleveren. Het verwijderen van hydraulische knelpunten scoort gemiddeld, net als zomerbedverlaging. Het afgraven van uiterwaarden pakt verhoudingsgewijs het duurst en daardoor het minst gunstig uit.

Daarbij moet men echter bedenken dat sommige maatregelen alleen in bovenstroomse delen van de Rijntakken goed mogelijk zijn, zoals kribverlaging en uiterwaardverlaging, en andere vooral benedenstrooms, zoals zomerbedverlaging. Grootschalige dijkverlegging en groene rivieren ontlasten alleen bepaalde knelpunten, zij het met substantiële doorwerking bovenstrooms. Het verwijderen van obstakels kan bijna langs de gehele lengte van de rivier.

Tenslotte geldt dat kosten-effectiviteit natuurlijk maar één kant van de zaak is. Bij uiterwaardverlaging is soms sprake van meervoudige doelstellingen: ook natuurontwikkeling en eventueel delfstoffenwinning kunnen er van profiteren. In hoeverre met dijkverlegging of groene rivieren soortgelijke meervoudige doelen kunnen worden gediend is nog nauwelijks verkend. Van groene rivieren bij stedelijke knelpunten zou men zich kunnen voorstellen dat ze kansen bieden om een 'onvolkomen EHS' te verbinden.



Samenhang bij rivierverruiming: met stroomgebied, met benedenrivieren, met IJsselmeer, met binnendijks gebied, tussen Rijntakken onderling, tussen trajecten van Rijntakken onderling



Lintbebouwing langs de Lek

Combineren van maatregelen

Het ziet er naar uit dat we er met één type maatregel niet komen. Kunnen de effecten van de maatregelen nu simpelweg bij elkaar worden opgeteld, of beïnvloeden de maatregelen elkaar onderling?

Nee, simpelweg optellen van de waterstandsverlagende effecten van maatregelen kan niet. Bij een rivier wordt de afvoer immers bepaald door het functioneren van het geheel; één *flessenhals* kan de werking van een pakket maatregelen dat daar benedenstrooms van ligt bijna teniet doen. Een beetje vergelijkbaar met het bekende beeld van de zwakste schakel. Omgekeerd kunnen maatregelen elkaar versterken. Er moeten dus maatregelenpakketten worden samengesteld om de waterstanden over de gehele lengte van de Rijntakken te verlagen. Bij dat alles moet ook nog rekening worden gehouden met mogelijke veranderingen van de vorm van de afvoergolf om te voorkomen dat problemen worden afgewenteld op benedenstrooms gelegen rivierdelen.

Is er dan al gekeken of het mogelijk is die 16.000 m³/s veilig af te voeren door maatregelen te combineren?

Jazeker, maar met alle maatregelen die hiervoor zijn besproken als ingrediënten kunnen onnoemelijk veel alternatieven voor herinrichting van de Rijntakken worden samengesteld. Het is dus deels een kwestie van voorkeuren welke maatregelen het eerst of het meest worden toegepast.

In het onderzoek Ruimte voor Rijntakken zijn daarom 5 alternatieven onder de loep genomen met een verschillend karakter. Van enkele alternatieven zijn nog varianten onderzocht met een gewijzigde afvoerverdeling op de splitsingspunten en bij een afvoer van 18.000 m³/s. Doel van die studie was het verkrijgen van inzicht in de mogelijkheden, de kosten en de gevolgen van verschillende keuzen voor wonen, economische sectoren en natuur en landschap.

Bij de Integrale Verkenning Benedenrivierengebied zijn drie alternatieven samengesteld voor respectievelijk (1) de korte termijn met de huidige afvoerverdeling over de drie Rijntakken, (2) de korte termijn met gewijzigde afvoerverdeling en (3) de lange termijn, natuurlijk in combinatie met zeespiegelstijging.

Ja, maar kan 't ...?

Uit beide onderzoeken blijkt het mogelijk 16.000 m³/s veilig af te voeren met verschillende combinaties van maatregelen. In alle gevallen moet fors worden ingegrepen in het gehele rivierengebied, behalve als volledig zou worden ingezet op retentie bovenstrooms. Dan zijn de daarvoor te bestemmen gebieden echter niet meer beschikbaar voor nog hogere afvoeren of als noodoverloopgebieden, hetgeen de kwetsbaarheid van het rivierengebied als geheel vergroot.

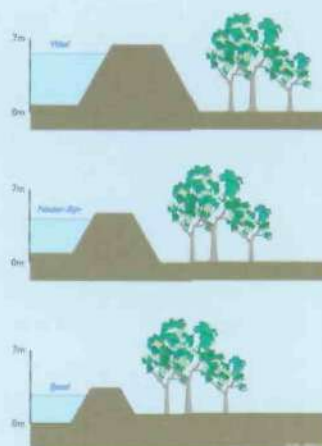
Uit de Integrale Verkenning Benedenrivierengebied komt ook naar voren dat de extra afvoer op de Neder-Rijn/Lek moeilijk te verwerken is. Dat komt omdat de Lek benedenstrooms van Schoonhoven slechts smalle uiterwaarden kent, terwijl op of vlak achter de dijk lintbebouwing voorkomt. Alleen door geregeld herhaalde zomerbedverdieping of met zeer ingrijpende en zeer kostbare binnendijkse maatregelen kan bij ongewijzigde afvoerverdeling een maatgevende afvoer van 16.000 m³/s ook over de Lek zonder dijkverhoging worden afgevoerd. Nader onderzoek naar de gevolgen is hier nodig.

Dus het is wel mogelijk een afvoer van 16.000 m³/s veilig af te voeren zonder de dijken verder te verhogen. Maar wat als het meer wordt dan die 16.000, wat is er dan nodig?

Er is ook onderzocht of de alternatieven konden worden uitgebouwd op een zodanige wijze dat ze een afvoer van 18.000 m³/s veilig kunnen verwerken. Dan blijkt dat op grote schaal binnendijkse maatregelen nodig zijn, zoals dijkverleggingen, groene rivieren en/of retentie.

Dijkhoogte

De hoogte van de dijk ten opzichte van het binnen- en buitendijkse gebied kan per Rijntak sterk verschillen. De figuren zijn een schematische weergave van het gemiddelde dijkprofiel langs de Waal, Neder-Rijn en IJssel. De ingetekende waterstand geldt bij een maatgevende afvoer van 15.000 m³/s bij Lobith. De waterdiepte is een gemiddelde over de uiterwaarden.



Afvoerverdeling over de Rijntakken in 1898

'Wanneer men middelen beraamt om van Neder-Rijn en Lek de gevaren van hoog opperwater en ijsgang af te wenden, bedoelt men niet zoo zeer het heil van allen die achter de dijken dezer rivieren zijn gezeten, maar slaat meer in 't bijzonder het oog op de belangen dier rijke steden en welige landouwen, welke de kern van Holland uitmaken en beschermd worden door die gedeelten dijks welke Noorderlekdijsk Boven- en Benedendams genoemd zijn. Omtrent de overige aangelanden bekommert men zich weinig; de bewoners van 't eiland der Batavieren mogen zich zelfs gelukkig achten indien hunne belangen niet door de ontworpen maatregelen worden aangetast. De veranderingen van de waterverdeling tusschen de drie Rijntakken heeft ten doel verre vrienden de last van 't opperwater op den hals te schuiven; met zijdelingsche afleidingen worden meer nadere kennissen geplaagd; het eenige middel dat na weigering van bovengenoemden om zich op te offeren overblijft is: het heroische 'overdijken' waardoor men in voortdurende strijd met de overburen geraakt. Al deze middelen vormden en vormen nog de elementen van een waterkrijg, een krijg langduriger dan de tachtjarige oorlog; een onzedelijke strijd, die tusschen landzaat en landzaat gevoerd wordt.'

Ingenieur R.P.J. Tuteln Nolthenius in *Watervrede* (1880)



Laagwater



Hoogwater

Bij ongewijzigde afvoerverdeling zal langs de Neder-Rijn / Lek aan verdere dijkverhoging nauwelijks te ontkomen zijn. Dat heeft zoals gezegd te maken met de smalle uiterwaarden van dit riviertraject en de lintbebouwing. Bovendien bevinden zich binnendijs de veenweidegebieden van de Alblasserwaard en Krimpenerwaard, waar het funderen van nieuwe dijken door de dikke veenpakketten heel moeilijk is. Extra afvoer over de Waal veroorzaakt minder problemen, omdat er vooral rond de Biesbosch meer mogelijkheden lijken te bestaan de extra afvoer op te vangen.

Om die redenen is in de Integrale Verkenning Benedenrivierengebied ook bekeken of water van de Neder-Rijn/Lek naar het zuiden kan worden geleid, hetzij langs de Diefdijk en de Linge, hetzij via het Merwedekanaal. Dat kan, maar dat zijn zeer ingrijpende en dure maatregelen.

Ligt het dan niet veel meer voor de hand de extra afvoer maar meteen vanaf de Pannerdensch Kop door de Waal te sturen? Of door Waal en IJssel samen?

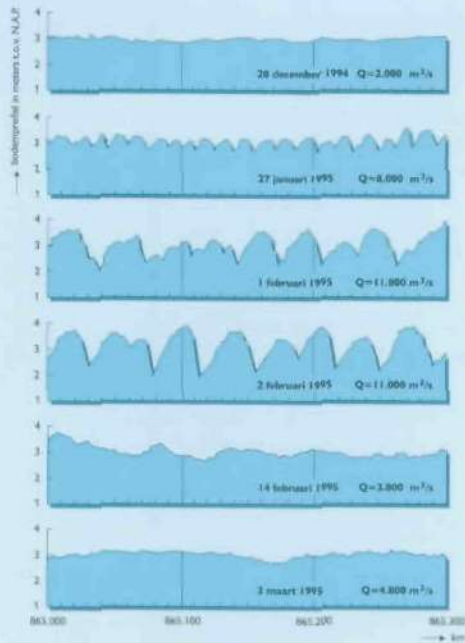
Jazeker, daarom is in de Integrale Verkenning Benedenrivierengebied een wijziging van de afvoerverdeling voorgesteld en zijn in Ruimte voor Rijntakken de mogelijkheden en consequenties van verschillende alternatieve afvoerverdelingen onderzocht. Voor afvoeren boven 16.000 m³/s ligt een wijziging van de afvoerverdeling bij hoogwater wel enigszins voor de hand.

Het blijkt mogelijk om boven 16.000 m³/s te Lobith tenminste nog eens zo'n 1000 m³/s extra over alleen de Waal of over Waal en IJssel samen af te voeren, waarbij de Neder-Rijn/Lek niet verder wordt belast. En ook nog hogere afvoeren kunnen na forse verruiming via die twee Rijntakken worden afgevoerd, maar dan wordt het met name in de benedenstroomse trajecten wel steeds moeilijker om dijkverhoging te voorkomen.

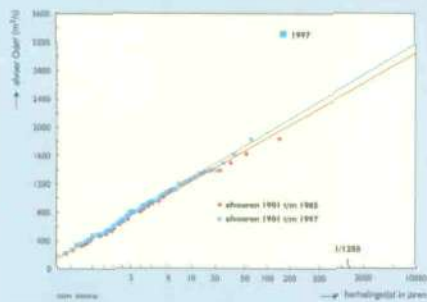
Belangrijke overwegingen voor een keuze voor een andere afvoerverdeling kunnen zijn dat:

- ingrijpen langs één of twee Rijntakken goedkoper kan zijn en minder gevolgen met zich mee zal brengen dan ingrijpen langs alle drie takken;
- 1000 m³/s extra op de Waal net 10% meer is dan de huidige maatgevende afvoer over die Rijntak en 'maar' 45 cm waterstandsverhoging veroorzaakt;
- 1000 m³/s extra op de IJssel ongeveer 40% meer afvoer betekent met een bijbehorende waterstandsverhoging van 100 cm;
- langs de IJssel de grootste beperking voor uiterwaardverlaging ligt in het veelvuldig voorkomen van waardevolle uiterwaarden;
- langs de Waal en Neder-Rijn sprake is van zeer grote potentiële schade door overstroming (de dijkkringen hier worden wel vergeleken met badkuipen); en
- inpassing van dijkverleggingen langs de IJssel gemakkelijker is, omdat het gebied pas recent bedijkt is, het binnendijs verhoudingsgewijs het minst intensief is ingericht en het niet zo laag ligt ten opzichte van de rivier.

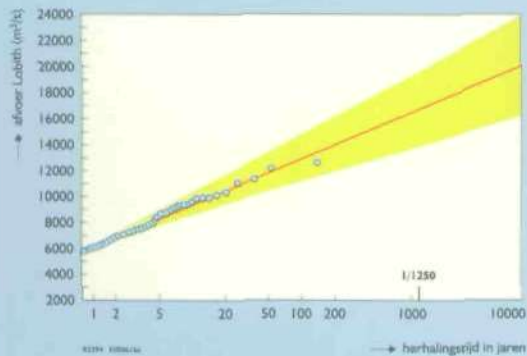
Tenslotte is de opslagcapaciteit in en rond de ontvangende wateren heel belangrijk. Extra afvoer over de Waal moet immers tijdelijk worden opgeslagen in het Noordelijk Deltabekken: de omgeving van Rotterdam en de Drechtsteden. Extra afvoer over de IJssel komt op het IJsselmeer terecht; dat kan leiden tot verhoging van de waterstanden op het IJsselmeer met vele bijkomende problemen. Nu is het IJsselmeer wel veel groter dan het Noordelijk Deltabekken, zodat opvang van hoge afvoer hier relatief langdurig plaats kan vinden, ook als spuien op de Waddenzee tijdelijk wordt bemoeilijkt. Maar de bergingscapaciteit in West-Nederland kan misschien weer makkelijker worden vergroot, namelijk door water naar de Zeeuwse wateren af te leiden. Juist aan deze samenhangen op nationaal niveau wordt in de lopende Spankrachtstudie veel aandacht besteed.



Bodemontwikkeling van de Waal; vóór, tijdens en na het hoogwater van januari 1995



Werklijn van de Oder in Polen en het hoogwater van 1997



Het 90 % betrouwbaarheidsinterval van de werklijn van de Rijn 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 in 2010 op 15.750 m³/s te liggen.



Hoogwater van 1997 op de Oder

Dus het is mogelijk de Rijntakken zo aan te passen dat een afvoer van 18.000 m³/s veilig kan worden afgevoerd. Maar zijn we er daarmee, of kan het nog veel meer worden? Of meer in het algemeen: hoe zit het eigenlijk met onzekerheden?

Er zijn inderdaad veel onzekerheden, en daar is soms maar weinig aan te verhelpen. Het begint al met onzekerheden over de huidige situatie. Zo wordt, zoals al eerder aangegeven, de dijkhoogte afgeleid van de maatgevende waterstand die weer is afgeleid van de maatgevende afvoer. De eerste onzekerheid betreft dus de maatgevende afvoer zelf. Vervolgens zijn er onzekerheden over de vorm van de afvoergolf, de waterverdeling over de drie Rijntakken bij de splitsingspunten, de bodemligging van de rivier en de stromingsweerstand van de vegetatie in het winterbed langs de drie takken. Al deze onzekerheden werken door in de maatgevende waterstanden.

Ten tweede hebben we te maken met veranderingen in de toekomst en de toekomst is per definitie onzeker. Van het klimaat weten we wel zeker dat het verandert, maar niet hoe snel. De nu gebruikte klimaatmodellen wijzen wel steeds in dezelfde richting, maar de verschillen tussen de voorspellingen zijn nog fors. Dit alles vormt duidelijk een dilemma voor de beheerder. Enerzijds is veiligheid zo belangrijk dat de rivierbeheerder moet anticiperen op hogere afvoeren die beredeneerd kunnen worden. Anderzijds is de snelheid van veranderen zeer onzeker. Blijven afwachten tot nieuwe hoogwaters de statistiek weer eens gaan beïnvloeden lijkt onacceptabel. Daar kan meer onderzoek niets aan veranderen.

Met al deze onzekerheden moeten we (leren) omgaan.

Nou, dat is nogal wat. Dan lijkt toch wel het belangrijkste hoe groot de onzekerheid is over de maatgevende afvoer?

De maatgevende afvoer voor de Rijn is gebaseerd op een extrapolatie van meetgegevens uit het verleden, op dit moment van de periode 1901-1995. Voorheen werd gebruik gemaakt van de periode 1901-1991. Door de verlenging zijn er twee jaren met hoge afvoeren bijgekomen, namelijk 1993 en 1995. Daardoor verandert de hellingshoek van de grafiek iets en is de nieuwe maatgevende afvoer 16.000 m³/s geworden. Daaruit blijkt dat enkele hoogwaters als gevolg van relatief natte jaren de maatgevende afvoer fors kunnen beïnvloeden.

De belangrijkste reden voor de grote verandering in de maatgevende afvoer is dat deze geldt voor gebeurtenissen eens in de 1250 jaar. Maar er wordt pas 100 jaar gemeten. Dat betekent dat de grafiek wordt geëxtrapolerd ver buiten de gemeten reeks. Dat kan raar uitpakken, zoals valt te illustreren aan de meetreeks van een deelstroomgebied van de rivier de Oder. Een reeks 1901-1985 levert daar een vrijwel rechte lijn op zonder 'uitbijters'. In 1997 werd echter een afvoer gemeten van 3300 m³/s, die de hoogste van de eeuw was. Deze ligt ver buiten de onzekerheidsband van de bestaande grafiek. Dat ene hoogwater leidt ertoe dat de 'nieuwe' extrapolatielijne de 1/1250 afvoer doet stijgen van 2500 naar 2600 m³/s. Dat is nog steeds ver onder de gemeten afvoer!

Met de laatste constatering wordt meteen duidelijk dat extreme afvoeren zoals bij de Oder misschien wel heel zeldzaam zijn, maar desalniettemin dit of volgend jaar kunnen optreden. Dat is een onzekerheid waar geen enkel onderzoek verandering in kan aanbrengen.

Wat wel kan – en ook gebeurt – is een onzekerheidsband aangeven rond de extrapolatielijne. Een dergelijke band rond de meest recente extrapolatielijne, waarop de maatgevende afvoer van 16.000 m³/s is gebaseerd, levert voor de Rijn op dat er 90% kans is dat de maatgevende afvoer (dat is dus 1/1250) ligt tussen 13.000 en 18.500 m³/s. Daar zitten niet alleen de nieuwe 16.000, maar ook de oude 15.000 en zelfs de mogelijk toekomstige 18.000 m³/s tussen.



Cartoon uitgereikt aan ir. J.H. Jansen, hoofdingenieur-directeur van Rijkswaterstaat directie Oost-Nederland en voorzitter van de Bestuurlijke Begeleidingsgroep Ruimte voor Rijntakken, bij zijn afscheid van het ministerie van Verkeer en Waterstaat op 27 april 2000 te Arnhem



Ijssdammen in de toekomst?

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. Koude winters komen nog steeds voor, terwijl het jaarlijks aantal dagen dat er ijs op de rivieren ligt deze eeuw sterk is verminderd. Niettemin moeten we, zeker bij natuurontwikkeling in de uiterwaarden, waakzaam blijven en ijsbestrijdingsmiddelen paraat houden.



En hoe zit het dan met die klimaatverandering?

Er zijn diverse klimaatscenario's. Uitgaande van een hoge schatting van 4 °C temperatuurstijging in 2100 zou de afvoer van de Rijn met 20% kunnen toenemen. Dat bovenop een maatgevende afvoer van 16.000 m³/s zou een maatgevende afvoer van ruim 19.000 m³/s opleveren, ervan uitgaande dat Duitsland erin slaagt dit tussen de dijken te houden. Als dat niet het geval is, hetzij omdat het niet lukt, hetzij omdat men op grond van internationale overeenkomsten afziet van afvoervergrotenende maatregelen, dan blijft 18.000 m³/s de relevante bovengrens aan de afvoer bij Lobith.

Op dit punt is dus sprake van twee soorten onzekerheden. Ten eerste, wat er klimatologisch nu precies zal veranderen, en ten tweede, hoe de andere Rijnsoeverstaten daar op zullen reageren.

Als de maatgevende afvoer en de berekende waterstanden nou zo onzeker zijn, hoe kan daar met een toekomstige inrichting dan eigenlijk op worden ingespeeld?

Dat is een groot probleem, maar tegelijk de uitdaging om op een bezonnen wijze om te gaan met onzekerheden. In dat verband zijn twee begrippen relevant: flexibiliteit en veerkracht.

Flexibiliteit is een begrip dat samenhangt met *aanpassing* aan geleidelijke trendmatige veranderingen. Flexibiliteit is gewenst om geleidelijke *veranderingen* in bijvoorbeeld de afvoeren aan te kunnen zonder dat men achteraf spijt krijgt van te snel en te ingrijpend handelen of juist van laksheid en een gebrek aan vooruitzien. Zo zou de flexibiliteit kunnen worden vergroot door de afvoerverdeling over de Rijntakken bij Pannerdensche Kop en IJsselkop regelbaar te maken. Dan hoeft niet aan twee of drie Rijntakken tegelijk te worden gewerkt - met kans op spijt - en kan makkelijker worden gefaseerd. Er kan dan zelfs tijdens een hoogwater worden bijgestuurd als dat gewenst zou blijken.

De term *veerkracht* heeft daarentegen vooral betrekking op herstel na het wegvallen van een belasting, zoals een hoogwater. Dat wordt gemakkelijker bereikt als de gevolgen van een bovenmaatgevend hoogwater niet onherstelbaar zijn, maar beperkt blijven en gemakkelijk hersteld kunnen worden. Dat vereist dat geen ongecontroleerde overstromingen optreden - met mogelijk zeer grote schade of zelfs maatschappelijke ontwrichting - maar alleen *gecontroleerde* overstromingen, namelijk daar waar deze de minste schade veroorzaken. Zo zou veerkracht kunnen worden 'ingebouwd' in ons hoogwaterbeveiligingsstelsel door *calamiteitenvoorzieningen*, bijvoorbeeld in de vorm van noodoverloopgebieden of door grote dijkringen in kleinere stukjes op te delen - te compartimenteren - ter beperking van overstromingsschade. Veerkracht is dus vooral gewenst om *onzekerheden* het hoofd te kunnen bieden.

Wat betekenen flexibiliteit en veerkracht voor een te ontwikkelen strategie?

Dat is een vraag waar het onderzoek alleen geen antwoord op kan geven. Het is immers een opgave voor de beleidsmakers, de rivierbeheerder in het bijzonder, maar eigenlijk voor het water- en ruimtelijke-ordeningsbeleid in het algemeen, om in samenspraak met alle betrokkenen en ondersteund door onderzoek een strategie te ontwikkelen waarmee toekomstige spijt wordt voorkomen, en waarmee tegelijkertijd rekening wordt gehouden met het gegeven dat er altijd grote onzekerheden zullen blijven bestaan rond de afvoeren die we op de rivieren kunnen verwachten.

Met de vervolgstappen uit het kabinetsstandpunt, te weten de planstudie 'Ruimte voor de rivier', de Spankrachtstudie en de commissie 'Noodoverloopgebieden', staat het ontwikkelen van deze strategie de komende jaren hoog op de politieke agenda.

Verantwoording van foto's en illustraties

Foto's	bladzijde
Archiv Rodenstein W. Beuerle und E. Schäfer (Fränkisch Crumbach)	2
Tom Buijse	56
Bureau voor Stroming, Natuur- en Landschapontwikkeling (Laag Keppel)	40
Annemiek Demon	40
Dienst Landelijk Gebied	40
Klaas Jan Douben	34
DPA (Frankfort)	2
Gewässerdirektion Südlicher Oberrhein/Hochrhein (Lahr)	32
Instytut Meteorologii i Geopodarki Wodnej	54
Henk de Jong luchtfotografie (Zeist)	52
Frans Klijn	26, 30, 36, 38, 40
Eppo W. Notenboom (Lekkerkerk)	omslag, 42
Polderdistrict Groot Maas en Waal	6, 8, 12
P. Rey (Constance)	2
Rijkswaterstaat / dienst Weg- en Waterbouwkunde	4
Rijkswaterstaat / Meetkundige dienst	2, 10, 12, 18, 28, 44, 46, 50
Rijkswaterstaat / RIZA	2, 10, 40
Renk Ruiter	38, 48
WL Delft Hydraulics	2, 18, 32

Illustraties

Dratex (Lelystad)	22, 24, 52, 54
Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (Düsseldorf)	28, 20
K. Nuijten (Leuth)	38, 50, 56
Rijkswaterstaat / directie Oost-Nederland	24
Rijkswaterstaat / RIZA	14, 16, 18
WL Delft Hydraulics	4, 6, 8, 10, 12, 14, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 42, 44, 46, 48, 54

Colofon

Samenstelling	Frans Klijn (WL), Jos Dijkman (WL) en Wim Silva (RIZA)
Gebaseerd op	Ruimte voor Rijntakken, Wat het onderzoek ons heeft geleerd (W. Silva, F. Klijn & J.P.M. Dijkman, 2000; RIZA en WL) Advies Integrale Verkenning Benedenrivierengebied (S.A. de Jong <i>et al.</i> , 2000; Rijkswaterstaat directie Zuid-Holland)
In opdracht van	Rijkswaterstaat directie Oost-Nederland Rijkswaterstaat directie Zuid-Holland IRMA-SPONGE Rijkswaterstaat-RIZA WL Delft Hydraulics
Lay-out	Ruud Ridderhof en Engelbert Vennix (WL)
Lithografie	Joost Kolkman (Leiden)
Drukwerk	JB&A Grafische Communicatie (Wateringen)
Informatie	Rijkswaterstaat directie Oost-Nederland, Postbus 9070, 6800 ED Arnhem telefoon 026-368-8601 (Marian van Voorst)
	Rijkswaterstaat directie Zuid-Holland, Postbus 556, 3000 AN Rotterdam telefoon 010-402-6376 (Leo Nieuwlaat)
RIZA-nota WL-rapport ISBN	2001.032 Q2975.22 9036953863