

A wide river flows from the background towards the foreground, filled with numerous ice floes of various sizes. The sun is low on the horizon to the right, casting a warm, golden glow across the sky and reflecting on the water's surface. Bare trees are visible on the left bank, and a distant shoreline with more trees is on the right. In the lower-left foreground, there are several overlapping, wavy, semi-transparent blue and white shapes that resemble stylized waves or ice layers.

Ruimte voor Rijntakken

Wat het onderzoek ons heeft geleerd

Ruimte voor Rijntakken

Wat het onderzoek ons heeft geleerd

Wim Silva, Frans Klijn, Jos Dijkman

in opdracht van Rijkswaterstaat, directie Oost-Nederland



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstitute voor integraal Zee- en Afvalwaterbeheer en RIZA



wL | delft hydraulics

Waarom dit rapport?	9
Bescherming tegen hoogwater: het probleem en de context	11
De Rijntakken	35
Het stroomgebied van de Rijn	47
Verminderen van toevoer van water naar de Rijntakken	65
Bergen van water langs de Rijntakken	71
Afvoeren van water via de Rijntakken	79
Maatregelen in het zomerbed	81
Maatregelen in de uiterwaarden	85
Maatregelen binnendijks	95
Combineren van maatregelen tot alternatieven	105
Alternatieven voor 16.000 m ³ /s	109
Doorkijk 18.000 m ³ /s	123
Afvoerverdeling anders?	127
Over onzekerheden en het omgaan met onzekerheden	137
Onzekerheden	137
Omgaan met onzekerheden	149
Geraadpleegde literatuur	155
Verantwoording van foto's	156
Verantwoording van illustraties	157



Hoogwater januari 1995

Waarom dit rapport?

In 1995 werd het rivierengebied – na een lange periode van relatieve onbezorgheid – opgeschrikt door een hoogwatergolf op de Rijn die de hoogste bleek sinds 1926 en die ook nogal lang aanhield. 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. Bedrijven werden enige tijd stilgelegd, wat vooral voor het bedrijfsleven tot grote schades heeft geleid. Dit hoogwater – samen met de voorbode in 1993 en de vergelijkbare gebeurtenissen langs de Maas – maakte weer eens duidelijk dat oplettendheid blijft geboden als het gaat om de veiligheid van het rivierengebied tegen overstroming.

De recente hoogwaters hebben een aantal zaken in een stroomversnelling of op gang gebracht. De regering besloot allereerst door vaststelling van het Deltaplan Grote Rivieren de al aangevangen dijkversterking versneld uit te voeren, namelijk voor 2001. Maar meteen werd ook al 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 het Hoogwater Actieplan voor de Rijn door de regeringen van de Rijnsoeverstaten goedgekeurd. Dit plan is gericht op een duurzame bescherming tegen hoogwater in het stroomgebied. In de in 1999 door de regering vastgestelde 4e Nota Waterhuishouding is vervolgens aan hoogwaterbescherming extra aandacht besteed, mede omdat het in de lijn der verwachting ligt dat klimaatverandering in de toekomst tot hogere rivierafvoeren zal leiden. Het antwoord op deze ontwikkelingen ligt in het anticiperen op te voorziene ontwikkelingen, onder meer door het creëren van meer ruimte voor de rivieren. Hiertoe zijn de nodige projecten geformuleerd, waaronder Ruimte voor de Rijntakken (RvR).

Tot op dit moment heeft RvR vooral het karakter van een verkenning en beleidsadvisering gehad. De kernvraag daarbij luidde of het – in de verwachting van een hogere maatgevende rivierafvoer – mogelijk is om in het rivierengebied de huidige veiligheid tegen overstromingen te handhaven met inzet van rivierverruimende maatregelen en zonder volgende ronde dijkversterking. Het RvR-project heeft in februari 2000 geresulteerd in een advies aan de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat over de te nemen maatregelen om de toenemende Rijnafoer het hoofd te bieden. Verdere planvorming en uitvoering zijn voorzien voor 2015.

Als voorbereiding op dit advies is door vele partijen onderzoek verricht, gecoördineerd door de directie Oost-Nederland van Rijkswaterstaat. Hierbij is samengewerkt met veel betrokken partijen (rijk, provincies, waterschappen, gemeenten en belangengroepen). Een groot deel van het onderzoek is uitgevoerd door RIZA en WL. Daarover is in een groot aantal – deels zeer technische – achtergrondrapporten verslag gedaan. Het rapport dat voor u ligt beoogt de belangrijkste bevindingen uit al die rapporten in een toegankelijker vorm samen te vatten. Daarbij ligt het accent op de hoogwaterbescherming, het centrale thema in het RvR-onderzoek, en op de rivierprocessen die hierop van invloed zijn. Aan andere maatschappelijke belangen, zoals scheepvaart en natuur, wordt weinig aandacht besteed. Daarvoor wordt verwezen naar de notitie 'Stand van zaken Ruimte voor Rijntakken' van april 1999.



Gebied dat zonder duinen en dijken vanuit rivieren en zee kan overstromen



Studiegebied

Het studiegebied beslaat het beheersgebied van de directie Oost-Nederland van Rijkswaterstaat. Dit omvat het zomerbed en de uiterwaarden van de Rijntakken in Nederland. De bovenstroomse grens ligt bij Lobith waar de Rijn ons land binnenkomt. De benedenstroomse grenzen liggen op de overgang naar het benedenrivierengebied en het IJsselmeergebied, waar de waterstanden nog maar ten dele door de afvoer van de Rijn worden bepaald.

Het studiegebied strekt zich uit over vier provincies waarvan Gelderland veruit het grootste deel beslaat. De drie andere provincies zijn Overijssel, Utrecht en Zuid-Holland.

Bescherming tegen hoogwater: het probleem en de context

Wat is eigenlijk het probleem?

Het probleem waarmee we in het rivierengebied op korte termijn worden geconfronteerd is dat de *maatgevende afvoer* ten gevolge van de recente hoogwaters hoger zal uitvallen dan waar de berekeningen van dijkhoogten tot nu toe op waren gebaseerd. De maatgevende afvoer is de afvoer die, volgens de statistieken, eens per 1250 jaar optreedt. Deze maatgevende afvoer bepaalt op zijn beurt de *maatgevende hoogwaterstanden* waar de hoogte van de dijken van wordt afgeleid. Daarbij wordt nog rekening gehouden met factoren als opwaaiing en golfoploop, waarvoor een zekere waakhogte wordt aangehouden.

In het jaar 2001 zullen in het kader van de Wet op de waterkering opnieuw de maatgevende hoogwaterstanden worden vastgesteld. Naar het zich nu laat aanzien zal de maatgevende afvoer van de Rijn rond de 16.000 m³/s komen te liggen; deze is nu 15.000 m³/s. Zonder verdere maatregelen betekent dit ook hogere maatgevende waterstanden.

De uitdaging van het RvR-project is om maatregelen te bedenken en te implementeren, waarmee - ondanks de hogere maatgevende afvoer - een nieuwe ronde van dijkverhogingen kan worden voorkomen. Daarbij wordt uitgegaan van het in de 4e Nota Waterhuishouding geformuleerde principe van 'Ruimte voor de Rivier'. Dat betekent dat wordt gezocht naar rivierverruimende maatregelen waarmee waterstandverlaging kan worden bewerkstelligd.

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

De bescherming tegen hoogwater is in een groot aantal wetten vastgelegd: de Grondwet, de Waterstaatswet, de Provinciewet en de Wet op de waterkering. De laatste wet, die in 1996 van kracht is geworden, geeft een samenhangend beeld van alles wat met de bescherming tegen hoogwater te maken heeft. De Wet op de waterkering stelt dat de waterschappen verantwoordelijk zijn voor de aanleg en het onderhoud van de dijken. In het studiegebied betreft dit de dijken langs de Rijntakken met een totale lengte van ongeveer 665 km. Voor ongeveer 20 km ligt de zorg bij de Rijkswaterstaat. De provincies hebben een toezichthoudende taak. Gemeenten regelen in bestemmingsplannen de ruimtelijke inpassing van dijken.

Elke vijf jaar, zo schrijft de Wet op de waterkering voor, moeten de beheerders hun dijken toetsen op veiligheid. Deze toetsing vindt plaats per dijkkringgebied. Dit 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 van die dijkkringgebieden waarvan ruim 15 in het studiegebied. De resultaten van de toetsing worden doorgestuurd naar de provincies die op hun beurt rapport uitbrengen aan de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat. Die stelt op basis daarvan de Tweede Kamer op de hoogte over de veiligheidstoestand van onze dijken. In het jaar 2001 wordt de eerste toetsronde in de vijfjarencyclus afgesloten.

De Wet op de waterkering geeft ook aan dat om de vijf jaar, de eerstvolgende keer in 2001, maatgevende hoogwaterstanden moeten worden vastgesteld. Op basis hiervan wordt de hoogte van de dijken langs de Rijntakken berekend. Actuele informatie over deze hoogwaterstanden is nodig omdat de rivier in de tijd kan veranderen. Zo komen we, naar aanleiding van de hoogwaters van 1993 en 1995, tot het inzicht dat de maatgevende afvoer van de Rijn mogelijk hoger is dan tot dusver aangenomen en misschien onder invloed van klimaatveranderingen nog verder zal toenemen.

Tot slot regelt de Wet op de waterkering dat Rijkswaterstaat voor adequate waarschuwingdiensten zorgt. Als verwacht wordt dat de waterstand op de Rijntakken een bepaalde waarde overschrijdt worden van hieruit de verantwoordelijke overheden op de hoogte gesteld. Het opstellen van rampenbestrijdingsplannen en voorlichting om het besef van het risico van leven in een delta te vergroten zijn taken van de overheid. Het Ministerie van Binnenlandse Zaken heeft daarbij een coördinerende rol; uitvoering vindt bij voorkeur plaats op regionaal en lokaal niveau.



Laagwater



Hoogwater

Waarop is de hoogte van onze rivierdijken gebaseerd?

Dijken worden qua hoogte, breedte en talud zodanig ontworpen dat ze hoogwater gedurende een bepaalde tijdsduur kunnen keren. Voor het ontwerp zijn er technische leidraden. Een belangrijk vertrekpunt vormt de maatgevende hoogwaterstand, dit is de waterstand die de dijk nog veilig moet kunnen keren. Deze waterstand heeft een bepaalde kans van voorkomen die samenhangt met het beschermingsniveau dat voor de verschillende dijkkringgebieden is gekozen. Deze beschermingsniveaus - of ook wel veiligheidsnormen - zijn in de Wet op de waterkering vastgelegd. Zo hebben de dijkringen in het studiegebied vrijwel alle een beschermingsniveau van 1/1250, dat wil zeggen: de kans dat de rivierwaterstand boven de maatgevende waterstand uitkomt, mag in een jaar niet groter zijn dan 1/1250. In het westen van ons land zijn de beschermingsniveaus beduidend hoger: 1/2000 oplopend tot 1/10.000 in bijvoorbeeld dijkkring 'Centraal Holland' waartoe vrijwel de gehele Randstad behoort. Dit hangt samen met de grotere economische belangen en bevolkingsdichtheid, maar ook met de moeilijke voorspelbaarheid van storm op zee, waardoor de kans op slachtoffers groter is en met het feit dat zeewater zout is en bij eventuele overstroming grotere schade toebrengt.

Bij de bepaling van de hoogte van de dijk wordt ook rekening gehouden met opwaaiing en golfoploop. Aan de dijk wordt extra hoogte, zogenaamde waakhogte, gegeven in verband met onzekerheden bij de berekening van de maatgevende hoogwaterstanden, om de dijk tijdens hoogwater als inspectiepad goed begaanbaar houden en om inklinking van het grondlichaam op te vangen. Verder moet de dijk breed genoeg zijn in verband met verschillen in draagkracht van de ondergrond en met grondwaterstroming onder en door de dijk waardoor verweking en op den duur afschuiving kan optreden.

Een kans van 1/1250 per jaar op een hogere waterstand. Nou en?

Een kans van 1/1250 per jaar op een hogere waterstand, een kans van 0,08 % per jaar, een waterstand met een gemiddelde overschrijdingsfrequentie van 1/1250 per jaar, een kans van éénmaal per 1250 jaar. Verschillende manieren om hetzelfde uit te drukken maar vaak leidend tot misverstanden.

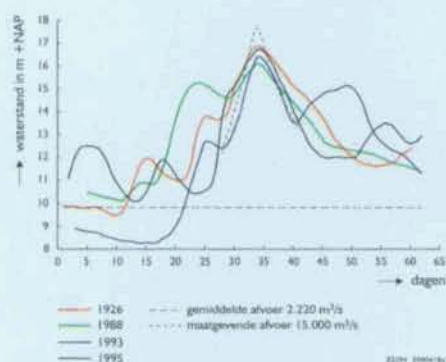
Eénmaal per 1250 jaar betekent niet dat een overstroming maar eens per 1250 jaar kan voorkomen of dat het na een overstroming 1250 jaar duurt voordat het weer gebeurt. Het betekent dat een overstroming gemiddeld éénmaal per 1250 jaar optreedt. Een parallel met het gooien van dobbelstenen (uit Grondslagen voor waterkeren van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen): zesduizend keer gooien geeft ongeveer duizend keer een vier; gemiddeld één vier op zes keer gooien. Nadat een vier is gegooid, duurt het niet altijd zes keer voordat weer een vier komt. Maar de kans daarop is 1 op 6 of 16,6 % bij iedere keer gooien. Drie keer achter elkaar een vier kan ook, maar met een veel kleinere kans.

De uitdrukking 'éénmaal per 1250 jaar' kan nog tot een ander misverstand leiden. Omdat de rivier evenals het klimaat verandert, is er nooit 1250 jaar lang dezelfde situatie aanwezig. Het ontwerpen van een dijk of het inrichten van een rivier op een toestand van gemiddeld éénmaal per 1250 jaar is dus niet mogelijk. We kunnen niet 1250 jaar vooruit kijken, maar houden rekening met een gebeurtenis die in de huidige situatie een kans van optreden heeft van 1/1250 per jaar.

De kans dat er volgend jaar een waterstand op de Rijntakken optreedt van eens per 1250 jaar is, zoals gezegd, 0,08 %. In een mensenleven van 80 jaar is die kans ongeveer 6 %. De kans op tweemaal deze gebeurtenis tijdens een mensenleven is ongeveer 0,2 %. Ten opzichte van het hoogwater van januari 1995 ontstaat het volgende beeld. De kans op waterstanden hoger dan die in 1995 is ongeveer 1/50 per jaar. Iemand die na dit hoogwater is geboren, heeft een kans van 80 % dat die een waterstand op de Rijntakken meemaakt die hoger is dan die in januari 1995. De kans op tweemaal deze gebeurtenis is 50 %.



Dijkverbetering



Waterstand te Lobith bij hoogwaters



Geen garantie op veiligheid

'Door het brengen van het jaarlijksch budget voor de rivieren, thans bedragende f 1.254.500, tot eene som van f 2.300.000, rekenen wij dat in een tiental jaren veel zou gedaan zijn, om de Nederlandsche rivieren te brengen in een toestand dien wij meenen dat tot elken prijs moet bereikt worden. De lange lijst van dijkbreuken en overstromingen is daár, om het bewijs te leveren, dat men niet overdrijft, wanneer men stelt dat de rampen die de rivierdistricten zoo menigwerf hebben getroffen, in geldswaarde verre te boven gaan, hetgeen voor eene behoorlijke en krachtige rivierverbetering vereischt wordt.

Wij willen evenwel hierdoor niet verstaan hebben, dat men alle ijsdammen en overstromingen zal voorkomen; dit ligt in hoogere magt, dan waarover het menschelijk vermogen kan beschikken, en eerbiedig zal men zich moeten onderwerpen, wanneer natuurkrachten die het ons niet is gegeven te weerstaan, andermaal ramp en ellende door dijkbreuken zullen te weeg brengen, daár waar wij zoo gaarne voortdurende voorspoed, bloei en tevredenheid zouden verspreid zien.

Een krachtige hand worde aan het werk geslagen; het worde met ijver ondernomen met volharding volbragt, na zoveel noodig door wettelijke bepalingen te zijn ondersteund en versterkt.'

Drie inspecteurs van de Waterstaat, Van der Kun, Fijnje en Conrad, in hun rapport van 27 september 1861 (De waterplag, 1987)

Zijn de huidige dijken veilig?

Na de hoogwaters van 1993 en 1995 zat de schrik goed in de benen. De regering besloot tot het Deltaplan Grote Rivieren: alle rivierdijken moeten in het jaar 2000 op de vereiste sterkte zijn gebracht. Het ziet er naar uit dat de waterschappen daarin zullen slagen. Zijn de dijken dan veilig? Aan de ene kant, ja. De dijken voldoen immers vanaf het jaar 2000 aan de veiligheidsnormen die in de Wet op de waterkering zijn vastgelegd. Aan de andere kant is, ook naar aanleiding van de hoogwaters van 1993 en 1995, duidelijk geworden dat we met hogere Rijnafoeren rekening moeten houden dan die waarvan we bij de bepaling van de huidige hoogte van de dijken zijn uitgegaan. Verdere maatregelen zijn dus nodig om veilig te blijven.

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

Hoe groot is de maatgevende afvoer bij Lobith? En in het verleden?

De maatgevende hoogwaterstanden horen bij de afvoer die met een kans van 1/1250 per jaar ons land bij Lobith kan binnenkomen. Deze 'maatgevende afvoer' bedraagt momenteel 15.000 m³/s bij Lobith. Deze waarde was het resultaat van het onderzoek door de commissie Boertien, die in 1992, naar aanleiding van groeiende onrust en weerstand in de Nederlandse samenleving tegen voorgenomen dijkversterkingen, door de Minister van Verkeer en Waterstaat in het leven was geroepen. Voor alle duidelijkheid: in deze maatgevende afvoer is nog geen rekening gehouden met de hoogwaters van 1993 en 1995.

De maatgevende afvoer heeft in het verleden onder invloed van voortschrijdend wetenschappelijk inzicht maar ook 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 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 ontstond, was 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. Deze lagere afvoer leidde voor de Neder-Rijn, Lek en IJssel tot lagere maatgevende hoogwaterstanden, voor de Boven-Rijn en Waal niet. Sterker nog, ze kwamen fors hoger te liggen. Tot slot concludeerde de hierboven 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.

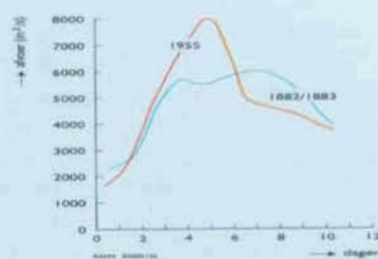
Het bovenstaande betekent dat de dijken langs de Rijntakken die in de loop van de tijd zijn versterkt niet allemaal op dezelfde maatgevende afvoer zijn afgestemd. Het minimale afvoerniveau dat de dijken moeten kunnen keren bedraagt 15.000 m³/s (de huidige maatgevende afvoer) maar vooral langs de IJssel (bovenstrooms van Wijhe) zijn de dijken voor een hogere afvoer ontworpen.



Maximale afvoer van de Rijn bij Lobith waarop de dijken in het verleden zijn ontworpen

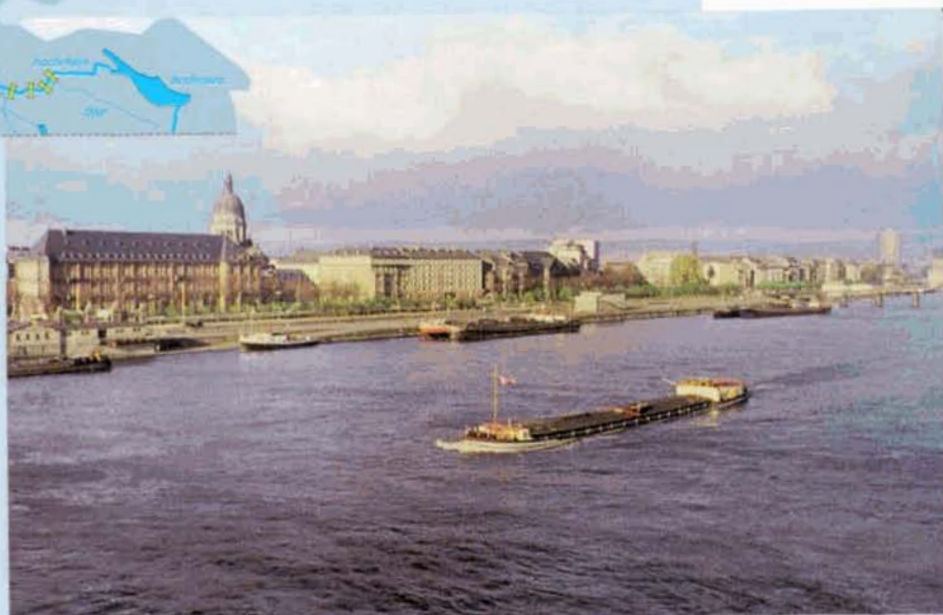


Oberrhein in Zuid-Duitsland



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 bij Mainz

Hoe wordt de maatgevende afvoer bij Lobith 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 zogenaamd homogeniseren van de afvoerreeds. Het stroomgebied van de Rijn heeft in de loop van de tijd namelijk nogal wat veranderingen ondergaan waardoor ook de afvoer karakteristiek van de Rijn is veranderd: eenzelfde neerslagpatroon in het stroomgebied leidt nu zowel qua hoogte als vorm tot een andere afvoergolf bij Lobith dan aan het begin van de 20^e eeuw. En omdat we de maatgevende afvoer voor de huidige omstandigheden willen weten, moeten afvoerpieken in het verleden gecorrigeerd worden voor veranderingen die het stroomgebied in de 20^e eeuw heeft doorgemaakt.

De belangrijkste verandering betreft de kanalisatie van de Oberrhein in het zuiden van Duitsland in de periode 1955-1977, waarbij totaal 10 stuwen zijn gebouwd en dijken dicht tegen de hoofdgeul van de rivier zijn aangelegd. Met deze kanalisatie is ongeveer 130 km² overstromingsvlakte verloren gegaan, ongeveer 60 % van wat daarvoor aanwezig was. Het gevolg hiervan is dat vooral afvoergolven die door veel neerslag in het zuiden van Duitsland ontstaan, sneller en spitsers ons land bereiken. Gemiddeld over een groot aantal hoogwaters veroorzaakt de kanalisatie van de Oberrhein een toename van de piekafvoeren met ongeveer 250 m³/s bij Lobith, maar ook uitschieters tot 700 m³/s komen voor. Hoogwaters die voor 1977 zijn opgetreden moeten dus (deels) voor het afvoerhogend effect van de kanalisatie gecorrigeerd worden.

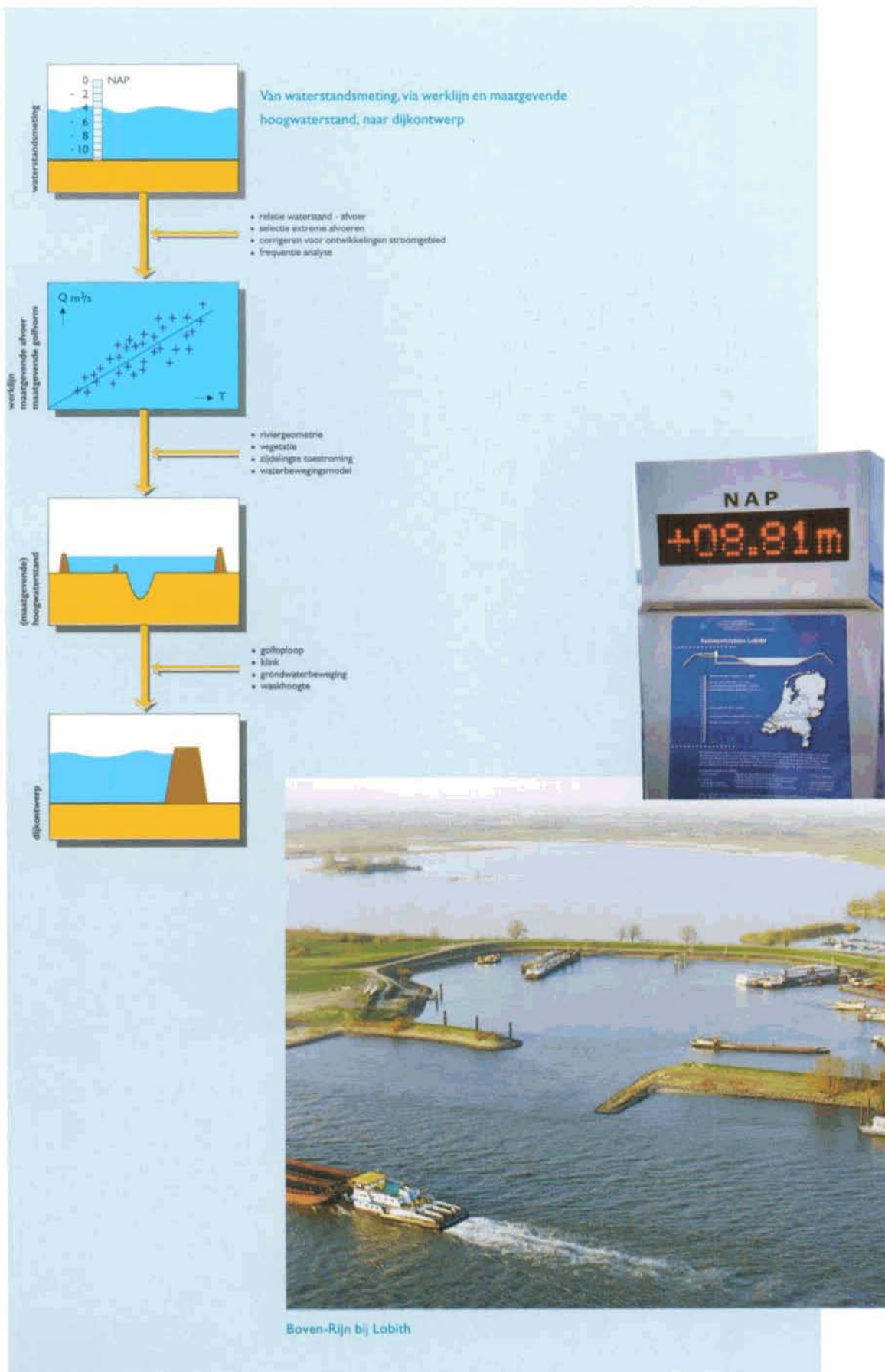
Andere veranderingen in het stroomgebied betreffen het landgebruik. Hiertoe behoren onder meer de toename van het stedelijk (verhard) oppervlak en de intensivering van de landbouw die in de regel met een vergaande ontwatering van de gronden gepaard gaat. Bij extreem hoge afvoeren zijn beide zaken echter van ondergeschikt belang. Dergelijke afvoeren treden op na langdurige en zware regenval, soms gecombineerd met vorst in de grond. De opnamecapaciteit van de grond is dan of volledig benut of door vorst zeer klein geworden: de bodem lijkt in zekere zin op verhard oppervlak en neerslag komt vrijwel direct tot afstroming. Tot slot wordt ontbossing vaak genoemd als een factor die heeft geleid tot hogere rivierafvoeren. In de periode tot aan de 19^e eeuw kan dit een rol hebben gespeeld. Nadien zijn echter vooral in Zwitserland uitgebreide herbebossingsplannen uitgevoerd.

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

Een belangrijke vraag is nog of deze maatgevende afvoer ons land wel kan bereiken. Met andere woorden: vinden er bij dergelijke extreme afvoeren onderweg, in Duitsland, geen overstromingen plaats? Een andere vraag is of er in Duitsland maatregelen worden genomen of in voorbereiding zijn waarmee ook de afvoer bij Lobith wordt verminderd. Op beide vragen wordt verderop in dit rapport teruggekomen. Ook komen de onzekerheden rond de afleiding van de maatgevende afvoer nog aan bod.

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

De huidige maatgevende afvoer is gebaseerd op de afvoerreeds bij Lobith over de periode 1901-1990. Sindsdien zijn twee relatief hoge afvoeren op de Rijn opgetreden: in december 1993 en januari 1995. Als we deze hoogwaters aan de meetreeks toevoegen gaat de werklijn steiler verlopen. Dit betekent dat we dan bij dezelfde kans van voorkomen een hogere maatgevende afvoer vinden: 16.000 m³/s bij Lobith. Naar zich nu laat aanzien, zal van deze waarde worden uitgegaan als in 2001 de maatgevende hoogwaterstanden langs de Rijntakken opnieuw worden vastgesteld.



De grote vraag is of op de lange termijn de maatgevende afvoer van de Rijn kan gaan veranderen. Een antwoord hierop is moeilijk te geven. Aan de ene kant verzamelen we pas 100 jaar afvoergegevens van de Rijn, terwijl we bij de maatgevende afvoer uitgaan van een gebeurtenis die zich gemiddeld eens in de 1250 jaar zou kunnen voordoen. Dat de maatgevende afvoer kan gaan veranderen als we over meer meetgegevens beschikken, valt dus niet uit te sluiten. Aan de andere kant hebben we het fenomeen klimaatverandering en de verwachting dat hierdoor de temperatuur op aarde zal stijgen. Een hogere luchttemperatuur gaat gepaard met een toename van de neerslaghoeveelheden in de winterperiode. Hogere rivierafvoeren kunnen hiervan het gevolg zijn. Voor de mate waarin de maatgevende afvoer van de Rijn zou kunnen stijgen liggen verschillende scenario's op tafel. Uitgaande van bijvoorbeeld de centrale schatting van 1°C temperatuurstijging rond het jaar 2050 komt de maatgevende Rijnafvoer tegen die tijd ongeveer 5 % hoger te liggen. De bovenschatting van 2°C temperatuurstijging komt overeen met 10 % toename van de Rijnafvoer. In dat geval zou de maatgevende Rijnafvoer rond het midden van de 21e eeuw bijna 18.000 m³/s kunnen worden. Ervan uitgaande dat de stijging van temperatuur en rivierafvoer zich ook na 2050 doorzet, resulteert dit rond 2100 in een Rijnafvoer van ruim 19.000 m³/s.

Hoe worden de maatgevende hoogwaterstanden langs de Rijntakken berekend?

Als de maatgevende afvoer bij Lobith bekend is, kunnen de maatgevende hoogwaterstanden op de Rijntakken worden berekend. Hierbij wordt gebruik gemaakt van 2-dimensionale computer-modellen waarmee de stroming van het water en de waterstanden in de rivier worden nagebootst. De begrenzing van het model voor de Rijntakken komt in grote lijnen overeen met het studiegebied van RvR. De maatgevende afvoer wordt opgelegd aan de zogenaamde bovenrand van het model, dit is bij Lobith. Vervolgens berekent het model de afvoer over de drie Rijntakken en de bijbehorende waterstanden. De waterstanden worden over de totale lengte van de Rijntakken en over de totale breedte van het rivierbed berekend. De waterstanden in het midden van de hoofdgeul worden beschouwd als de maatgevende hoogwaterstanden. Vooral in bochten kunnen de waterstanden in binnen- en buitenbocht nog al eens verschillen, wat voor de hoogte van de dijken natuurlijk van belang is.

Bij een bepaalde afvoer worden de waterstanden vooral bepaald door de ruimte die in het rivierbed aanwezig is en door de stromingsweerstand die het water van bijvoorbeeld kades en begroeiing ondervindt. Het verband tussen maatgevende afvoer en maatgevende waterstanden ligt dus niet vast. Zo leidt verruiming van het rivierbed door bijvoorbeeld uiterwaardverlaging bij eenzelfde maatgevende afvoer tot lagere maatgevende hoogwaterstanden.

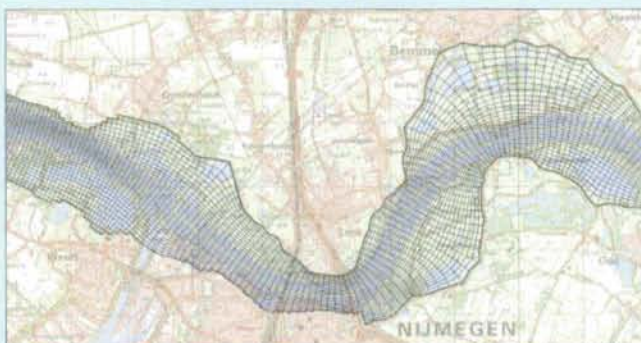
Van welke maatgevende hoogwaterstanden wordt nu uitgegaan?

De laatste keer dat de maatgevende hoogwaterstanden zijn berekend en vervolgens zijn vastgesteld is geweest in respectievelijk 1993 en 1996. De vaststelling in 1996 hing samen met de inwerking-treding van de Wet op de waterkering in dat jaar. De eerstvolgende keer zal plaatsvinden in 2001. Bij de berekeningen van maatgevende hoogwaterstanden in 1993 is trouwens uitgegaan van de zomerbedligging van rond 1980. Met de daling van de zomerbedbodem sindsdien is in de berekeningen geen rekening gehouden. Dat betekent dat er enige waterstandsverhogende ontwikkelingen in het rivierbed toelaatbaar zijn zoals natuurontwikkeling zonder dat die tot overschrijding van de huidige maatgevende waterstanden hoeven te leiden. Deze ruimte, ook wel Boertienruimte genoemd naar de commissie die in 1993 de minister van Verkeer en Waterstaat heeft geadviseerd over onder meer de hoogte van de maatgevende afvoer, varieert per Rijntak: circa 5 tot 15 cm op de Boven-Rijn en Waal, circa 0 tot 5 cm op de IJssel, Neder-Rijn en Lek.

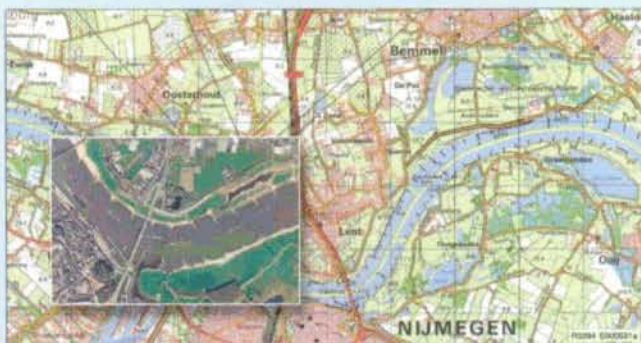
Waal bij Nijmegen



in een 1-dimensionaal
computermodel voor de
waterbeweging



in een 2-dimensionaal
computermodel voor de
waterbeweging



Hoe zit dat met die 2-dimensionale modellen? Zijn er dan ook 1-dimensionale modellen, of 3-dimensionale?

Ja zeker, en die verschillen van elkaar in de mate van nauwkeurigheid waarmee de werkelijkheid wordt nagebootst. Een 1-dimensionaal model is een zeer beperkte afspiegeling van hoe een rivier er echt bijligt en functioneert. Zo wordt de hoogteligging van het rivierbed gemiddeld over stukken rivier met, voor de Rijntakken, een lengte van ongeveer 500 m. In de breedterichting wordt slechts onderscheid gemaakt tussen hoofdgeul, kribvak en uiterwaard.

In 2-dimensionale modellen zit in ruimtelijke zin veel meer detail. Het rivierbed wordt ingedeeld in stukken met een lengte van ongeveer 75 en een breedte van ongeveer 50 m: elk stukje heeft zijn eigen (gemiddelde) hoogteligging. Het water ondervindt bij stroming door het rivierbed weerstand van bijvoorbeeld kaden, veerwegen, kribben en vegetatie zoals rietmoeras en bos. In 2-dimensionale modellen krijgen deze elementen elk hun plek met bijbehorende weerstand, in 1-dimensionale modellen wordt de weerstand weer gemiddeld over een afstand van ongeveer 500 m.

Tot slot zijn er ook nog 3-dimensionale modellen. Deze geven behalve in de lengte- en breedterichting van de rivier ook informatie over bijvoorbeeld de stroomsnelheid op verschillende waterdieptes. Dat is van belang voor het ontwerp van sluizen, stuwen en kribben.

De modellen worden geijkt aan werkelijk waargenomen waterstanden in de rivier, zoals bij de hoogwaters van 1993 en 1995. Vooral als de modellen worden gebruikt om de gevolgen voor de waterstanden te voorspellen van maatregelen die het rivierprofiel veranderen - zoals uiterwaardverlaging - is de verdeling van de afvoer tussen hoofdgeul en uiterwaarden belangrijk voor de ijking. Vaak zijn gegevens hierover echter (nog) niet beschikbaar. Verder moeten de modellen regelmatig geactualiseerd worden voor de voortdurende veranderingen in bijvoorbeeld de bodemligging van de hoofdgeul en de vegetatie in de uiterwaarden. Daarom worden op gezette tijden uitgebreide meetcampagnes met boten en/of vliegtuigen uitgevoerd en wordt van satellietopnames gebruik gemaakt.

Een 1-dimensionaal model is in principe minder nauwkeurig dan een 2-dimensionaal model. Een groot voordeel is echter (nu nog) dat het rekenen aanzienlijk sneller gaat. Een 1-dimensionaal model wordt vooral gebruikt om een indruk te krijgen van de gevolgen van maatregelen op de waterstanden. Het gaat dan om verschillen in waterstand, niet om de absolute waterstand vóór en na een ingreep. Dit type modellen worden onder meer ingezet bij verkenningen van toekomstige inrichtingsmogelijkheden van het riviereengebied. Tot op dit moment is 'Ruimte voor Rijntakken' een voorbeeld van zo'n verkenning.

Verkenningen worden gewoonlijk gevolgd door concrete plannen en ontwerpen. De schop gaat de grond in. Maar dan moeten we precies weten waar en hoe diep. Ook is informatie nodig over waar welk soort vegetatie tot ontwikkeling kan komen zonder dat de waterstanden te veel omhoog gaan. In die fase laat een 1-dimensionaal model het afweten. Een 2-dimensionaal model is dan het geëigende hulpmiddel.

Hoe verdeelt de maatgevende afvoer zich over de splitsingspunten van de Rijntakken? Gaat dat vanzelf?

Dat gaat inderdaad vanzelf, in die zin dat er geen regelwerk aan te pas komt. Wel is het zo dat de vorm en inrichting van het rivierbed, tot ongeveer 25 km vanaf de splitsingspunten, de verdeling van de afvoer over de takken praktisch volledig bepalen. Vorm en inrichting betekenen: bodemhoogte van de hoofdgeul, hoogteligging en breedte van de uiterwaarden, aanwezigheid van dammen, kades, overlaten, bruggehoofden, vegetatie, enz. Belangrijke civieltechnische werken die de afvoerverdeling beïnvloeden zijn de Millingerdam op de linker oever van de Waal en de Pannerdensche overlaat aan de rechterzijde van het Pannerdensch Kanaal.

De verdeling van de maatgevende afvoer over de Rijntakken en hierdoor ook de maatgevende waterstanden langs de Rijntakken zijn 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. De rivierbeheerder besteedt dan ook veel aandacht aan het



IJsselkop



Splitsingspunten van de Rijntakken



Pannerdensch overlaat



Pannerdensch Kop

beheer en onderhoud van de rivier rondom de splitsingspunten. Als een verandering van de inrichting op een Rijntak tot wijziging van de afvoerverdeling zou kunnen leiden, moeten op dezelfde of een andere Rijntak compenserende maatregelen worden getroffen.

Van de hoeveelheid water die onder maatgevende omstandigheden ons land bij Lobith binnenkomt, vervolgt bijna 65 % 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 onverdeelde Rijnafvoer via de Waal, 2/9 via de Neder-Rijn en 1/9 via de IJssel. De geschetste afvoerverdeling over de Rijntakken geldt bij de huidige maatgevende afvoer van 15.000 m³/s bij Lobith, maar blijft praktisch onveranderd bij een toename van de maatgevende afvoer. Bedacht moet worden dat de genoemde percentages het resultaat zijn van modelberekeningen. Toetsing heeft niet kunnen plaatsvinden omdat we nog nooit met een maatgevende afvoer zijn geconfronteerd. Dat betekent echter wel dat de verdeling van de maatgevende afvoer met nog al wat onzekerheden omgeven is. Een punt van aandacht omdat de veiligheid langs de Rijntakken voor een belangrijk deel op die berekende afvoerverdeling gebaseerd is.

Hoe ontstaat een afvoergolf op de Rijn?

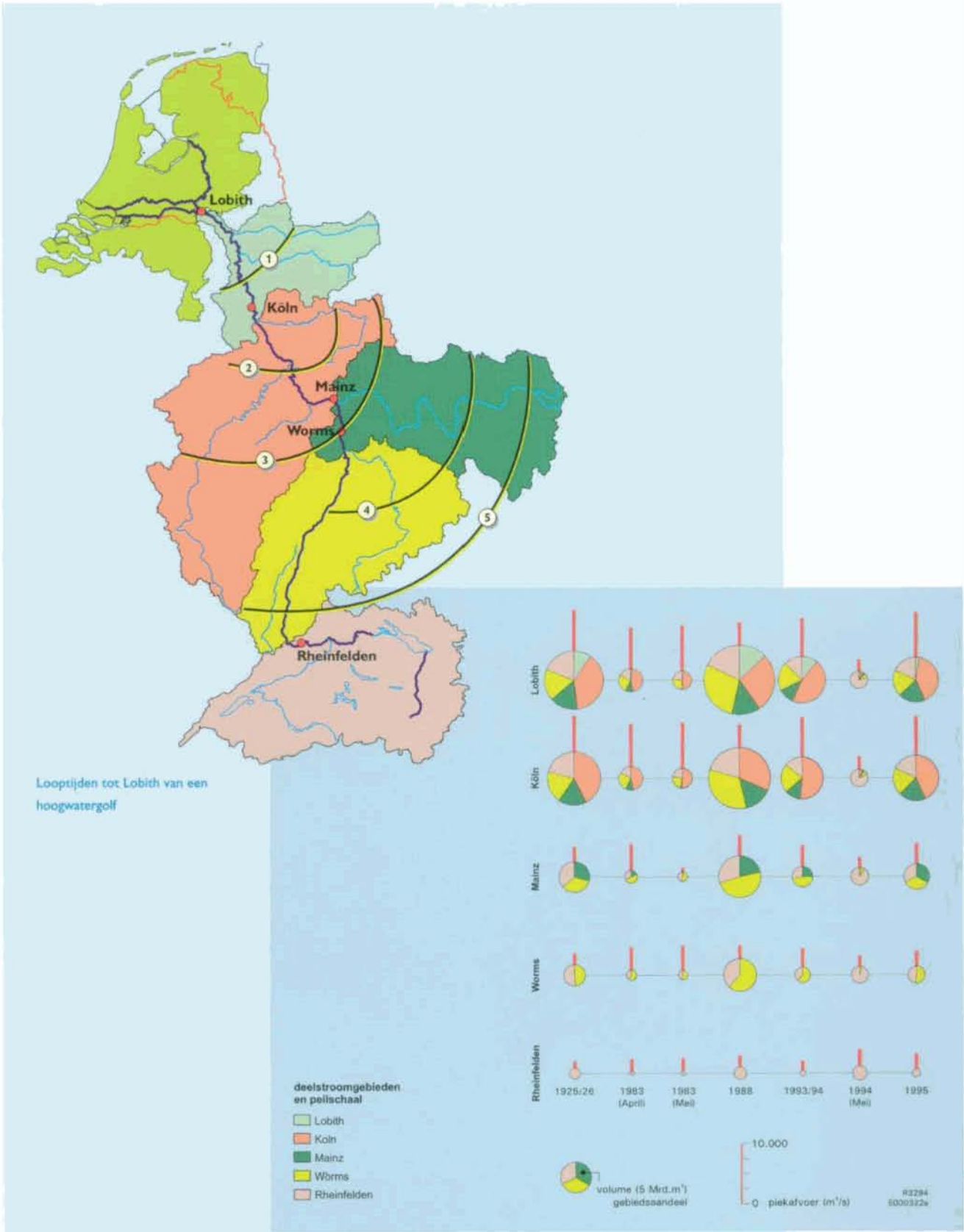
Door regen die in het stroomgebied van de Rijn valt, dat is nogal logisch. Maar dat is niet het enige. Een belangrijk punt is waar, in welke delen van het stroomgebied, en wanneer die regen valt. Kort gezegd: het neerslagpatroon. Verder speelt de voorgeschiedenis een rol. Heeft het al een tijd geregend waardoor de ondergrond min of meer verzadigd is en nog nauwelijks regen kan opnemen? Ook de temperatuur is van belang. Is de ondergrond bevroren waardoor neerslag snel tot afstroming komt? Of hebben we juist relatief hoge temperaturen waardoor gevallen sneeuw gaat smelten. Al met al een complex vraagstuk. Dit betekent dat praktisch elk hoogwater bij Lobith op een andere wijze is ontstaan. Doorslaggevend voor de hoogte en vorm van de afvoergolf bij Lobith is het samenspel van de toestroming vanuit de zijrivieren naar de Rijn en de afvoer op de Rijn zelf. Dat wordt hieronder geïllustreerd aan de hand van de twee meest recente hoogwaters.

Het hoogwater van december 1993

In 1993 ontwikkelde een gemiddelde afvoer op de rand van het Alpengebied zich tot de samenvloeiing met de Neckar tot een afvoergolf met een herhalingsijd van ongeveer 2 jaar, dat wil zeggen een afvoergolf waarvan de kans van voorkomen gemiddeld eens per 2 jaar bedraagt. Gelijktijdig voerde de Neckar een afvoergolf met een herhalingsijd van 50 jaar af. Na de bijdrage van de Main en de Nahe ontwikkelde de afvoergolf op de Rijn zich tot een golf met een herhalingsijd van 35 jaar. Bij Koblenz vielen de afvoerpieken van Rijn en Moezel vrijwel samen. De afvoer van de Moezel, die met 4.200 m³/s de hoogste was sinds reguliere metingen in 1817 begonnen, genereerde een afvoergolf in de Niederrhein die qua hoogte slechts éénmaal eerder in de 20e eeuw was opgetreden. Bij Keulen was de golf zo hoog en langdurig, dat de dijk rond de binnenstad gedurende 70 uur overstroomde. Hoge dijken benedenstrooms van Keulen konden verdere rampspoed aldaar voorkomen. Het hoogwater van 1993 is dus met name ontstaan in het midden en zuiden van het Rijnstroomgebied.

Het hoogwater van januari 1995

Ook de afvoer van 1995 vond zijn oorsprong niet in extreme afvoeren vanuit de Alpen. In 1995 had de piekafvoer op de rand van het Alpengebied een herhalingsijd van 20 jaar, maar de piek hield slechts kort aan. Al na één dag was de rivier ter plaatse weer in een gemiddelde hoogwatersituatie. Omdat de bijdrage van zijrivieren in Zuid-Duitsland betrekkelijk gering was, had de Rijnafvoer bovenstrooms van Mainz een herhalingsijd van minder dan 10 jaar. Door een extreme afvoer van de Main was de afvoer op de Mittellrhein in 1995 echter groter dan die in 1993. De situatie in Koblenz was minder dramatisch, omdat de piekafvoer van de Moezel ruim 600 m³/s minder was dan in 1993, waardoor de waterstand in Koblenz 31 cm lager was dan in 1993. Forse regenval in de kleine deelstroomgebieden ten noorden van de Moezel leidde echter tot een zodanige toename van de afvoer van de Rijn dat bij Keulen de waterstand 6 cm hoger was dan in 1993, en daarmee gelijk aan de hoogst geregistreerde waterstand van de 20e eeuw (1926).



Ontstaan van een hoogwater: steeds weer anders

Bij Lobith was de afvoer $12.060 \text{ m}^3/\text{s}$ en de waterstand ongeveer 10 cm hoger dan in 1926. Het hoogwater van 1995 is dus met name ontstaan in het midden en noorden van het stroomgebied. Dit hoogwater pakte voor Nederland relatief gunstig uit omdat de piekafvoeren van de zijtakken met uitzondering van de Moezel 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. Indien het moment van de piekafvoer op de zijtakken zou zijn samengevallen met de piekafvoer op de Rijn zelf, zou de afvoerpiek te Lobith in 1995 belangrijk hoger zijn geweest.

De hoogte en vorm van een afvoergolf bij Lobith wordt dus in belangrijke mate bepaald door het tijdstip waarop piekafvoeren van de zijrivieren in het stroomgebied van de Rijn samenvallen met de afvoerpiek op de Rijn zelf. In historische aantekeningen (sinds het jaar duizend) is overigens niet één extreem hoogwater te vinden dat tegelijkertijd en in vergelijkbare grootte in alle deelstroomgebieden is ontstaan. In de Alpen en langs de zuidelijke Oberrhein ontstaan hoogwaters overwegend in de zomer, in het midden en noorden van het Rijnstroomgebied in de winter en in mindere mate in het voorjaar. Klimaatverandering kan hier wel verandering in brengen. Het is niet uitgesloten dat hoogwaters vanuit de Alpen door vervroeging van de sneeuws melt richting winter verschuiven.

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

Daar gaat best wat tijd overheen, zeker als we het met bijvoorbeeld de Maas vergelijken. Dat komt vooral doordat de Rijn in vergelijking met de Maas een lang en breed stroomgebied heeft. Een hoogwater dat door sneeuws melt en/of regen in het zuiden van Duitsland is ontstaan doet er 4 à 5 dagen over voordat het de grens van ons land heeft bereikt. Vanaf Koblenz waar de Moezel uitstroomt in de Rijn tot aan Lobith - over een afstand van 250 km - bedraagt de looptijd van een hoogwater nog 2 dagen. Ter vergelijking: op de Maas vanaf de grens tussen Frankrijk en België duurt het ruim een halve dag voordat een hoogwater Nederlands Limburg heeft bereikt - een afstand van 130 km.

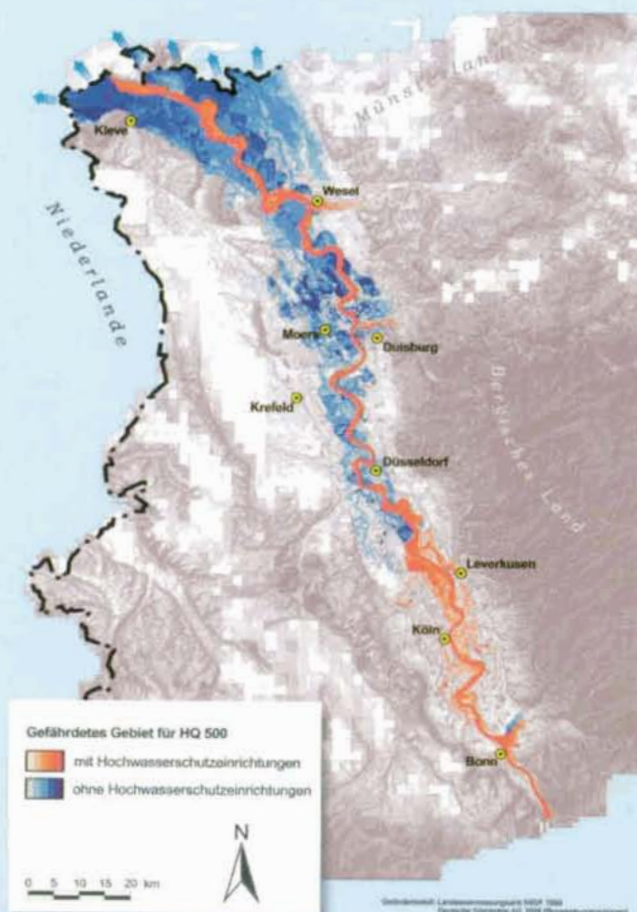
In Nederland plant een hoogwater zich veel trager voort dan in Duitsland omdat we in de vlakke delta van de Rijn zijn aangeland. Een hoogwater legt de afstand tussen Lobith en de Noordzee in ongeveer 2 dagen af.

Hoe worden hoogwaters bij Lobith voorspeld? En hoe nauwkeurig?

Als hoogwater dreigt treedt de hoogwaterberichtgeving in werking. Rijkswaterstaat maakt berekeningen om het verloop van de hoogwatergolf bij Lobith tot enkele dagen vooruit te voorspellen. Op basis hiervan worden vervolgens de waterstanden langs de Rijntakken berekend. Hoe eerder hoogwaterproblemen worden voorzien, des te beter kunnen we ons voorbereiden. Dijkbewaking kan worden ingesteld, duikers kunnen worden afgesloten, veerponten kunnen uit de vaart worden genomen en in het uiterste geval kunnen mensen en dieren worden geëvacueerd. Waterstanden en hoogwaterberichten zijn op Teletekst te vinden en worden via de radio uitgezonden.

Van een hoogwater op de Rijn is sprake als de waterstand bij Lobith het peil van NAP +14.00 m, overeenkomend met een afvoer van ruim $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$, overschrijdt en nog minstens een meter stijging wordt verwacht. Aan de hand van afvoergegevens van de Rijn en zijrivieren in Duitsland én neerslaggegevens en -verwachtingen van het KNMI wordt het verloop van de hoogwaterstanden bij Lobith voorspeld. De afwijkingen van de voorspelde waterstanden blijken in het algemeen kleiner dan 10 cm voor de eerste dag en 15 cm voor de tweede dag. Dat lijkt weinig maar kan doorslaggevend zijn voor een beslissing tot evacueren. Omdat, naarmate meer dagen vooruit moet worden voorspeld, de onzekerheid in de voorspelde waterstanden groter wordt, wordt de berichtgeving na de tweede dag beperkt tot een voorspelling van de trend: stijgende of dalende waterstanden. Samen met Duitsland wordt momenteel gewerkt aan verdere verbetering van de voorspelling. Met een goede neerslagverwachting, ook afzonderlijk voor de deelstroomgebieden, moet het mogelijk zijn om te zijner tijd drie dagen vooruit te kunnen voorspellen.

Digitales Geländemodell mit hochwassergefährdetem Gebiet Darstellung als Schattenrelief



Waterdiepten in door hoogwater bedreigd gebied langs de Nederrijn



Berichtencentrum voor hoogwater

Berichtgeving van hoogwater in 1807

'Ingeval van hoog opgezet water in de rivier: boven Emmerik bij dag, met één scheut uit een geweer; beneden Emmerik met twee scheuten.
 ingeval van gevaar aan dijken zal men bij dezen seijnen voegen één witten doek aan één staak gebonden.
 Bij nacht en mistig weer dezelfde seinen doch in plaats van één doek één brandende lantaarn.
 De seijnen moeten wederzijds worden gerepeteerd.
 Alvorens men seijn geeft zal men eerst de trom roeren, tot dat zulks aan de andere zijde wordt gerepeteert.'

(De waterplaag, 1987)

Zit er een maximum aan de afvoer bij Lobith omdat bovenstrooms de dijken overstromen?

Een interessante vraag. Misschien wordt immers bij de inrichting van het rivierengebied en de aanleg van dijken wel uitgegaan van een maatgevende afvoer die ons land nooit zal kunnen bereiken. Of misschien hoeven we ons niet zo'n zorgen te maken over het effect van klimaatverandering op de rivierafvoer omdat hogere afvoergolven in Duitsland door overstromingen als het ware worden afgetopt.

In het algemeen geldt dat de beschermingsniveaus tegen hoogwater die in Duitsland bij het ontwerp van dijken worden gebruikt, goed vergelijkbaar zijn met die in Nederland. Een uitzondering geldt voor de noordelijke Oberrhein waar de huidige bescherming op een niveau van gemiddeld 1/70 tot 1/100 per jaar ligt. Rond het jaar 2015, na voltooiing van de retentiwerken langs de zuidelijke Oberrhein, beschermen de dijken hier het achterland met een frequentie van 1/200. Langs de Mittelrhein is er in hoofdzaak een natuurlijke bescherming door het aan weerszijden gelegen bergmassief. Wel bestaat de indruk dat in Duitsland bij het ontwerp van dijken in het algemeen van een hogere waakhogte wordt uitgegaan zodat in termen van afvoer waarbij de dijken overstromen het beschermingsniveau hoger ligt dan in Nederland, met name langs de Niederrhein.

Gegeven de beschermingsniveaus met de daarbij behorende rivierafvoer en de aangehouden waakhogte is de afvoercapaciteit van de noordelijke Oberrhein en de Niederrhein geschat. Boven deze waarde vinden overstromingen van het achterland plaats. Voor de Oberrhein blijkt de afvoercapaciteit op ongeveer 6.300 m³/s te liggen. Voor de Niederrhein moet de Rijn een afvoer van zo'n 17.500 à 18.000 m³/s overschrijden alvorens de dijken overstromen. Mocht het laatste overigens onverhoopt gebeuren dan kan ook dat voor Nederland vervelende consequenties hebben. Zo is er bijvoorbeeld in 1784 langs de Niederrhein bij Bislich een dijkdoorbraak geweest waardoor het gebied tussen 's-Heerenberg (dicht bij Emmerich) en Doesburg overstroomd raakte.

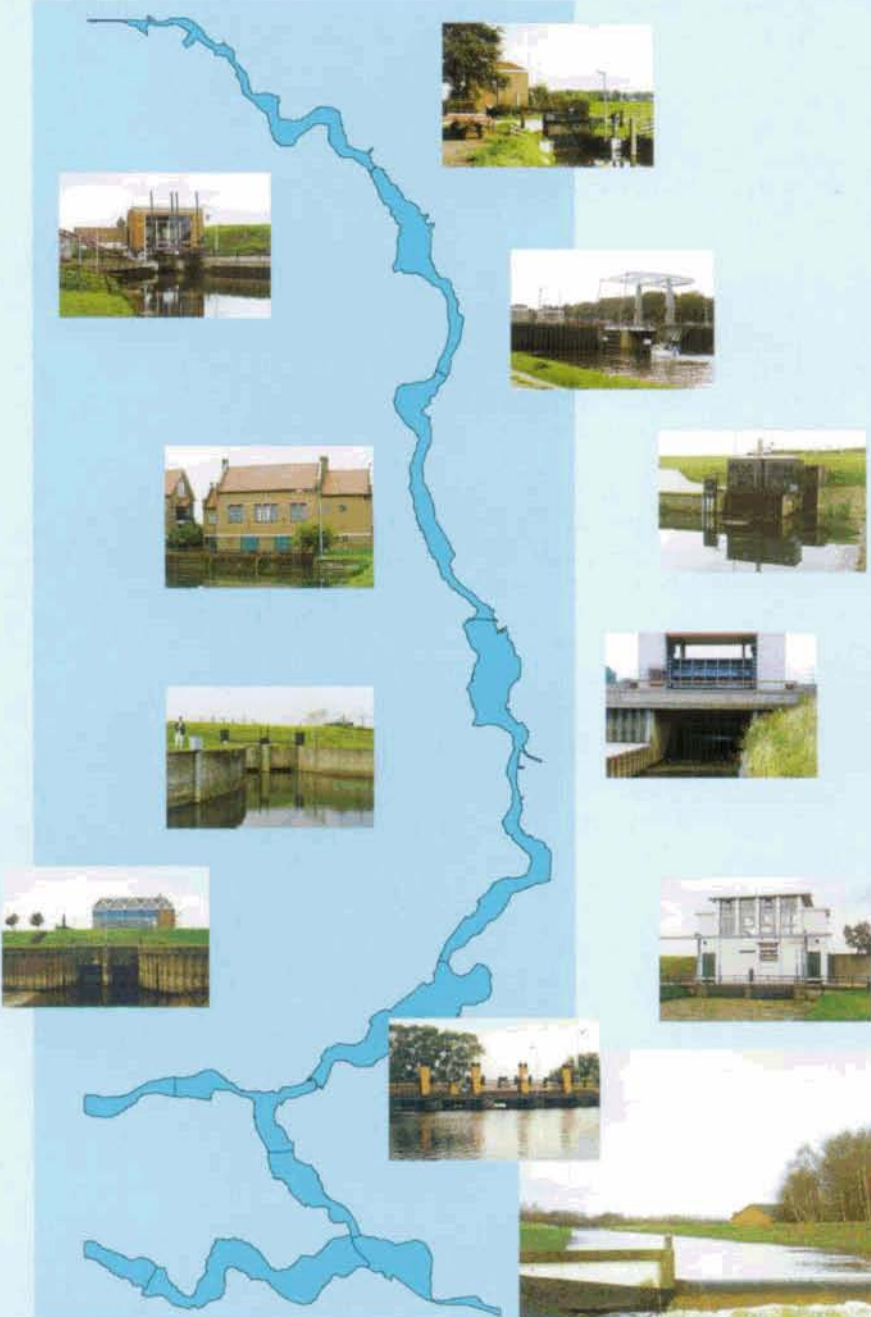
De grote vraag is natuurlijk of in de toekomst de dijken in Duitsland, in het bijzonder langs de noordelijke Oberrhein, niet verhoogd zullen worden. Dit is in het licht van de in het Actieplan Hoogwater gemaakte afspraken niet te verwachten. In het Actieplan wordt immers op basis van solidariteit tussen de landen in het stroomgebied naar oplossingen gestreefd. Een consequentie hiervan is dat benedenstrooms geen problemen mogen ontstaan als gevolg van maatregelen die bovenstrooms genomen worden. Daarom is dijkverhoging langs de Oberrhein niet aannemelijk. De consequentie van het structureel verhogen van dijken zou immers zijn dat benedenstrooms in Duitsland én Nederland met hogere waterstanden rekening moet worden gehouden. Een vergelijkbaar effect treedt overigens ook op als bij dreigende overstroming tot het plaatsnemen van zandzakken wordt overgegaan.

Nu we het toch over overstromingen in Duitsland hebben: heeft dat nog consequenties voor de maatgevende afvoer bij Lobith? In de huidige situatie en in de toekomst?

Ja zeker. Voor wat betreft de te verwachten nieuwe maatgevende afvoer, 16.000 m³/s bij Lobith, komen we tot de conclusie dat het niet waarschijnlijk is dat een dergelijke afvoer Nederland kan bereiken als het zwaartepunt van de toestroming via zijrivieren in het zuiden van Duitsland is gelegen. In dat geval vinden namelijk, ongeacht de aanwezige en geplande retentiemaatregelen langs de zuidelijke Oberrhein, overstromingen langs de noordelijke Oberrhein plaats. Een maatgevende afvoergolf met het zwaartepunt in het midden en noorden van het stroomgebied gaat niet gepaard met overstroming langs de Oberrhein en kan naar verwachting wel tot een maatgevende afvoer van 16.000 m³/s te Lobith leiden. Bij dit afvoerniveau vinden geen overstromingen plaats langs de Niederrhein, mogelijk wel langs de Mittelrhein maar dit Rijntraject doorstroomt een smal dal met aan weerszijden een beperkt potentieel overstromingsgebied.

In de toekomst kunnen onder invloed van klimaatverandering de neerslaghoeveelheden en daardoor extreme afvoeren van de Rijn stijgen. Ook in die situatie kunnen we ervan uitgaan dat er door overstromingen en/of aanvullende retentie langs de Oberrhein een bovengrens aan de afvoer in benedenstroomse richting is. Ontwikkelingen in de neerslaghoeveelheden in het midden

Zijdelingse toestrooming naar de IJssel via beken en kanalen (een impressie)



en noorden van het stroomgebied zullen dus vooral van invloed zijn op de hoogste van de afvoeren in Nederland. Een globale analyse waarbij rekening wordt gehouden met oversstromingen langs de Oberrhein leert dat, uitgaande van 4°C temperatuursijging in de komende eeuw (de bovenschatting voor het klimaatseffect in 2100), een afvoertoeename bij Lobith tot zo'n $18.000\text{ m}^3/\text{s}$ rond 2100 niet valt uit te sluiten. Indien geen rekening wordt gehouden met de oversstroming van dijken langs de Oberrhein, hoort bij 4°C temperatuursijging een afvoer te Lobith van ruim $19.000\text{ m}^3/\text{s}$. Maar dan stelt de Niedererrhein een bovengrens aan de hoeveelheid water die Nederland kan bereiken: 17.500 à $18.000\text{ m}^3/\text{s}$, dit is de geschatte afvoer waarbij oversstromingen langs de Niedererrhein kunnen optreden.

Heeft de vorm van de afvoergolf bij Lobith invloed op de hoogwaterstanden langs de Rijnzakken?

De vorm van de afvoergolf zoals die vanuit Duitsland in Nederland aankomt, wordt vooral bepaald door de intensiteit en het patroon van de neerslag in het stroomgebied. Hevige neerslag in een korte periode veroorzaakt een spitsere golf dan neerslag die in normale hoeveelheden gedurende een lange periode valt. Ook kan plotseling invallende dooi tot steile afvoergolven leiden. Verder speelt het al of niet samenvallen van afvoerpieken van zijrivieren met die op de Rijn een rol. Bij de loop van een hoogwatergolf door de Rijnzakken zal deze geleidelijk inzakken. Deze zogenaamde topvervalking is het sterkst wanneer bij toenemende afvoer de uiterwaarden gaan vollopen. Bij een spitsere golf is dit goed merkbaar, resulterend in lagere afvoeren en dus waterstanden benedenstrooms. Bij een stompe golf zijn de uiterwaarden al praktisch vol als de piek nog moet arriveren. De topvervalking is dan marginaal. Het hoogwater van 1993 had een relatief spitsere, het hoogwater van 1995 een relatief stompe golfvorm.

Bij de berekeningen van de maatgevende hoogwaterstanden langs de Rijnzakken wordt van een gemiddelde golfvorm bij Lobith uitgegaan. Deze is afgeleid uit hoogwaters sinds 1901. Uit de berekeningen blijkt dat topvervalking vooral op de IJssel een rol speelt doordat deze Rijnzak de breedste uiterwaarden kent in verhouding tot de hoofdgeul. Tussen IJsselkop en Zwolle kan de golf wel 10 cm inzakken. Op de Waal en Neder-Rijn/Lek is topvervalking nauwelijks van betekenis. Als van een stompere golfvorm bij Lobith wordt uitgegaan, komen met name langs de IJssel de hoogwaterstanden hoger te liggen; topvervalking speelt dan immers een kleinere rol. Bij een spitsere golf is het omgekeerde het geval.

Worden de maatgevende hoogwaterstanden alleen bepaald door de afvoer bij Lobith of komt er in Nederland nog water bij?

In vergelijking met Duitsland is in Nederland de totale toestroming via zijrivieren, beken en kanalen naar de Rijn zeer gering. Bovendien gaat die toestroming in het relatief vlakke Nederland meestal niet vanzelf, onder vrij verval, maar moeten er gemalen aan te pas komen om het water in de rivier te krijgen. Bij het hoogwater van 1995 bijvoorbeeld bedroeg de zijdelingse toestroming naar Waal en Neder-Rijn respectievelijk 45 en $20\text{ m}^3/\text{s}$. Dat was is in beide gevallen nog geen 1% van de afvoer op die Rijnzakken. Alleen langs de IJssel, qua afvoer nu net de kleinste van de drie Rijnzakken, kan de zijdelingse toestroming fors zijn: in 1995 bijna 10% van de afvoer die toen over de IJssel ging. Een dergelijke toestroming is dan ook goed merkbaar in de waterstanden.

Belangrijke bronnen van zijdelingse toestroming langs de IJssel zijn de Oude IJssel en het Twentekanaal. Bij de berekening van de maatgevende hoogwaterstanden werd hier, voor de hoogwaters van 1993 en 1995, rekening gehouden met een bijdrage van totaal $65\text{ m}^3/\text{s}$. Inmiddels wordt uitgegaan van $125\text{ m}^3/\text{s}$. Dit levert ruim 5 cm hogere waterstanden op de IJssel. Alle bronnen van zijdelingse toestroming langs de IJssel bij elkaar leveren ruim $175\text{ m}^3/\text{s}$. Duidelijk is dat de zijdelingse toestroming langs de IJssel iets is om terdege rekening mee te houden.

Gevarenbronnen voor overstroming



Bodemdaling en zeespiegelstijging



Stormvloedkering in Nieuwe Waterweg



Afsluitdijk

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

In het studiegebied van het RvR-project vormen hoge Rijnafoeren de belangrijkste oorzaak van hoogwaters. Alleen op de benedenstroomse trajecten van de Rijntakken liggen andere gevaren op de loer: stormen die de waterstand op zee en IJsselmeer omhoog stuwen. Op de Waal is dit slechts over een kort traject, benedenstrooms van Vuren, merkbaar. Op de Lek moet benedenstrooms van Hagestein steeds meer rekening worden gehouden met de waterstand op zee. Maatgevende hoogwaterstanden worden hier afgeleid uit berekeningen voor verschillende combinaties van Rijnafoer en zeestand. Bij Rotterdam worden de maatgevende hoogwaterstanden volledig door de zee gedomineerd.

Stormen op het IJsselmeer vormen een serieuze gevaarbron in de IJsseldelta. Bij Zwolle wordt de maatgevende hoogwaterstand volledig door de IJsselafoer bepaald, maar benedenstrooms van Kampen door de maatgevende storm op het IJssel- en Ketelmeer. Op het tussenliggende traject zijn combinaties van IJsselafoer en meerpeil bepalend.

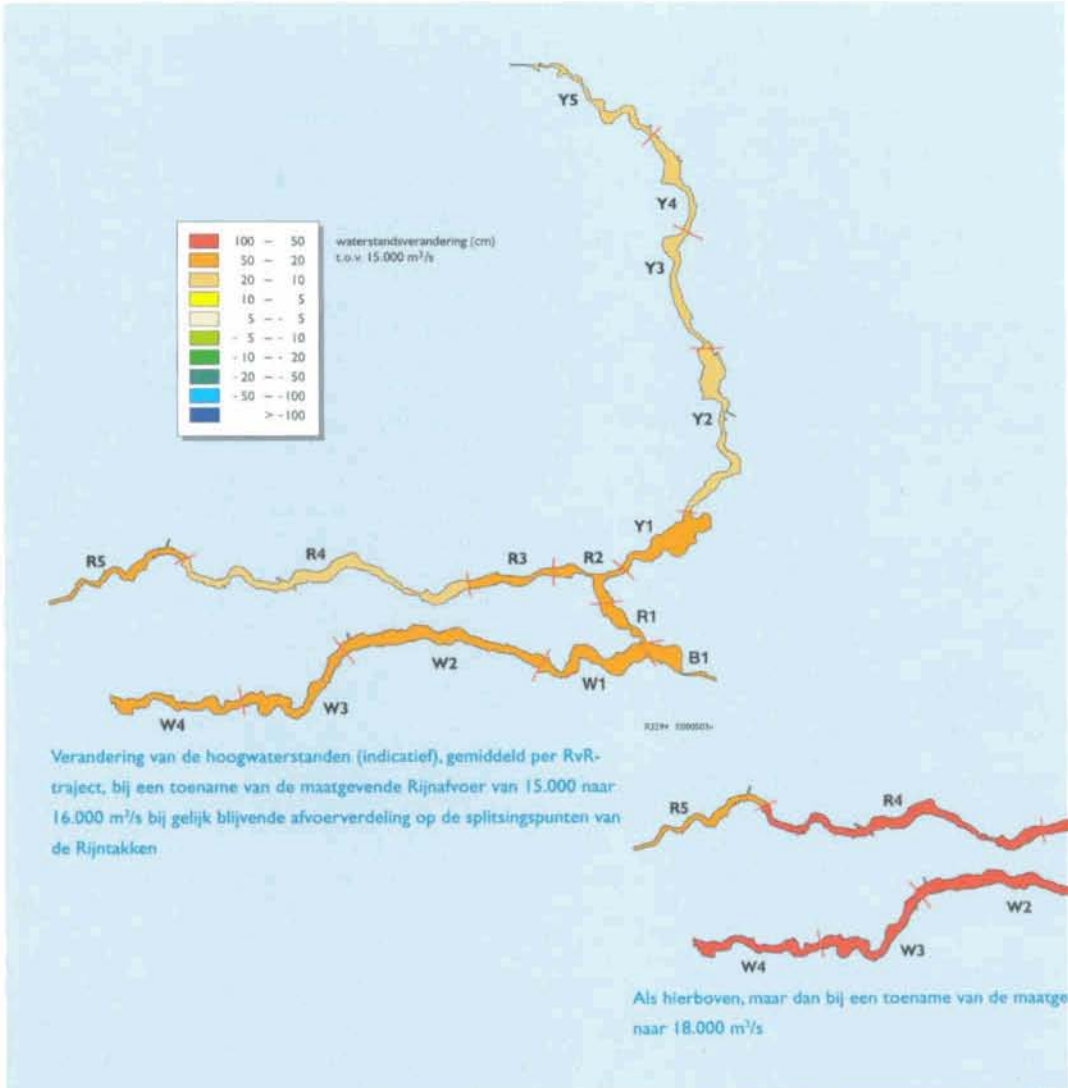
Wat zijn de gevolgen van zeespiegelrijzing voor de hoogwaterstanden op de Rijntakken?

Langs de Nederlandse kust worden al sinds 100 jaar steeds hogere waterstanden gemeten. De oorzaak is niet alleen dat de zeespiegel in absolute zin omhoog komt maar tevens dat de bodem in het kustgebied daalt. Samen wordt dit de relatieve zeespiegelstijging genoemd. Deze bedraagt zo'n 20 cm per eeuw. De verwachting is dat deze trend zich in de komende tijd voortzet.

Daarnaast moet nog, net zoals voor de rivierafvoeren, met de gevolgen van klimaatverandering rekening worden gehouden. Ook hiervoor zijn verschillende scenario's ontwikkeld. Zo gaat de centrale schatting van 1° C temperatuurstijging rond het jaar 2050 uit van een relatieve zeespiegelstijging van 25 cm. De bovenschatting van 2° C temperatuurstijging komt overeen met een zeespiegelstijging van 45 cm rond het jaar 2050. De zeespiegelstijging in 2015, het zichtjaar van het RvR-project, kan uit deze getallen worden afgeleid; de bovenschatting komt dan uit op ongeveer 15 cm.

Hogere zeestanden hoeven niet onherroepelijk tot hogere maatgevende hoogwaterstanden te leiden. Door een aangepast beheer van met name de stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg kan het effect van zeespiegelstijging getemperd worden. Voor het IJsselmeer heeft zeespiegelstijging tot gevolg dat het spuien van water via de Afsluitdijk bemoeilijkt wordt.

Nu is dat nog geen antwoord op de vraag wat de gevolgen voor de Rijntakken zijn. Een voorbeeld: de bovenschatting van 45 cm zeespiegelstijging in 2050 resulteert op de Lek bij Schoonhoven in een verhoging van de maatgevende hoogwaterstanden met ongeveer 10 cm, op de Waal bij Gorinchem met ongeveer 5 cm. Als we deze bovenschatting voor de zeespiegelstijging combineren met een toename van de maatgevende Rijnafoer bij Lobith tot 18.000 m³/s in 2050 en we laten de inrichting van het rivierengebied onveranderd, dan wordt deze verhoging op beide plaatsen ongeveer 80 cm. De toename van de hoogwaterstanden wordt dus op de benedenranden van het studiegebied vooral veroorzaakt door een hogere Rijnafoer, in mindere mate door zeespiegelstijging. Hierbij is nog geen rekening gehouden met het feit dat de zeespiegelstijging ook indirect, via de bodemontwikkeling in het benedenrivierengebied, invloed op de hoogwaterstanden kan hebben. Als de gemiddelde waterstand door zeespiegelrijzing stijgt, zal de rivierbodem door sedimentatie omhoog komen. Bij dezelfde scenario's als hierboven voor zeespiegelrijzing en Rijnafoer resulteert de bodemverhoging in het benedenrivierengebied in 2050 in ongeveer 25 cm hogere hoogwaterstanden bij Gorinchem en Schoonhoven. Voor de IJssel wordt verwacht dat de bovenschatting van 45 cm zeespiegelstijging resulteert in een ongeveer 20 cm hogere maatgevende waterstand bij de uitmonding in het Ketelmeer.



Aan het begin van dit hoofdstuk is het probleem geschetst. Vervolgens zijn de achtergronden bij het probleem toegelicht. Maar hoe groot is het probleem nu eigenlijk?

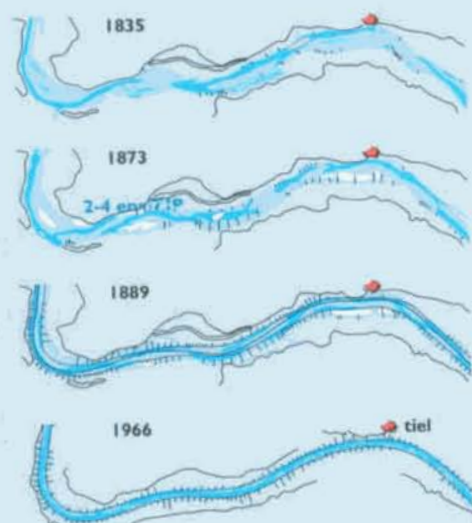
De figuren hiernaast laten zien in hoeverre de waterstanden stijgen onder invloed van een toename van de maatgevende afvoer bij Lobith met 1000 en 3000 m³/s tot respectievelijk 16.000 en 18.000 m³/s. In het RvR-project wordt die stijging van de waterstanden ook wel de hydraulische taakstelling genoemd. Een maatgevende afvoer van 16.000 m³/s is het concrete probleem waarvoor het RvR-project zich op de korte termijn ziet gesteld: hoe kan een dergelijke afvoer veilig worden verwerkt zonder daarbij de dijken te verhogen.

Een maatgevende Rijnafvoer van 18.000 m³/s levert het probleem waarvoor we op de lange termijn, onder invloed van klimaatverandering, mogelijk worden geplaatst. Deze afvoer is tegelijk de nu geschatte maximale afvoer die ons land vanuit Duitsland kan bereiken. Hieraan een bepaald scenario voor klimaatverandering of een bepaalde uitvoeringstermijn verbinden heeft niet zoveel zin. Wat dat betreft zijn er teveel onzekerheden. Waar het vooral om gaat, is te bekijken of we met oplossingen voor de korte termijn op de goede weg zitten als problemen op de lange termijn zich aankondigen. Als het roer volledig moeten worden omgegooid, dus als een fundamenteel andere oplossingsrichting moet worden gezocht, kunnen we ons afvragen of dat voor de korte termijn al niet nodig is. De analyse bij 18.000 m³/s geeft antwoord op vragen als: is gemakkelijk bijstelling van de oplossing voor de korte termijn mogelijk als op de lange termijn de Rijnafvoer nog verder toeneemt of is het dan weggegooid geld?

De in de figuren weergegeven waterstandstoename is het resultaat van 1-dimensionale modelberekeningen en heeft dus een indicatieve waarde. In het vervolg van RvR zullen de meer nauwkeurige 2-dimensionale modellen worden gebruikt die momenteel geactualiseerd worden. Dan kunnen pas uitspraken over absolute waterstanden worden gedaan en kan een vergelijking met de nu geldende maatgevende hoogwaterstanden worden gemaakt. Ook kan dan rekening worden gehouden met de overhoogte van dijken die in het verleden zijn ontworpen op hogere maatgevende afvoeren dan de huidige 15.000 m³/s en met de 'Boertienruimte' die door daling van de zomerbedbodem is ontstaan.



Waterhuishoudkundige hoofdinfrastructuur van Nederland

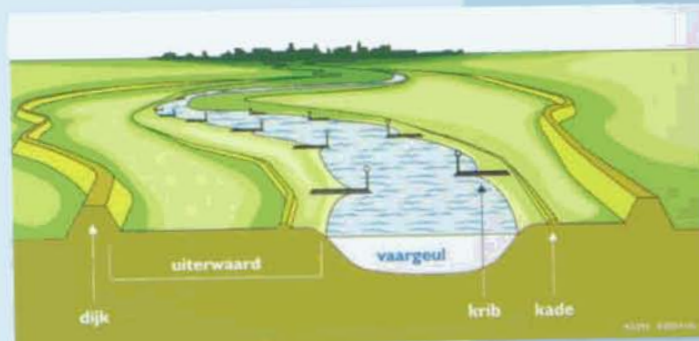


Normalisatie van de Waal

De breedte van het zomerbed is in drie stappen teruggebracht van meer dan 500 m tot 260 m, eilanden en zandbanken zijn verwijderd en oevers met kribben vastgelegd.



Gemaal Kandia



Huidig riviersysteem (schematisch)

Korte beschrijving

Met de Rijntakken worden de Waal, IJssel en Neder-Rijn bedoeld, maar alvorens het Rijnwater deze takken heeft bereikt, moet het eerst nog andere rivierdelen doorstromen. Laten we beginnen bij Lobith waar de Rijn ons land binnenkomt, zo wordt ons geleerd op de lagere school. Eigenlijk is dat al bij Spijk en spreken we daar in de Nederlandse aardrijkskunde formeel niet van Rijn, maar van Boven-Rijn. Dit voor het onderscheid met de stroomafwaarts gelegen Neder-Rijn. Aan de andere kant van de grens, in Duitsland, is de aanduiding 'Niederrhein' gebruikelijk. Ongeveer bij Lobith gaat de Boven-Rijn over in het Bijlandsch Kanaal, gegraven in 1775 om een rivierbocht af te snijden, om vervolgens het eerste splitsingspunt van de Rijn te bereiken: de Pannerdensch Kop, een splitsingspunt dat sinds het jaar 1707, na het graven van het Pannerdensch Kanaal, op een vaste plek ligt maar dat daarvoor door dijkdoorbraken en aanzandingen nog al eens van plaats wilde veranderen. Bij Kandia, waar de Oude Rijn in het Pannerdensch Kanaal uitmondt, herneemt het Rijnwater zijn oude 17^e eeuwse bedding: de Neder-Rijn. Deze naam blijft dezelfde tot Wijk bij Duurstede waar deze Lek wordt. Het merendeel van het Rijnwater stroomt vanaf het splitsingspunt Pannerdensch Kop door de Waal. Deze gaat bij Woudichem over in de Boven-Merwede.

Het tweede splitsingspunt ligt bij Westervoort waar de IJssel in noordelijke richting aftakt van de Neder-Rijn: de IJsselpop. De IJssel stroomt via het Keteldiep en Ketelmeer uit in het IJsselmeer.

Veranderingen in het verleden

Dat is een lang verhaal. Mooie boeken en rapporten zijn daarover geschreven. Dat is ook logisch want de Rijntakken zoals we die nu kennen, met een zomerbed en uiterwaarden, zijn niet van de ene op de andere dag ontstaan. Eeuwen van werken en strijd waarbij veel belangen op het spel stonden, maar ook van ontwikkelingen van de rivier zelf zijn hieraan voorafgegaan. Afgezien van bochtafsnijdingen, kanalen en werken rondom splitsingspunten zijn dijken, zomerbedden en kribben belangrijke elementen waarmee het rivierenlandschap zijn huidige vorm heeft gekregen.

De dijken, ook wel banddijken of winterdijken genoemd, beschermen het achterliggende land tegen hoogwaters. Dit land ligt dus binnen de dijken, het binnendijkse gebied dat in het rivierengebied vaak wordt aangeduid met 'waard': Alblasserwaard, Tielerwaard, Lopikerwaard, enz. Buiten de waard heet het uiterwaard: 'uit de waard', dit is het buitendijkse gebied. Voor de ontstaansgeschiedenis van dijken moeten we tot in de Middeleeuwen teruggaan. Eerst werden de bewoonde hoge gronden die verspreid langs de rivieren waren gelegen door dijken verbonden. Een bijna aaneengesloten stelsel van dijken kwam omstreeks het midden van de 14^e eeuw tot stand. Deze bepalen tot op de dag van vandaag het beeld dat we van het rivierenlandschap hebben. Op enkele plaatsen waar hoge natuurlijke oevers voldoende bescherming bieden, ontbreken de dijken.

Zomerbedden liggen in de uiterwaarden. Daarbij moeten we onmiddellijk aan de landbouw denken. Zonder deze voorzieningen zouden de uiterwaarden vaker overstroomd, waardoor het landbouwkundig gebruik minder aantrekkelijk zou worden. Verder hebben de zomerbedden een stroomgeleidende functie die voor de bodemligging van het zomerbed van belang is.

Kribben vormen het instrument voor het normaliseren van rivieren. Het zomerbed blijft op zijn plaats en krijgt een vaste breedte. Het water wordt geconcentreerd in de hoofdgeul afgevoerd, stroomsnelheden nemen toe. Hierdoor erodeert de bodem en komt deze geleidelijk op een lager niveau te liggen. Omdat dit morfologisch proces zeer langzaam verloopt en benedenstrooms tot forse aanzandingen kan leiden, wordt de rivier meestal een handje geholpen door de bodem tot op de gewenste (evenwichts)diepte uit te baggeren. De lengte van en onderlinge afstand tussen de kribben varieert per Rijntak en met de breedte van het zomerbed. Tussen de kribben, in de kribvakken, vinden we zandige oevers, behalve langs de IJssel waar de oevers in steen zijn gelegd. Het werken met kribben is een oude bezigheid. In de tweede helft van de 18^e eeuw is op grote schaal begonnen met het aanleggen van kribben bij de eerste normalisatie van de Waal. Deze en de twee daarop volgende normalisaties hebben geleid tot een verbeterde afvoer van water, ijs en sediment waardoor de kans op overstromingen sterk is afgenomen. Bovendien, en dat is minstens

Overlaatgebieden in het begin van de 19e eeuw

Door de Limmerse dijkbreken is veelmaals de Neder-Rijn en Lek ontzet geworden en welke vermogende afleiding deze situatie geven kan is bij de tegenwoordige overstromingen aan die zijde zoo merkbaar, dat zulks geen uitbreiding behoeft, waartu derhalven volgen moet dat een kunstmatige afleiding der overloijge Rijnwateren langs die zijde van groot nut kan zijn;

J. Blanken Jan op 21 januari 1809 in een 'Comité Central du Watersnood in 1809 (De waterlaag, 1987)

Overzicht van ingrepen in de Rijnakken benedensrtooms van Boun, zonder de pretentie van volledigheid

Jaar	Omschrijving
ca. 0	Bouwwerken ter beïnvloeding van de waterverdeling over de Rijnakken onder de Romeinse veldheer Drusus ter verbetering van de bevaarbaarheid van de Nederrijn. De Fossa Drusiana (Drususkanaal) was mogelijk een verbinding tussen de Rijn en de (Oude) IJssel, maar de exacte locatie is niet bekend. Begin aanleg kaden.
ca. 800	Vernieuwing en uitbreiding van Romeinse rivierwerken die tijdens de Volksverhuizingen in verval waren geraakt. Plaatselijke bedijkningen.
ca. 1000	Langere dijken die hoogwaterrij liggende nederzettingen met elkaar verbinden: de voorlopers van de bandijken.
1122	Afdamming van de Kromme Rijn.
1285	Afdamming van de Hollandse IJssel.
ca. 1450	Systeem van bandijken is grotendeels gesloten.
16e eeuw	Vergeefse pogingen om door middel van kribben meer water van de Bovenrijn in de Nederrijn en de IJssel te leiden. Verschillende pogingen om geulen in de Biesbosch af te dammen. Bochtasijdingen bij Emmenich (1588, 1644).
1580 - 1740	Ooy (1649), Rees (1654), Hurwenen (1655) en Rees (1677).
1700	Alle dijkkringen zijn gesloten.
1707	Opening van het Panterdus Kanaal.
1733	Afdamming van de verbinding tussen Maas en Waal bij Heerewaarden, onder handhaving van een 150 m brede verbinding.
1750 - 1780	Verbinding van 19 van de 25 eilanden in de Nederrijn met de oever door het afdammen van riviertakken.
1775	Graven van een nieuwe geul voor de bovenloop van de IJssel.
1775 - 1776	Bochtasijding bij Herwen door het graven van het Bijlands Kanaal.
1780	Aanleg van de Spijke overlaat ter vervanging van de open toegang tot de Oude Rijn vanaf de Bovenrijn.
1780 - 1820	Bochtasijding bij Buderich (1784), Bilsich (1788 en Gereth (1819).
1850 - 1876	Afdamming van een aantal geulen in de Biesbosch en graven van de Nieuwe Merwede.
1850 - 1900	Bochtasijding bij Wijk bij Duurstede. Aanleg van de Nieuwe Waterweg.
1860 - 1880	Eerste normalisatie van de Waal voor betere afvoer van water, ijs en sediment tot een normaalbreedte van 360 m.
1875	Sluiting van de verbinding tussen de Maas en Waal bij Heerewaarden.
1880 - 1893	Tweede normalisatie van de Waal, ter verbetering van de bevaarbaarheid tot een normaalbreedte van 310 m.
1904	Afscheiden van de bandijk tussen Maas en Waal bij Heerewaarden.
1910 - 1916	Derde normalisatie van de Waal, ter verbetering van de bevaarbaarheid tot een normaalbreedte van 260 m.
1922	Aanvang van steenkoolwinning onder de Nederrijn, leidend tot mijnzakkingen.
1923	Verhoging van de Spijke overlaat tot NAP + 15 m.
1932	Afsluiting van de Zuiderzee.
na 1940	Afdamming van twee nevenmondingen van de IJssel.
1942	Sluiting van de Beerse overlaat.
1950	Afdamming van de Britse Maas.
1954 - 1971	Rijnkanalisatie: stuw bij Driel voor de verdeling van water over de Nederrijn en de IJssel, en stuwen bij Amerongen en Hagestein voor handhaving van de waterstanden op de Nederrijn en de Lek.
1959	Verhoging van de Spijke overlaat tot volledige dijkhoogte.
1970	Afdamming van de mond van de Oude Rijn.
rond 1970	Bochtasijdingen in de IJssel bij De Steeg en Doesburg.
1970	Afsluiting van het Hartgyllet.
1976	Aanvang van compensatie van de sedimentverliezen ten gevolge van mijnzakkingen en baggeren op de Nederrijn.
1986	Vaste laag in de Waalbocht bij Nijmegen
1989	Eerste natuurontwikkelingsproject Duursche Waarden langs de IJssel
1990	Begin terugstorten van sediment dat bij baggeren voor scheepvaart vrijkomt in ondieptes van zomerbed en kribbaken
1995-1996	Bodemkribben in de Waalbocht bij Ertocom
1995-2001	Versnellende rivierdijkversterkingen in kader van Deltaplan Grote Rivieren
1998	Vaste laag in de Waalbocht bij St. Andries
2000	Dijkverhoging Orsoy-Land langs de Nederrijn

zo belangrijk, is een stabiele vaargeul voor de scheepvaart gerealiseerd. In de jaren vijftig en zestig zijn in de Neder-Rijn nog stuwen gebouwd waarmee een doelgerichte verdeling van het water in tijden van lage afvoeren mogelijk werd gemaakt. Niet alleen de scheepvaart, maar nu ook de landbouw en de drink- en industriewatervoorziening profiteerden hiervan.

De Rijn in Nederland heeft de afgelopen eeuwen dus nogal wat veranderingen doorgemaakt. Dat geldt natuurlijk ook voor het binnendijkse gebied: aanleg van wegen en spoorlijnen, verstedelijking, industrialisatie, enz. Behalve door bedijking is ook nog op een andere manier ruimte van de rivier afgesnoept en aan het 'veilige' binnendijkse gebied toegevoegd. Het betreft hier de overlaatgebieden die in het verleden een essentieel onderdeel vormden van de infrastructuur die bescherming tegen overstromingen moest bieden. Deze gebieden waren met een opzettelijk laag gehouden gedeelte in een dijk, de overlaat, met de rivier verbonden.

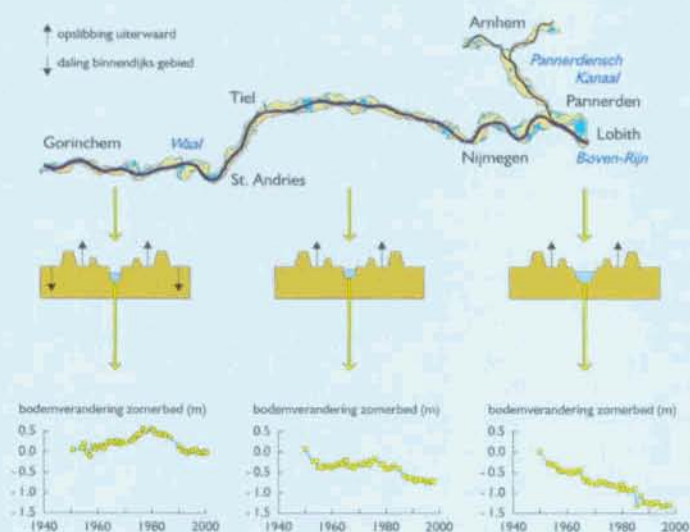
Bij hoogwater en ijsgang - in het verleden vaak de oorzaak van overstromingen - stroomde het rivierwater hier overheen waardoor benedenstrooms de kans op overstroming afnam. Bekende en tot de verbeelding sprekende overlaten zijn de Spijkse overlaat waardoor het huidige Rijnstrangengebied in noodsituaties onder water liep, de Baakse overlaat langs de IJssel en de overlaten van Heerwaarden en bij de Ooijpolder langs de Waal. Door de toenemende druk op het ruimtegebruik in de overlaatgebieden maar ook door het wetenschappelijk inzicht dat door stroomverlammingen benedenstrooms van de overlaat de kans op ijsdammen en daarmee overstromingen wel eens kon toenemen, zijn alle overlaatgebieden inmiddels verdwenen. De laatste, de Spijkse overlaat, werd - na een tussentijdse verhoging in 1923 - in 1959 gesloten. Sluiting werd in 1923 nog niet verstandig gevonden omdat dat zou betekenen dat benedenstrooms de dijken moesten worden verhoogd en het Pannerdensch kanaal moest worden verruimd.

Autonome veranderingen in de toekomst

Rivieren en dus ook de Rijntakken vormen een dynamisch systeem dat voortdurend veranderingen ondergaat. De veranderingen die nu gaande zijn beschouwen we als de autonome ontwikkeling van de Rijntakken. Niets doen leidt tot voortzetting van die autonome ontwikkeling. Inzicht hierin is onontbeerlijk om op termijn niet voor vervelende verrassingen te worden geplaagd maar ook om de gevolgen van allerlei maatregelen goed te kunnen voorspellen.

De autonome ontwikkeling kunnen we zien als een trage reactie op externe invloeden van zowel natuurlijke als menselijke oorsprong. Op geologische tijdschalen van miljoenen jaren geldt de Rijn als een jonge rivier die zich met een vertraging aanpast aan de nog steeds voortschrijdende opheffing van de Alpen. Op tijdschalen van eeuwen en millennia overheerst de invloed van klimaatveranderingen. Tot slot zijn er nog de directe ingrepen in de rivieren, zoals bedijking, normalisatie en bochttafsnijding. Deze ingrepen doen nog steeds hun invloed op de ontwikkeling van de Rijntakken gelden. Kort samengevat, gaat het om de volgende processen.

- De bodem van het zomerbed in vooral de bovenstroomse trajecten van de Rijntakken daalt door erosie. Dit is het gevolg van een samenspel van factoren: in het verleden uitgevoerde normalisatiewerken, geringere toevoer van sediment uit Duitsland - daarop wordt later nog teruggekomen - en de scheepvaart die door de grotere diepgang en het sterk toegenomen motorvermogen het zandige bodemmateriaal opwoelt. Tot enkele jaren geleden konden hieraan nog het baggeren van ondieptes voor de scheepvaart en de winning van zand uit het zomerbed worden toegevoegd. Nu vindt baggeren voor de scheepvaart ook nog wel plaats maar wordt het gebaggerde materiaal weer op diepe plaatsen in de rivier of in kribvakken teruggestort. Het eroderen van het zomerbed hangt samen met het verstoren van het delicate evenwicht dat er tussen het transport van water en sediment in rivieren bestaat. Onttrekken van zand aan het zomerbed heeft tot gevolg dat de rivier op een andere plek benedenstrooms zand opneemt om weer in evenwicht te komen. Het normaliseren van de rivier geeft hogere stroomsnelheden in het zomerbed en leidt ertoe dat de rivier in evenwicht meer zand kan meevoeren. Dit zand is in alluviale rivieren als de Rijn in praktisch onbeperkte hoeveelheden in de bedding aanwezig. Door de bodemdaling zullen ook de waterstanden zakken. De stabiliteit van kunstwerken zoals sluizen komt daardoor in gevaar. Vaste lagen in de hoofdgeul, zoals die bijvoorbeeld bij Nijmegen zijn aangebracht, komen in vergelijking met de zandige bodem boven- en benedenstrooms hoger te liggen waardoor op termijn de aflaaddiepte van schepen mogelijk moet worden beperkt. Door de lagere waterstanden kan verdroging in het omliggende gebied



R2194 8006326

Uitschuring van het zomerbed, opslibbing van de uiterwaarden en bodemdaling in het binnendijkse gebied langs de Boven-Rijn en Waal



Kerk in Hazerswoude (Zuid-Holland)

Het maaiveld rond deze kerk uit 1646 ligt door klink en oxydatie van het veen ruim twee meter beneden de dorpel van de toegangsdeur.

optreden. De bodemdaling van het zomerbed is in de Boven-Rijn, het Pannerdensch Kanaal en de Waalbochten bovenstrooms van Nijmegen het grootst: de afgelopen decennia 2 à 3 cm per jaar. De verschillen in bodemdaling per Rijntak hebben, zij het zeer langzaam, veranderingen in de afvoerverdeling bij de splitsingspunten tot gevolg.

- De benedenstroomse trajecten van de Rijntakken zanden aan. Dit hangt samen met een reductie van de getijdebeweging, die bij de Waal het gevolg is van de uitvoering van de Deltawerken en bij de IJssel het gevolg van het afsluiten van de Zuiderzee. Voor de scheepvaart, maar ook voor hoogwaterbescherming worden deze aanzandingen gebaggerd.
- De uiterwaarden slibben op. In het verre verleden, zonder dijken, kon de rivier haar slib kwijt in een brede overstromingsvlakte. Na de bedijking is die ruimte fors ingeperkt. Bij overstroming van de uiterwaarden wordt door de geringe stroomsnelheden een laagje slib afgezet, gemiddeld ruim één mm per jaar. Zowel tussen uiterwaarden onderling als binnen een uiterwaard kunnen grote verschillen in slibsedimentatie optreden. Hoogteligging en kades die de overstromingsfrequentie van en het stromingspatroon binnen uiterwaarden beïnvloeden spelen hierbij een belangrijke rol. Door voortdurende opslibbing komen de uiterwaarden zowel ten opzichte van het zomerbed als ten opzichte van het binnendijkse gebied steeds hoger te liggen. Uitschuring van het zomerbed maar ook bodemdaling in het binnendijkse gebied kunnen dit hoogteverschil nog versterken. Hier en daar wordt in de uiterwaarden klei gewonnen voor de baksteenindustrie.

Door de geschetste (morfologische) processen ondergaan de Rijntakken voortdurend veranderingen. In relatie tot de hoogwaterbescherming is het doorstroomprofiel van het rivierbed van belang. Aanzanding van het zomerbed en opslibbing van de uiterwaarden doen dit profiel afnemen en de hoogwaterstanden dus stijgen. Door erosie van het zomerbed wordt het profiel juist verruimd; lagere waterstanden zijn hiervan het gevolg. Het netto-resultaat kan tussen Rijntakken maar ook binnen een Rijntak variëren. Het algemene beeld van de afgelopen decennia is dat in de bovenstroomse riviertrajecten erosie van het zomerbed de overhand heeft gehad. In de benedenstroomse trajecten is aanzanding opgetreden, zij het dat deze aanzanding door baggeren stelselmatig wordt weggewerkt. Hoe de toekomst eruit zal zien valt moeilijk te voorspellen. Dit komt omdat morfologische processen moeilijk te doorgronden zijn en traag verlopen. De indruk bestaat dat zonder aanvullende maatregelen de erosie van het zomerbed in de bovenstroomse riviertrajecten moeilijk te stoppen valt. We zijn daarbij ook afhankelijk van ontwikkelingen in Duitsland. Aanzanding van het zomerbed in de benedenstroomse trajecten van de Rijntakken en opslibbing van uiterwaarden zijn processen die tot in lengte van dagen zullen doorgaan. We leven immers in een delta waar sedimentatie van slib en zand van nature thuis hoort.

Hierboven is kort de bodemdaling in het binnendijkse gebied ter sprake gekomen. Dat vraagt om enige verduidelijking. In Nederland zijn er in hoofdzaak drie oorzaken van bodembeweging: daling door klink en oxydatie van de klei- en veenondergrond, daling door aardgaswinning en daling én stijging door tektonische bewegingen (kantelende beweging waarbij het noordwesten van Nederland met ongeveer 7 cm per eeuw daalt). In het studiegebied speelt bodemdaling vooral in het gebied tussen Waal en Neder-Rijn/Lek. In het oostelijk deel hiervan bedraagt de prognose voor deze daling rond het jaar 2050 zo'n 5 cm, in het westelijk deel zo'n 40 cm.

Als een autonome ontwikkeling wordt ook wel eens de ontwikkeling van natuur in de uiterwaarden genoemd. Tot op zekere hoogte is dit juist. Aan de ene kant gaan er immers enkele decennia overheen voordat een bosgebied tot wasdom is gekomen. Aan de andere kant worden in de vergunning die voor de uitvoering van een natuurontwikkelingsproject door Rijkswaterstaat wordt verleend, voorwaarden aan de dichtheid en het type van de vegetatie gesteld en onderhoud voorgeschreven. Dit is nodig omdat anders op den duur te veel weerstand tegen de stroming van hoogwater ontstaat waardoor waterstanden stijgen en de hoogwaterbescherming in gevaar kan komen. Begrazing met paarden en runderen is een goed middel om aan die voorwaarden blijvend te voldoen. Echter, vooral in een periode met geen of weinig hoogwaters dreigt het onderhoud door betrokken partijen wel eens op de achtergrond te raken. In het rapport 'Rivierbeheer op de Nederlandse Rijntakken' van Rijkswaterstaat uit 1981 staat hierover: 'Het blijkt dat nu (1981) op vele plaatsen ontwikkelingen gaande zijn (dichte begroeiingen, clandestiene ophogingen, dichtslibbende kleigaten) die ten opzichte van de situatie in 1960 de hydraulische weerstand hebben doen oplopen'.

Rijntak	zomerbed		uiterwaarden			dijken
	lengte (km)	breedte (m) *	aantal	breedte (m)	opp. (ha)	lengte (km) **
Boven-Rijn	11	330 / 440	4	850	1100	25
Waal tot Gorinchem	91	260 / 370	43	550	8700	190
Pannerdensch Kanaal	11	140 / 200	9	400	1300	30
Neder-Rijn/Lek tot Schoonhoven	89	130 / 200	48	400	6600	180
IJssel tot Keteldiep	119	100 / 120	59	500	10500	240
totaal	307		163		28200	665

*) respectievelijk tussen de normaal- en oeverlijnen; het verschil betreft de diepte van de beide kribvakken
 **) rechter- en linkeroever samen

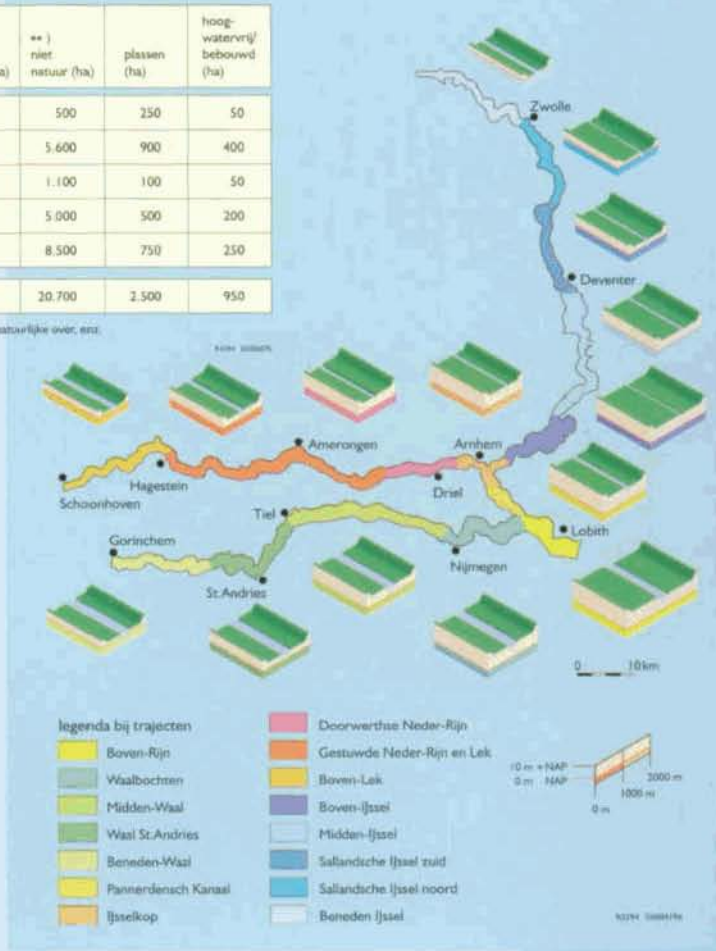
Kenmerken van de Rijntakken

Rijntak	*) natuur (ha)	**) riet- natuur (ha)	plassen (ha)	hoog- water vrij/ bebouwd (ha)
Boven-Rijn	300	500	250	50
Waal tot Gorinchem	1.800	5.600	900	400
Pannerdensch Kanaal	50	1.100	100	50
Neder-Rijn/Lek tot Schoonhoven	900	5.000	500	200
IJssel tot Keteldiep	1.000	8.500	750	250
totaal	4.050	20.700	2.500	950

*) natuurlijk uiterwaardgrasland, bos, ruigte, struweel, natuurlijke oever, enz.
 **) productiegrasland, akker, enz.



Meten van zandtransport in de rivier



Schematische dwarsprofielen van RvR-trajecten



Zandtransportmeter

Aanvoer van water door de Rijn

We beschikken sinds het jaar 1901 over afvoergegevens bij Lobith. De hoogste afvoer, 12.600 m³/s, dateert van januari 1926, op de voet gevolgd door het hoogwater van januari 1995 toen 12.060 m³/s werd gemeten. Bij het hoogwater van 1993 kwam tijdens de piek 11.100 m³/s ons land binnen.

Dankzij de voeding door smeltwater vanuit de Alpen, de toestroming door grondwater en de levering door meren en reservoirs, is de Rijn ook in perioden van langdurige droogte van een bepaalde afvoer verzekerd. In november 1947 werd een dieptepunt bereikt: 620 m³/s bij Lobith. Deze afvoer is dus zo'n 20 maal kleiner dan de hoogst gemeten afvoer. De Maas, een echte regenrivier, is veel wisselvalliger qua afvoerbereik. Het verschil tussen minimum- en maximumafvoer bedraagt hier ongeveer een factor 150.

Gemiddeld over de periode 1901-2000 stroomt 2.220 m³/s Rijnwater ons land binnen. Per jaar kan het gemiddelde sterk variëren: van 1095 m³/s in 1921 tot 3150 m³/s in 1965. De mediane afvoer, dit is de afvoer die in de helft van de tijd wordt onder- of overschreden ligt beduidend lager dan het gemiddelde: 1.990 m³/s over de periode 1901-2000. Ook hier zien we forse verschillen tussen de jaren onderling: 970 m³/s in 1921 en 3046 m³/s in 1965.

Aanvoer van zand en slib door de Rijn

De hoeveelheid zand en slib die de Rijn met zich mee kan voeren hangt af van de stroomsnelheid en dus de afvoer, maar ook van de beschikbaarheid van dat materiaal. Het grove materiaal, het zand, is afkomstig uit de rivierbedding in het stroomgebied en is daar volop aanwezig. Het fijnere materiaal, het slib, komt vooral door oppervlakkige afvoer van neerslag in heuvel- en berggebieden via de zijrivieren in de Rijn terecht. Verder vormen in stedelijke gebieden rioleringsystemen een belangrijke bron.

Hoe groter de stroomsnelheid, hoe groter de kracht die het water op de bodemdeeltjes uitoefent. Eerst komt het slib in beweging, uiteindelijk zelfs grind dat overigens maar in zeer beperkte hoeveelheden in het sedimenttransport van de Rijn in Nederland te vinden is. Grindbodems treffen we vooral in de Duitse Rijn aan. Zandkorrels rollen en schuiven bij een bepaalde stroomsnelheid over de bodem van de rivier. Bij stijgende stroomsnelheden komen ze even los van de bodem om verderop, meegesleurd door de stroom, weer terug te vallen. Lichte zandkorrels worden zelfs zwevend, in suspensie, met de rivier meegevoerd. De fijne slibdeeltjes worden altijd in suspensie getransporteerd. Het rivierwater krijgt hierdoor een bruine kleur. Vooral bij een hoogwater na een lange periode van lage afvoeren is dit goed te zien: het stroomgebied wordt als het ware schoongespoeld. Een vergelijkbaar hoogwater kort daarna bevat aanzienlijk minder slib.

Gemiddeld komt per jaar ruim 500.000 m³ zand bij Lobith ons land binnen, in gewicht uitgedrukt is dit 900.000 ton. Nog sterker dan bij de afvoer zijn er grote variaties over de jaren heen maar ook binnen een jaar. Bij lage afvoeren wordt praktisch geen zand getransporteerd, bij een enkel hoogwater zoals dat van januari 1995 is 200.000 m³ zand door de Rijn aangevoerd.

Voor slib geldt in grote lijnen hetzelfde. Gemiddeld zit ongeveer 40 mg/l slib in het Rijnwater, met als uitersten 2 mg/l bij laagwater en 300 mg/l bij hoogwater. De gemiddelde jaarvracht bij Lobith bedraagt 2,5 miljoen ton. De hoeveelheden zand en slib zijn relatief klein ten opzichte van de hoeveelheid water, maar zoals hierboven al toegelicht vooral voor de lange-termijnontwikkeling van de Rijntakken van grote betekenis.

Lotgevallen van zand en slib

Vanaf Lobith in de richting van de Noordzee wordt de bodemhelling van de Rijn steeds kleiner. De stroomsnelheden nemen hierdoor af. Dit betekent dat de bodem met steeds fijner materiaal wordt afgedekt. In het studiegebied vinden we door de relatief hoge snelheden uitsluitend zandige bodems behalve in aangetakte havens en plassen waar sedimentatie van slib plaatsvindt. Het merendeel van het zand slaat ook binnen het studiegebied neer, vooral op de Waal benedenstrooms van Zaltbommel. Deze Rijntak krijgt het meeste water en dus ook het meeste zand te verwerken. In de IJsseldelta bereikt het water pas vanaf Kampen, vooral in het Katten- en Keteldiep, een dermate lage stroomsnelheid dat het zand hier tot rust komt.



Zandafzetting op de oever, slobbezinking achter de zomerkaden.



Stuw bij Driel



Stuw bij Amerongen



Stuw bij Hagestein



Stuw bij Amerongen

Benedenstrooms van het studiegebied heeft het slib door de afnemende stroomsnelheden steeds meer moeite om in suspensie te blijven. Eén derde deel van het slib dat bij Lobith wordt aangevoerd bereikt het uiteindelijk de Noordzee. De rest sedimenteert, vooral in het Ketelmeer en het Hollands Diep/Haringvliet.

Als bij hoogwaters de uiterwaarden overstromen wordt een deel van het slib in het bovenrivieren-gebied afgevangen: gemiddeld op jaarbasis ongeveer 10 % van de hoeveelheid die bij Lobith ons land binnenkomt. In uiterwaarden is de stroomsnelheid van het water veel kleiner dan in het zomerbed waardoor slibdeeltjes sneller bezinken. In het algemeen overstromen de uiterwaarden langs de Waal het vaakst, langs de Neder-Rijn en Lek het minst frequent. Dit hangt samen met de hoogteligging van de uiterwaarden en het voorkomen van zomerkades. Vooral het laatste blijkt een belangrijke rol te spelen. Door de afwezigheid van zomerkades kan de sedimentatie wel een factor 3 hoger liggen. Door verschillen in overstromingskarakteristiek wordt in de uiterwaarden langs de Waal de grootste sedimentatie van slib gevonden: op jaarbasis gemiddeld bijna 3 mm per jaar. Langs de Neder-Rijn en Lek wordt gemiddeld het minste slib afgezet: bijna 0,5 mm per jaar. Gemiddeld over alle uiterwaarden van de Rijntakken bedraagt de slibsedimentatie ruim één mm per jaar.

Bij extreme hoogwaters zoals in 1995 wordt niet alleen slib maar ook zand in de uiterwaarden afgezet. We zien dit weer vooral op plaatsen waar zomerkades ontbreken. Na afloop van het hoogwater bleek ruim 300.000 m³ zand op de oevers van de uiterwaarden, vooral langs de Waal, achtergebleven te zijn. Dat is zo'n 50 % meer dan de hoeveelheid die tijdens dat hoogwater ons land is binnengekomen. Dit geeft aan dat ook zand uit het zomerbed op de oevers en in de uiterwaarden terecht is gekomen.

Verdeling van afvoer over de Rijntakken

We maken onderscheid tussen de verdeling bij lage en hoge afvoeren. Bij hoge afvoeren stroomt grofweg 65 % van de water via de Waal. De Neder-Rijn en de IJssel nemen respectievelijk 20 en 15 % voor hun rekening. Vooral het verschil in grootte van het rivierbed van de verschillende Rijntakken bepaalt deze verdeling. Kunstwerken komen er niet aan niet te pas. Dit in tegenstelling tot bij lage afvoeren waarbij de drie stuwen op de Neder-Rijn en Lek, in het bijzonder de eerste bij Driel, een belangrijke rol spelen. Zonder deze stuwen zou de IJssel maar een beperkte hoeveelheid water aangeboden krijgen. De scheepvaart op de IJssel maar ook de watervoorziening rondom het IJsselmeer komen dan in de knel. Daarom zijn, na een periode waarin men met deze problemen werd geconfronteerd, in de jaren 1954 tot 1971 drie stuwen gebouwd.

Bij afvoeren van ongeveer 1400 m³/s bij Lobith zijn de stuwen op de Neder-Rijn en Lek gesloten ten gunste van de afvoer over IJssel en Waal. Scheepvaart en watervoorziening rondom het IJsselmeer profiteren hiervan. De Neder-Rijn en Lek behouden een minimumafvoer van 25 m³/s ter compensatie van schutverliezen in de sluizen, voor de watervoorziening van het omliggende gebied en voor verziltingsbestrijding in het benedenrivierengebied. De IJssel krijgt ongeveer 285 m³/s. De Waal, de grootste van de Rijntakken, krijgt de rest. Bij lagere afvoeren krijgen Waal en IJssel beide minder water toebedeeld. Bij afvoeren tussen 1400 en 2400 m³/s worden de stuwen geleidelijk geopend en neemt de afvoer over de Neder-Rijn toe. Bij nog hogere afvoeren zijn de stuwen volledig geopend en bepalen de Rijntakken zelf de verdeling van het Rijnwater.

Verdeling van de afvoer over het zomerbed en de uiterwaarden

Bepalende factoren zijn de breedteverhouding tussen zomerbed en uiterwaarden, de hoogteligging van de uiterwaarden ten opzichte van het zomerbed, het voorkomen van zomerkades en het patroon van de dijken. Verder speelt natuurlijk de hoogte van de afvoer een rol. Het algemene beeld is dat bij een regelmatig terugkerend hoogwater van 8000 m³/s bij Lobith het merendeel van de afvoer via het zomerbed stroomt: ongeveer 80 %. Op de IJssel ligt dit percentage wat lager. Bij de huidige maatgevende afvoer van 15.000 m³/s nemen op de Neder-Rijn en IJssel zomerbed en uiterwaarden beiden ongeveer de helft van de afvoer voor hun rekening, het zomerbed van de Waal zo'n 60 %. Verder geldt voor de benedenstroomse trajecten van alle Rijntakken dat richting



Stromingsbeeld in het rivierbed; drijvende kracht voor plaatselijke uitschuring en aanzanding van het zomerbed



Stroomvoerend en stroombergend

Bij hoogwater is praktisch het hele rivierbed stroomvoerend. Vooral achter hoogwatervrije terreinen en inscharende dijken staat het water praktisch stil. Hier vindt alleen berging plaats.



Zandafzetting

Wanneer het hoogwater zich heeft teruggetrokken, worden morfologische verschijnselen pas goed zichtbaar. Hier, langs de IJssel, heeft het water tijdens de afvoerpiek in januari 1995 de kortste weg proberen te vinden en de bocht afgesneden. Het zand heeft de overtocht via de uiterwaard niet kunnen maken en is tot bezinking gekomen.



Zandafzetting

Bij Ewijk langs de Waal stroomde het water tijdens de afvoerpiek van december 1993 met hoge stroomsnelheden de onbekende uiterwaard in. Het meegevoerde zand bleef achter.

zee en IJsselmeer de breedte van het zomerbed toe- en van de uiterwaarden afneemt. Het zomerbed krijgt hierdoor verhoudingsgewijs steeds meer water te verwerken. De genoemde percentages voor het zomerbed zijn inclusief het aandeel van de afvoer dat door de kribvakken stroomt. Dit aandeel bedraagt op de Waal en Neder-Rijn ongeveer 5 % en op de IJssel met zijn relatief korte kribben ongeveer 3 % van de totale afvoer door het rivierbed.

Zoals gezegd, dat is het algemene beeld. Lokaal kan het er heel anders uitzien. Op plaatsen langs het zomerbed waar zomerkades lager liggen of ontbreken krijgt het water bij hoge afvoeren de kans de uiterwaarden in te schieten. Bij extreem hoge afvoeren wordt door het grillige dijkenpatroon de stroom op sommige plaatsen in het zomerbed geperst om verderop weer meer ruimte te krijgen. Op sommige trajecten van de IJssel hebben we met een zeer bochtig zomerbed te maken. Bij hoge afvoeren zoekt het water de kortste weg en snijdt daarbij de bochten door de uiterwaarden af. Dergelijke plotselinge wisselingen in de afvoerverdeling tussen zomerbed en uiterwaarden leiden overigens tot sterk variërende stroomsnelheden in het zomerbed die op hun beurt aanzandingen en uitschuringen van de bodem kunnen veroorzaken. Bij lage afvoeren kan de scheepvaart hier hinder van ondervinden. Daarom worden lokale verstoringen van de afvoerverdeling tussen zomerbed en uiterwaarden door de waterbeheerder zo veel mogelijk voorkomen.

Stroombeeld in uiterwaarden

In de uiterwaarden wordt bij hoogwater een gevarieerd stromingspatroon aangetroffen: van stilstaand tot snel stromend water. Het grootste deel in de uiterwaarden stroomt mee. Dat moet ook wel want hiervoor is duidelijk geworden dat de uiterwaarden een behoorlijke bijdrage leveren aan de afvoer van hoogwaters. Het deel van de uiterwaard dat meestroomt bij een extreem hoogwater noemen we het stroomvoerend deel, het deel waar het water praktisch stilstaat het stroombergend deel. Stroombergende delen vinden we bijvoorbeeld achter hoogwatervrije terreinen en inscharende dijken. Ongeveer 10 % van de oppervlakte uiterwaarden langs de Rijntakken kan worden aangemerkt als stroombergend.

Dat stroombergende delen in een uiterwaard niet deelnemen aan de afvoer van een extreem hoogwater betekent niet dat deze delen nutteloos zijn. Integendeel, ze leveren een bijdrage aan het afvlakken van een hoogwatergolf, de zogenaamde topvervlakking. Bij het stromen van een hoogwatergolf door het rivierbed worden de stroombergende delen van de uiterwaard langzaam met water gevuld waardoor benedenstrooms de golf minder water bevat en dus lagere waterstanden teweeg brengt. Bovendien wordt de loopsnelheid van de golf afgeremd. Het onttrekken van stroombergende delen aan de uiterwaarden heeft tot gevolg dat een hoogwatergolf spitsier en sneller door het rivierbed stroomt. Van het afvlakken van de golf is dan niet of nauwelijks meer sprake waardoor de afvoer en dus ook de waterstanden in benedenstroomse richting hoger worden.



Het stroomgebied van de Rijn

Korte beschrijving

Het stroomgebied van de Rijn beslaat een oppervlakte van 185.000 km² en strekt zich uit over negen landen. Slechts een beperkt deel hiervan, 20.000 km², is in Nederland gelegen. De lengte van de Rijn, van bron tot uitmonding in de Noordzee, bedraagt 1320 km. Daarbij wordt een hoogteverschil van ruim 2000 m overbrugd. De Rijn stroomt door vier landen: Zwitserland, Frankrijk, Duitsland en Nederland. Tussen Lobith en de Noordzee legt de Rijn een afstand van 170 km af. Op de top tien van Europese rivieren, als het gaat om rivierlengte en oppervlakte van het stroomgebied, neemt de Rijn een vierde plaats in, na rivieren als de Wolga en Donau. De Rijn is de drukst bevaren rivier van Europa.

De Rijn kan op basis van landschap en verhang worden verdeeld in zes trajecten. We beginnen met de Alpenrhein tussen Chur en Bodensee waarop de belangrijkste bronrivieren van de Rijn afwateren. Op de Hoehrhein tot aan Rheinfelden bij Basel voegt zich de eerste grote zijrivier bij de Rijn, de Aare, die voor een groot deel de waterafvoer verzorgt van de noordwestelijke Alpen. Het volgende traject loopt in noordelijke richting tot aan Bingen, even benedenstrooms van de uitmonding van de Main. De Oberrhein stroomt hier door de Bovenrijnse Laagvlakte met de Vogezen in het westen en het Zwarte Woud in het oosten. Bij Mannheim voegt de Neckar zich bij de Rijn. Vanaf Bingen, waar een forse bocht wordt gemaakt om het Taunusgebergte, vervolgt de Rijn zijn weg door het leisteenplateau van Rijnland-Palts waarin de rivier zich in de loop van de tijd heeft ingesneden. De Rijn wordt hier Mittlerrhein genoemd. Belangrijke zijrivieren zijn de Moezel en Lahn die bij Koblenz uitmonden. Vanaf Keulen tot aan de Nederlandse grens doorstroomt de Rijn, hier de Nederrijn genoemd, de Nederduitse laagvlakte. Onder andere de Ruhr en Lippe stromen hier met de Rijn samen. Na het passeren van Lobith zijn we tenslotte in het laatste Rijntraject, de Deltarijn, aangeland.

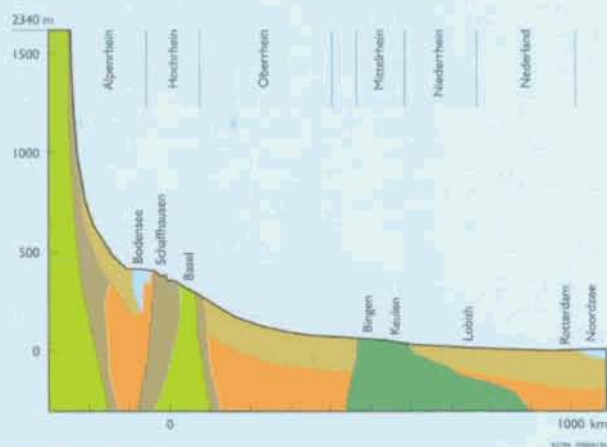
In het stroomgebied wordt op veel fronten door de Rijnsoeverstaten samengewerkt. Voor wat betreft de scheepvaart is dat al lange tijd het geval. Vooral de Akte van Mannheim van 1868, die vrije scheepvaart op de Rijn garandeerde, is een belangrijke mijlpaal. Vooral na de Sandoz-ramp in 1986 werd hieraan de bescherming tegen verontreinigingen toegevoegd. De hoogwaters van 1993 en 1995 waren aanleiding ook op het gebied van de bescherming tegen overstromingen de krachten te bundelen.

Veranderingen in het verleden

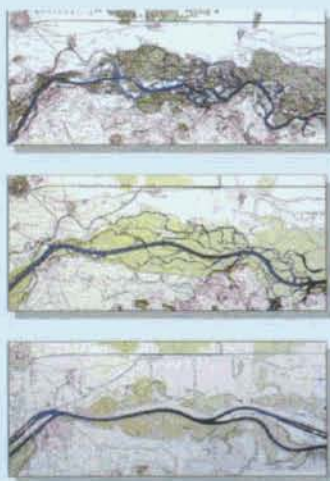
De veranderingen die de Rijn buiten onze landsgrens heeft doorgemaakt zijn in grote lijnen vergelijkbaar met die in Nederland: dijken zijn aangelegd, vlechtende geulen zijn in een enkele hoofdgeul samengevoegd, bochten zijn afgesneden en stuwen gebouwd. Een belangrijke verandering in Zwitserland betreft de Jura-correctie (1878 - 1890) waarbij de Aare naar de Bielersee werd omgelegd om hoogwatergolven af te toppen. Nadien, tussen 1898 en 1967, zijn op de Hoehrhein in totaal 11 stuwen met waterkrachtcentrales voor de opwekking van elektriciteit gebouwd. Dit Rijntraject bestaat nu uit een aaneenschakeling van meren. Watervallen en stroomversnellingen zijn praktisch volledig verdwenen. De centrales vormen een onneembare hindernis voor stroomopwaarts trekkende vissen zoals de zalm.

Tot de verbeelding spreekt de regulatie van de Oberrhein in Duitsland tussen Basel en Mannheim die volgens de plannen van Johann Gottfried Tulla tussen 1817 en 1890 is uitgevoerd. De ongetemde stroom van de Rijn werd met kribben en geleidingsdammen in een vast bed gedwongen, dijken werden aangelegd waardoor grond voor bebouwing en landbouw vrijkwam. Het oorspronkelijk overstromingsgebied langs de Oberrhein met een oppervlak van 1.400 km² nam met meer dan de helft af. Tussen Basel en Worms werd de rivierlengte van 354 naar 273 km teruggebracht. Vooral de hoogwaterbescherming maar ook de scheepvaart hadden hier baat bij. Als gevolg van deze regulatiewerken zijn grote morfologische veranderingen opgetreden, de rivier heeft zich sindsdien vele meters in het zomerbed ingegraven met uitschieters tot wel 7 m.

In 1928 begon de Oberrheinkanalisation met de bouw van stuwen gecombineerd met waterkrachtcentrales en de aanleg van dijken dicht op het rivierbed. In het zuidelijk deel werden vier stuwcomplexen aangelegd in het Rheinseitenkanal, een kanaal over een afstand van ongeveer 50 km



Rijn in langsdoorsnede



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 overstromingsvlakte 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.



parallel aan de Rijn. De 'oude' Rijn kreeg hierdoor nog nauwelijks water aangeboden. Reden om verder benedenstrooms tot aan Straatsburg de stuwen (totaal vier) in korte kanaallussen onder te brengen. De kanalisatie van de Oberrhein werd in 1977 afgerond met nog eens twee stuwcomplexen in het rivierbed zelf. De meest benedenstroomse ligt bij Iffezheim. De Oberrheinkanalisatie tussen Basel en Iffezheim heeft tot een verlies van ongeveer 130 km² overstromingsgebied geleid, dat is 60 % van het oppervlak dat voor de kanalisatie beschikbaar was. Hoogwaters stromen daardoor sneller door dit traject van de Rijn en lopen steller op. De kans op samenvallen met afvoertoppen van benedenstroomse zijrivieren is vergroot. Het verhogend effect van de Oberrheinkanalisatie op hoogwaters wordt ter hoogte van Worms geschat op 700 m³/s. Deze verhoging werkt door tot Lobith. Om dit teniet te doen worden, conform het Duits-Franse verdrag van december 1982, retentiemaatregelen in en langs de Oberrhein uitgevoerd. Gepland is een retentievolumen van bijna 290 miljoen m³, inmiddels is ongeveer 80 miljoen m³ gerealiseerd.

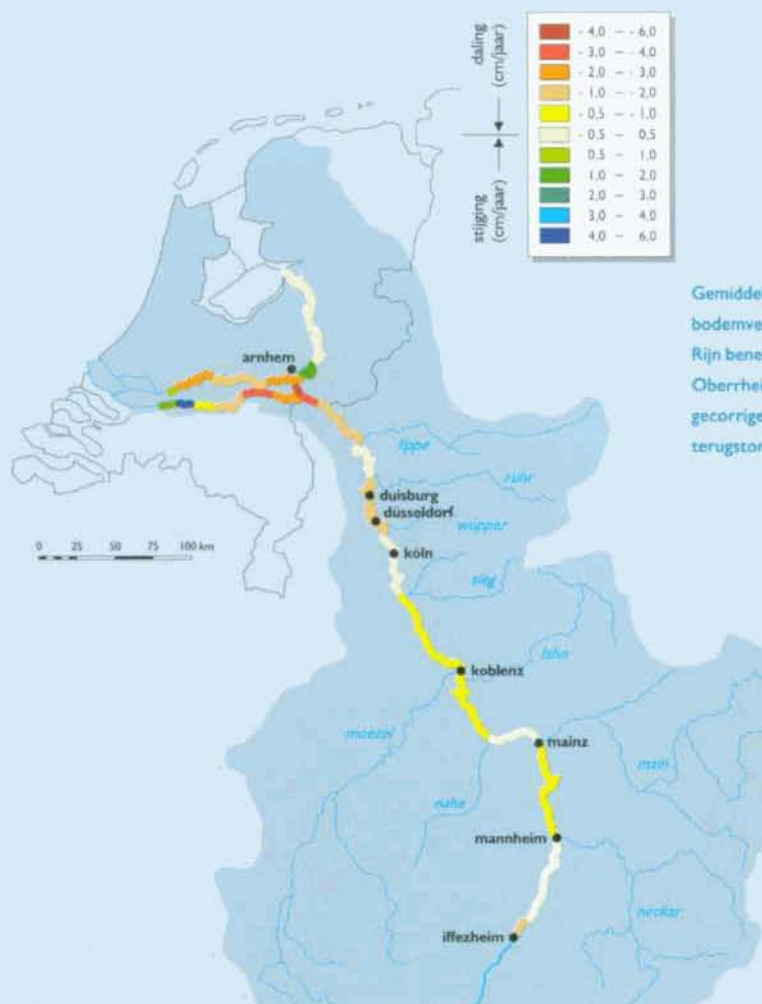
De Midderrhein doorstroomt een smal dal en heeft daardoor, in tegenstelling tot de Oberrhein, van nature een stroombed dat nauwelijks van plaats verandert en weinig grote bochten kent. Slechts op enkele plaatsen zijn maatregelen voor de verbetering van het scheepvaartverkeer genomen. Wel zijn op grote schaal oevers richting rivier verlegd om bebouwing mogelijk te maken.

De Niederrhein was oorspronkelijk een rivier met eilanden en zich regelmatig verleggende meanders. In de periode 1851 - 1990 is de rivier vergaand met kribben en geleidingsdammen vastgelegd en zijn bochten afgesneden. Bovendien zijn dijken aangelegd waardoor het overstromingsgebied beduidend kleiner is geworden. Een opvallend fenomeen op de Niederrhein is de opgetreden daling van de zomerbedbodem. De oorzaak hiervan ligt niet alleen in de uitgevoerde normalisatiewerken en het onttrekken van zand en grind uit het zomerbed maar ook in mijnzakkingen. Sinds het midden van de 20e eeuw wordt in de omgeving van Duisburg op een diepte van 700 tot 1200 m ook onder de Niederrhein steenkool gewonnen. De holle ruimtes die hierdoor ontstaan zakken naar verloop van tijd in waardoor ook het aardoppervlak boven de mijnen daalt. Plaatselijk is de bodem van de rivier hierdoor tijdelijk wel 8 m lager komen te liggen. Sinds 1976 is de mijnbouw verplicht optredende bodemdalingen van de rivier weer te compenseren door het storten van grind. Ook kribben en zelfs uiterwaarden worden van tijd tot opgehoogd. Zand en grind worden sinds enige tijd niet meer uit het zomerbed gewonnen, terwijl het sediment dat vrijkomt bij het baggerwerk voor de scheepvaart elders wordt teruggestort.

Tot slot de zijrivieren van de Rijn. Ook deze zijn op grote schaal gereguleerd en gekanaliseerd. Naast (beweegbare) stuwen vinden we nogal wat stuwdammen, al of niet in combinatie met waterkrachtcentrales. Veel stuwmeren doen dienst als leverancier van drink- en industriewater.

Autonome veranderingen in de toekomst

Een in het oog springend proces is de voortdurende erosie en daardoor daling van de bodem van de rivier. Deze ontwikkeling is al decennia merkbaar op de Rijn en zal, als geen tegenmaatregelen worden genomen, nog in lengte van dagen door blijven gaan. Daling van de rivierbodem en daarmee ook van de laagwaterstanden kan (op termijn) veel problemen opleveren. Ondieptes in de rivier en sluisdrempels vormen obstakels waardoor schepen minder diep afgeladen kunnen worden. Ook in havens langs de rivier zakken de waterstanden waardoor deze minder toegankelijk worden. De stabiliteit van kribben komt in gevaar. In de uiterwaarden langs de rivier waar nu juist geprobeerd wordt de natuur te herstellen treedt verdroging op omdat lagere waterstanden in de rivier tot lagere grondwaterstanden leiden. Ook verder landinwaarts kan naar verloop van tijd verdroging gaan optreden. Het zomerbed krijgt bij wat hogere afvoeren steeds meer water te verwerken waardoor afvoergolven sneller gaan lopen en benedenstrooms hogere waterstanden veroorzaken. Bovendien overstromen de uiterwaarden minder vaak wat het ecologisch herstel van uiterwaarden weer in de weg kan staan. Tot slot kan erosie van de veelal grindige (Pleistocene) rivierbodem tot gevolg hebben dat op een gegeven moment onderliggende fijne (Tertiaire) zanden worden aangesneden. Het stromend water krijgt dan nog meer grip op het bodemmateriaal, het erosie-proces wordt versterkt waardoor de bodem sneller daalt.



Gemiddelde jaarlijkse bodemverandering (indicatief) van de Rijn benedenstrooms de gestuwde Oberrhein in de periode 1980-1989, gecorrigeerd voor baggerwerk en terugstorten van sediment



Terugstorten van sediment benedenstrooms van de laatste stuw op de Oberrhein bij Iffezheim



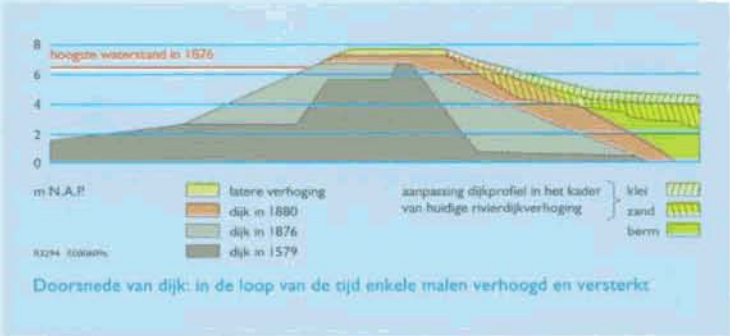
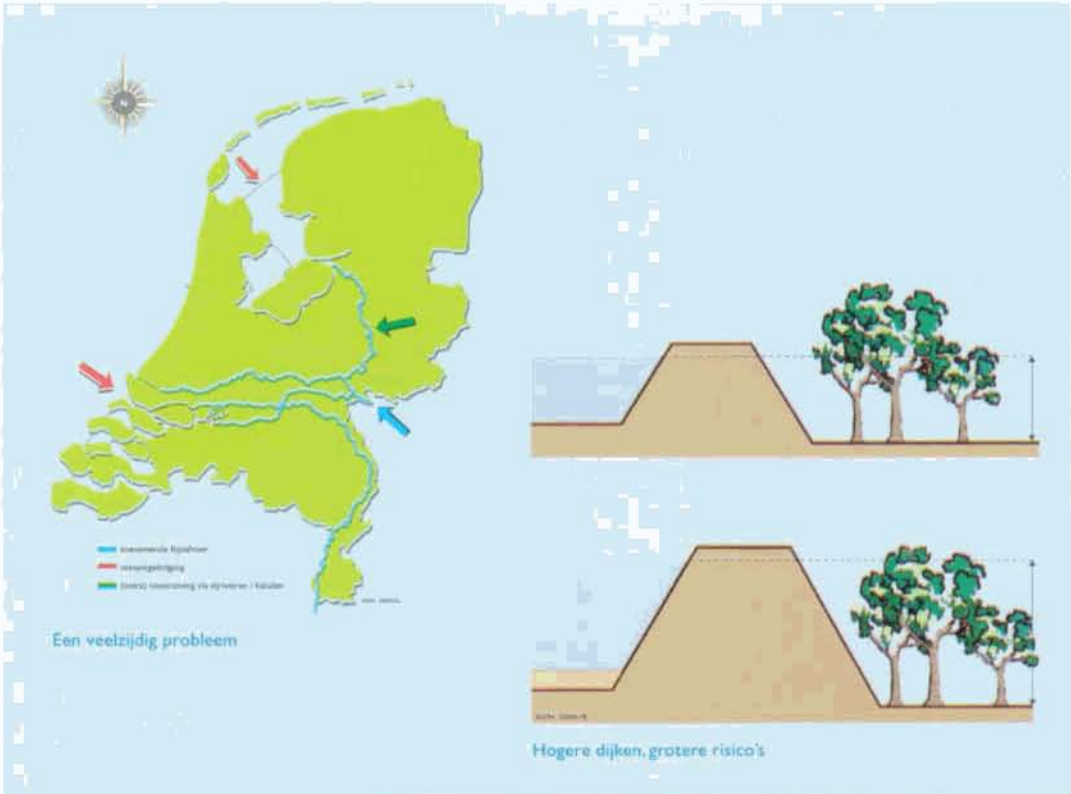
Mittelrhein

Met deze problemen wordt men in Duitsland nu al in meer of mindere mate geconfronteerd. De daling van de rivierbodem varieert nogal per riviertraject. Op de noordelijke Oberrhein en Mittelrhein bedraagt de erosiesnelheid over grote lengtes 0,5 à 1 cm per jaar, op de Niederrhein 1 à 2 cm per jaar met uitschieters tot wel 5 cm per jaar die gedurende enige tijd in de omgeving van Rees zijn opgetreden en die samenhangen met baggerwerk op de Boven-Rijn in Nederland. De erosiesnelheid die van nature bij een relatief jonge rivier als de Rijn hoort wordt op nog geen mm per jaar geschat. De versterkte daling van de rivierbodem is het gevolg van een complex samenspel van factoren: uitgevoerde normalisatiewerken waardoor de rivier in een vast en smal bed is geperst, zand- en grindwinning in het zomerbed, baggeren van ondieptes voor de scheepvaart. Verder lijkt het erop dat de stuwen en stuwdammen die in het verleden op grote schaal in de zijrivieren van de Rijn zijn aangelegd, hun invloed op de zand- en grindhuishouding doen gelden. Deze werken vormen een onneembare barrière voor het grove bodemmateriaal waardoor nog alleen fijnere zanden aan de Rijn worden toegeleverd. Dit is bijvoorbeeld op de Moezel geconstateerd. Benedenstrooms van Koblenz waar de Moezel in de Rijn uitmondt, compenseert de Rijn het ontbreken van grof sediment in zijn transport door dit materiaal uit de bodem op te nemen. De bodem daalt hierdoor, waarbij na verloop van tijd alleen grof grind en keien op de bodem achterblijven. Zo ontstaat een zogenaamde afgepleisterde rivierbodem waaruit de rivier niet meer in staat is sediment op te nemen. Het proces verplaatst zich hierdoor verder in benedenstroomse richting.

Op de gestuwde zuidelijke Oberrhein is na de kanalisatie het erosieproces min of meer tot stilstand gebracht. Een ongewenst neveneffect is echter, net zoals op de zijrivieren, dat bodemmateriaal de stuwen niet kan passeren waardoor benedenstrooms van de laatste stuw bij Iffezheim de Rijn 'ondergedoseerd' zijn weg moet vervolgen. De rivier neemt vervolgens bodemmateriaal op waardoor de rivierbodem steeds lager komt te liggen. In een poging het evenwicht tussen het transport van water en sediment te herstellen wordt sinds 1978 jaarlijks 170.000 m³ grind per jaar aan de Rijn benedenstrooms van Iffezheim '(terug)gegeven'. Het grind wordt vanuit groeven in de omgeving aangevoerd. De poging lijkt succes te hebben; de rivierbodem stabiliseert alhoewel verder benedenstrooms, op de noordelijke Oberrhein, de uitschuring voortgaat. Sinds 1991 wordt daarom in plaats van grind een mengsel van zand en grind aan de Rijn bij Iffezheim toegevoegd. De Rijn is in staat dit lichtere mengsel verder stroomafwaarts te transporteren. De periode tot nu toe is te kort om al conclusies over het welslagen te kunnen trekken.

Een vergelijkbare activiteit om de natuurlijke morfologie van de Rijn zo veel mogelijk te herstellen zien we dicht bij Mainz waar de Mittelrhein in een vaste, rotsachtige bedding een scherpe bocht naar het westen maakt om kort daarna weer naar het noorden af te buigen. Bovenstrooms van deze bocht is de rivierbodem niet zo steil en nemen de stroomsnelheden af waardoor aanzandingen plaatsvinden. In het verleden werd dit zand omwille van de scheepvaart uit de rivier gebaggerd. Het gevolg hiervan was dat benedenstrooms van de bocht de Rijn zijn sedimenttekort aanvulde met zand uit de bedding, wat weer leidde tot daling van de rivierbodem. Nu wordt het gebaggerde zand aangevoerd in schepen en na de bocht weer aan de rivier teruggegeven.

Onlangs is na een uitvoerige studie van de bodemontwikkeling een plan ontvouwd om de morfologie van de Rijn in Duitsland duurzaam te herstellen. Verwacht wordt dat door jaarlijks op verschillende plaatsen totaal ongeveer 500.000 m³ zand en grind aan de rivier toe te voegen, de bodemdaling een halt kan worden toegeroepen. Een belangrijk deel hiervan, 170.000 m³ per jaar, wordt nu al benedenstrooms van de stuw bij Iffezheim in de Rijn gestort. Aanvullende maatregelen betreffen onder meer het vastleggen van de bodem op die plaatsen waar zich dicht onder het oppervlak fijne, makkelijk erodeerbare zanden bevinden en het verlagen van kribben. Verder behoort het winnen van zand en grind uit de hoofdgeul van de rivier voor commerciële doeleinden definitief tot het verleden. Voorwaarde voor succes is dat het plan in samenhang en in zijn totaliteit wordt uitgevoerd. Het plan is ook voor Nederland van betekenis. Morfologische processen verlopen traag maar kunnen op termijn verstrekkende gevolgen hebben. Aan landsgrenzen stoort de rivier zich daarbij niet. Langzamerhand wordt dan ook duidelijk dat behalve de waterkwaliteit, ecologie en hoogwaterbescherming ook de morfologie in het stroomgebied van de Rijn om een internationale aanpak vraagt.



Autonome ontwikkeling van rivieren in het begin van de 19^e eeuw

'wanneer men hierbij bedenke dat de winterwateren altoos die stoffen (bedoeld is: zand, slib, bladeren, etc.) zullen blijven aanvoeren en dan door die verhogingen op den duur bij ons zullen continueeren, zoo moeten de hairen te bergen rijzen bij de overweging over het toekomstig lot van het land dat wij nog bewonen, dat onze binnendijkse landen in het vervolg van tijden, zeeën van water en de plaatsen die thans bij ons rivieren zijn, de alleen bewoonbare landen zullen worden...'

E.C. Luitjes kort na de watersnood in 1809 (De waterplaat, 1987)



Recente dijkverbetering

Aanpak van het probleem

Voor we met de aanpak van het probleem beginnen, kan het probleem nog eens kernachtig worden neergezet?

Door de recente hoogwaters zal op de korte termijn de maatgevende afvoer van de Rijn toenemen, van 15.000 naar 16.000 m³/s bij Lobith. Als we niets doen aan de beschikbare ruimte van de Rijntakken zal dit leiden tot 20 à 30 cm hogere waterstanden, waardoor hogere dijken nodig zijn om de veiligheid tegen overstroming op het huidige niveau te handhaven. Hoe hoger de waterstand in de rivier, des te groter de gevolgen voor het bewoonde gebied als het toch tot een overstroming komt. Op de lange termijn kunnen de waterstanden nog hoger worden omdat door klimaatverandering de Rijnafvoer mogelijk nog verder toeneemt. Bij 18.000 m³/s resulteren 50 à 90 cm hogere waterstanden.

Verder speelt vooral langs de IJssel dat, zonder tegenmaatregelen in het landelijk gebied, de toestrooming via beken en kanalen lijkt toe te nemen. In de overgangsgebieden met de benedenrivieren en het IJsselmeer zal op de lange termijn, als geen tegenmaatregelen worden genomen, het effect van zeespiegelrijzing op de hoogwaterstanden merkbaar worden.

Nog één vraag voor we over oplossingen beginnen. Is er een samenhang tussen het probleem en de autonome ontwikkeling zoals die hiervoor is geschetst?

Ja zeker. Het is altijd verstandig om wanneer een oplossing voor een probleem op de korte termijn wordt gezocht hierbij ook voorzienbare problemen en kansen te betrekken. Autonome, vooral morfologische, processen voltrekken zich langzaam maar zijn tevens moeilijk bij te sturen. Kort samengevat en in grote lijnen, komt de autonome ontwikkeling van het rivierengebied op het volgende neer:

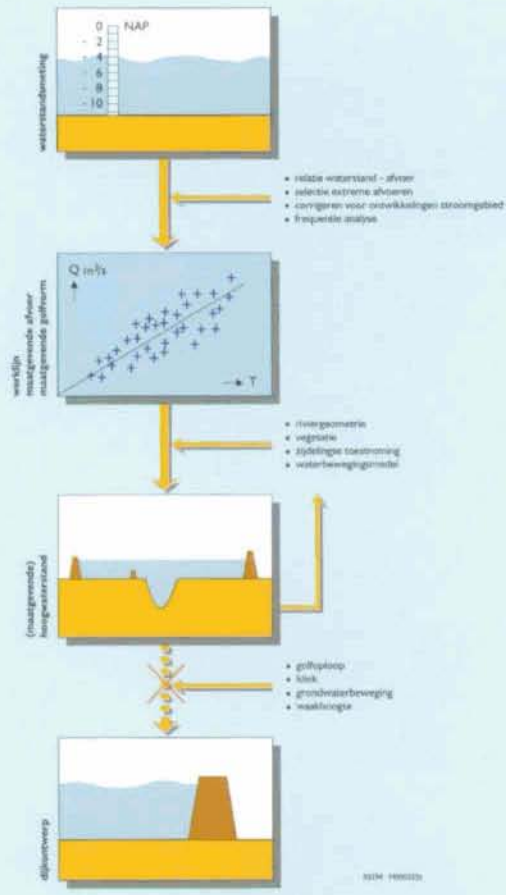
- Uitschuring van de bodem van het zomerbed in de bovenstroomse trajecten van de Rijntakken.
- Aanzanding van de bodem van het zomerbed in de benedenstroomse trajecten van de Rijntakken.
- Opslibbing van de uiterwaarden
- Daling van de bodem in het binnendijkse gebied door klink en oxydatie van de klei- en veenondergrond in vooral het westelijk deel van het bovenrivierengebied.

In relatie tot de hoogwaterbescherming is de toekomstige ontwikkeling van het doorstroomprofiel van de rivier van belang. In de bovenstroomse trajecten van de Rijntakken leiden de genoemde processen ertoe dat de uiterwaarden ten opzichte van het zomerbed steeds hoger komen te liggen. Netto neemt het doorstroomprofiel langzaam toe waardoor de hoogwaterstanden dalen. De mate waarin de daling van de zomerbedbodem zich in de toekomst doorzet is echter onzeker. Bovendien worden in het stroomgebied van de Rijn allerlei maatregelen genomen of overwogen om te proberen de bodemdaling tot stilstand te brengen.

In de benedenstroomse trajecten van de Rijntakken overheerst de aanzanding van het zomerbed, zij het dat hier op gezette tijden, voor de scheepvaart maar ook voor de hoogwaterbescherming, gebaggerd wordt. De uiterwaarden blijven echter opslibben terwijl het binnendijkse gebied daalt waardoor bij hoge afvoeren de waterstanden steeds hoger ten opzichte van het binnendijkse gebied komen te liggen.

Hoe ging men in het verleden om met hogere rivierafvoeren?

Vanaf het midden van de 14e eeuw, toen de bedijking van het rivierengebied vrijwel volledig was, heeft men steeds gekozen voor dijkverhoging en dijkverzwaring. Dat wil zeggen dat de ligging van de dijken al sedert eeuwen in grote lijnen onveranderd is. Op plaatsen waar de dijk was doorgebroken en diepe kolken achter de dijk waren ontstaan werd een nieuwe dijk om die kolk heengelegd. Ook gebeurde het dat aan één kant van de rivier de dijken werden verhoogd zodat bij een volgend hoogwater de dijken aan de andere kant overliepen, wat dan weer leidde tot verhoging aan die kant, enz. Niet alleen het water, maar ook de medeburgers was dus in zekere zin de oorlog verklaard.



Van waterstandsmeting via werkljn naar (maatgevende) hoogwaterstand

Als de hoogwaterstand boven de huidige maatgevende waterstand ligt, wordt niet direct de stap naar dijkontwerp gezet. Eerst wordt geprobeerd met bijvoorbeeld vergroting van de riviergeometrie de waterstand te verlagen. Dit om, conform het beleid in de 4e Nota Waterhuishouding, dijkverhoging zo veel mogelijk te voorkomen.



Bij hoge afvoeren torent het water hoog uit boven het gebied achter de dijken

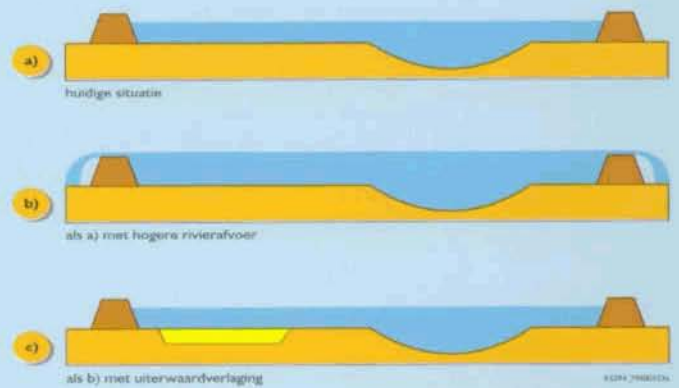


Beleidslijn Ruimte voor de rivier (1996)

Ruimte in het rivierbed

Ja, mits voor riviergebonden functies

Nee, tenzij voor niet-riviergebonden functies



Rivierverruiming: gelijke waterstand bij hogere afvoer

Bij recente dijkverzwaringen is plaatselijk de dijk rivierwaarts verlegd om bebouwing of natuurwaarden te sparen. De ruimte die op die manier van de rivier werd afgenomen werd dan gecompenseerd door ter plekke de uiterwaard te verlagen of geulen in de uiterwaard aan te leggen.

Maar inmiddels zijn de inzichten veranderd ...?

Inderdaad, de inzichten zijn veranderd. Natuurlijk kunnen we, net zoals in het verleden, nu en in de toekomst de dijken blijven verhogen. Dijkversterkingen hebben echter steeds meer nadelige gevolgen voor landschap, natuur en cultuurhistorische waarden. Het verschil in hoogte tussen de waterstand in de rivier en het binnendijkse gebied wordt steeds groter en daarmee ook het risico mocht het onverhoopt tot een overstroming komen. Nu al maken 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 het gevoel van 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 opwaartse spiraal.

De veranderde inzichten kunnen kort worden samengevat als: Ruimte voor de Rivier. Dat komt ongeveer neer op:

- dijkverhoging zo veel mogelijk voorkomen;
- door de waterstanden niet verder te laten stijgen, ook al neemt de maatgevende afvoer toe;
- door rivierverruimende maatregelen.

Tot slot, en dat is minstens zo belangrijk, passen de veranderde inzichten goed bij de autonome ontwikkeling van het rivierengebied zoals hierboven geschetst. De ruimte in de rivier dreigt langzaam af te nemen, rivierverruiming is een passend antwoord. Verhoging van de waterstanden ten opzichte van het binnendijkse gebied wordt zo veel mogelijk binnen de perken gehouden. Bovendien kan rivierverruiming worden gezien als een poging om de rivier weer (enigszins) in ere te herstellen, om met de natuurlijke rivierprocessen mee te werken; de ruimte is immers in het verleden door bedijking nogal afgenomen. Op verschillende fronten zijn we met herstelmaatregelen bezig: waterkwaliteit, natuur en morfologie. Rivierverruiming past hier goed bij en is hier bovendien goed mee te combineren.

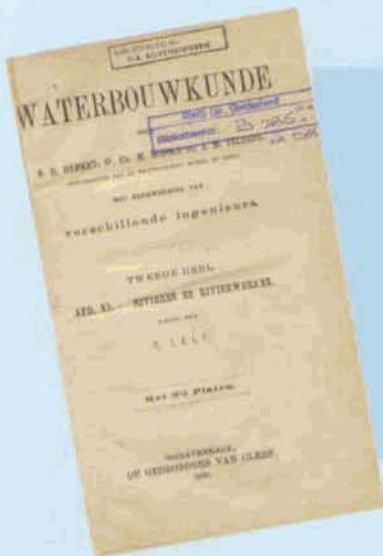
Ruimte voor de Rivier ...?

Ja, dat is ook de titel van een beleidslijn die in 1996 is uitgevaardigd naar aanleiding van de overstromingen in het Maasdal en de hoogwaters van 1993 en 1995 op de Rijn, die in het laatste jaar met de evacuatie van grote gebieden langs de Waal gepaard ging. Deze beleidslijn is tot stand gekomen onder gezamenlijke verantwoordelijkheid van de ministeries van Verkeer en Waterstaat en Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer; dat laatste in verband met de implicaties voor de ruimtelijke ordening.

In de beleidslijn 'Ruimte voor de Rivier' is vastgelegd dat geen nieuwe bebouwing in het winterbed van de grote rivieren meer is toegestaan. Tevens is voor het onbedijkte Maasdal aangegeven wat nu precies het 'winterbed' is, want zonder dijken is dat vanzelfsprekend discutabel. De beleidslijn markeert een omslag die kan worden weergegeven als 'Ja, mits' voor riviergebonden functies zoals natuur en 'Nee, tenzij' voor niet-riviergebonden functies zoals bewoning. Dat wil zeggen dat het beleid voor het winterbed van de grote rivieren zoveel strenger is geworden dat verdere verkleining van de bergings- of afvoercapaciteit wordt voorkomen. De beleidslijn betekende nog geen vergroting van die capaciteit, maar markeerde wel het begin van een verandering die inmiddels in de Vierde Nota Waterhuishouding uit 1998 al weer concreter is geworden.



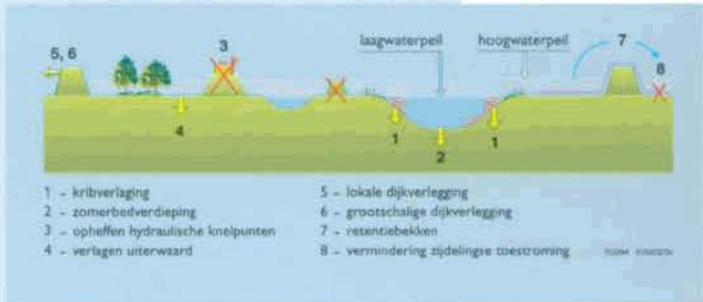
4* Nota
Waterhuishouding (1998)



Rivieren van Cornelis Lely
(1890)

‘Wanneer men bepaald verlaging van den waterstand verkrijgen wilde, dan zouden daartoe geheel andere werken noodig zijn dan thans voor het normaliseren worden uitgevoerd. Die werken zouden moeten bestaan in het verlagen van de kaden der uiterwaarden en in het opruimen van alle voorwerpen in het winterbed der rivier, die beperking van het profiel veroorzaken’

Cornelis Lely in Rivieren (1890)



Rivierverruiming: ruime mogelijkheden

Ah, de 4e Nota Waterhuishouding. Wat staat daar in over de Rijntakken?

De 4e Nota Waterhuishouding (regeringsbeslissing) stelt in het hoofdstuk over De Grote Rivieren onder meer:

- 'De regering kiest voor meer ruimte voor de rivieren. Waar mogelijk worden onnatuurlijke obstakels verwijderd, nevengeulen hersteld en het winterbed verlaagd.'
- '... Dijkversterking wordt sluitstuk in de hoogwaterbescherming.'
- 'De regering versterkt de samenhang tussen waterbeheer, ruimtelijke ordening en natuurontwikkeling. De langetermijnstrategie voor de grote rivieren wordt in het nationaal ruimtelijk beleid verankerd.'

Bij dat alles wordt de veiligheid voorop gesteld ('De rivieren stromen over een jaar af 15 door een bedding die vóór alles optimaal is afgestemd op een veilige afvoer van water, sediment en ijs.'). 'Enkele gebieden en polders zijn gereserveerd voor tijdelijke waterberging bij extreem hoogwater.', maar er is ook ruimte voor andere functies ('Het riviereengebied is een prachtig gebied om de vrije tijd in door te brengen.').

Hierbij zijn concrete acties geformuleerd, deels al lopend en deels nieuw. Daartoe behoren onder andere uitvoeringsprojecten met geld van de Europese Commissie om de hoogwaterproblemen langs Rijn en Maas aan te pakken, vooral te besteden aan rivierverruiming en onder andere voortvloeiend uit het Hoogwater Actieplan voor de Rijn (uit 1998). Maar ook worden studies naar de mogelijkheden van rivierverruiming en berging van water genoemd: voor de Maas (Maaswerken), de Rijntakken (Ruimte voor Rijntakken: RvR, waar dit rapport over gaat), de benedenrivieren (Integrale Verkenning Benedenriviereengebied: IVB) en het IJsselmeergebied (Waterhuishouding In het Natte hart: WIN).

Dat de 4e Nota al verder gaat dan de beleidslijn Ruimte voor de Rivier blijkt uit het feit dat binnendijkse retentiebekkens en bandijkverlegging al als concrete mogelijke oplossingen worden genoemd. Maar er wordt ook aangegeven dat gestreefd wordt naar integraal rivierbeheer, waarbij waterbeheer niet meer los van natuurbeleid en ruimtelijke ordening kan worden gezien. Er wordt zelfs gesteld: 'Door te kiezen voor ruimte voor de rivier, zal voor een aantal activiteiten gezocht moeten worden naar mogelijkheden elders in het riviereengebied. Ruimte voor de rivier zal niet zonder gevolgen voor het ruimtelijke ordeningsbeleid in het landelijk gebied kunnen blijven.'

Dus het verkennen van mogelijkheden is het doel van RvR?

Ja, in hoofdzaak klopt dat. Hoewel het feitelijk alleen opgaat voor het RvR-onderzoek. Het RvR-project als geheel heeft een bredere doelstelling, want dat beoogt een interactief planproces te zijn met betrokkenheid van alle relevante bestuurlijke actoren, zoals gemeenten, waterschappen, provincies en regionale diensten van ministeries (Landbouw, Natuurbeheer en Visserij én Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer), maar ook van belangenorganisaties zoals de Gelderse Milieufederatie, Stichting Utrechts Landschap en Kamers van Koophandel.

Voor het RvR-onderzoek vormt de Integrale Verkenning inrichting Rijntakken (IVR) uit 1996 het vertrekpunt. En voor het onderzoek is de doelstelling dan ook meer beperkt tot – inderdaad – een verkenning van de mogelijkheden van bijvoorbeeld vergroting van de afvoercapaciteit en van de gevolgen van rivierverruimende maatregelen voor de hoogwaterbescherming en andere maatschappelijke belangen zoals scheepvaart, natuur en landbouw. Ook worden de kosten in beeld gebracht. Met die kennis gewapend kunnen de rivierbeheerder en de andere beleidsmakers vervolgens een strategie uitstippelen.



RvR, IVB, WIN en Maaswerken

Behalve voor de Rijnakken worden er voor de benedenrivieren, het IJsselmeer en de Maas studies naar de oplossing van (toekomstige) hoogwaterproblemen uitgevoerd.

trajectstudie

Plaatsen van

advisen aan de staatssecretaris

Ruimte voor Rijnakken (RvR)

Integrale Verkenning Benedenrivieren (IVB)

Waterbescherming in het Noordoost (WIN)



In de discussienotitie 'Ruimte voor de rivier' presenteert de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat een voorlopig standpunt voor de gewenste oplossingsrichting op de lange termijn en de maatregelen op de korte termijn.



Maatschappelijke belangen in het rivierengebied

Hoe is de samenhang met die andere projecten die in de 4e Nota werden aangekondigd: Maaswerken, IVB en WIN?

Het gaat om vier verschillende projecten die elk door een andere regionale directie (Oost-Nederland, Limburg, Zuid-Holland, IJsselmeergebied) worden getrokken. Het gaat ook om vier verschillende gebieden met hun eigen problemen (de Maas heeft bijvoorbeeld een andere afvoercharacteristiek dan de Waal en is deels onbedijkt), maar ze grenzen deels wel aan elkaar en er wordt dan ook nadrukkelijk afstemming nagestreefd. Dat is ook nodig omdat maatregelen langs de bovenrivieren, bijvoorbeeld een andere verdeling van de Rijnafvoer over de drie Rijntakken of retentie, gevolgen kunnen hebben voor het benedenrivierengebied of het IJsselmeer. Omgekeerd kunnen bijvoorbeeld maatregelen in het benedenrivierengebied de hoogwaterproblemen van benedenstroomse trajecten van de Lek en Waal helpen verlichten.

Kortom, het gaat om vier verschillende projecten, die alle uiteindelijk in een advies aan de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat over de toekomstige inrichting van het betrokken watersysteem resulteren. Daarmee wordt dan met de 4e Nota Waterhuishouding als vertrekpunt een concrete stap verder in de richting van Ruimte voor de Rivier gezet.

De adviezen van IVB en RvR zijn in februari 2000 aan de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat uitgebracht. Door het Hoofdkantoor van Rijkswaterstaat is een discussienotitie geschreven, waarin de samenhang tussen de adviezen is toegelicht en de betekenis van de adviezen voor de vervolgfase, de planstudie, is aangegeven. Ook is de samenhang met de andere genoemde projecten, Maaswerken en WIN, beschreven.

De adviezen, de discussienotitie en de reacties daarop van allerlei adviesorganen vormen de bouwstenen voor het standpunt dat het kabinet naar verwachting in het najaar van 2000 zal innemen. Dit standpunt zal zowel procedureel als inhoudelijk richting geven aan het vervolgetraject.

Welke maatschappelijke belangen spelen in het rivierengebied en dus ook in RvR een rol?

Voorop staat de veiligheid tegen overstroming in het binnendijkse rivierengebied. 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 en vormt ook de aanleiding tot het RvR-project, nu die bescherming door de toenemende Rijnafvoer wat onder druk komt te staan.

Omdat verruimende maatregelen in het rivierbed het meest voor de hand liggen, spelen de maatschappelijke belangen op de rivier en in de uiterwaarden een belangrijke rol bij het plannen en uitvoeren van maatregelen. Het gaat dan, ondanks het relatief kleine ruimtebeslag, om een veelheid van belangen: scheepvaart, natuur, landbouw, klei- en zandwinning, recreatie. Als de ruimte in het rivierbed ontoereikend is en het rivierbed moet worden verbreed door het verleggen van dijken, komt meestal nog een ander belang nadrukkelijk om de hoek kijken: wonen dicht op en langs de dijk.

Verder moet rekening worden gehouden met 'algemene belangen', waarvoor de overheid een taak heeft als hoeder. Daarbij kan men denken aan het behoud van levende en niet-levende natuur, aan het behoud van cultuurhistorisch erfgoed, waaronder archeologische vindplaatsen en cultuurlandschap, en aan versterking van de ruimtelijke kwaliteit.

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



Huidige situatie



Mogelijke situatie na dijkverlegging

- hoogwaterrijd terrein/kade
- dijkverlegging
- voorstoep/aanbrug
- uiterwaardverlaging met natuurontwikkeling



IRMA-projecten voor de bescherming tegen hoogwater langs de Rijnakken (stand van zaken: juli 1999)



Voorlichtingsbijeenkomst

Wie is bij het beheer van de Rijntakken betrokken? En bij het RvR-project?

Het beheer van de Rijntakken valt, als de hoogwaterbescherming en scheepvaart in het geding zijn, onder de directie Oost-Nederland van de Rijkswaterstaat. Het zal echter duidelijk zijn dat – in verband met het grote aantal maatschappelijke belangen – niet alleen die ene beheersdirectie verantwoordelijk kan zijn voor het beheer van de Rijntakken. Voor de uitvoering van het RvR-project geldt hetzelfde. Zo kan worden gesteld dat integraal rivierbeheer de inzet van veel partijen vraagt, waaronder:

- de ministeries van Verkeer en Waterstaat (V&W), Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (LNV) en Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM);
- de provincies (o.m. ruimtelijke ordening, waterbeleid);
- de gemeenten (o.m. bestemmingsplannen);
- de waterschappen / polderdistricten (o.m. onderhoud van dijken);
- de niet-gouvernementele maatschappelijke organisaties (NGO's) zoals Natuurmonumenten, Wereldnatuurfonds, e.d.

Dat verklaart ook de keuze voor interactieve planvorming van de zijde van Rijkswaterstaat. Het uitgebrachte RvR-advies wordt door de betrokken overheden gezamenlijk gedragen. De directie Oost-Nederland heeft de regie van dit proces gevoerd. Deze directie laat ook het onderzoek uitvoeren ter onderbouwing van het advies. Ook daarvoor geldt dat er veel partijen bij betrokken zijn.

Worden er momenteel al projecten uitgevoerd? Zijn er concrete plannen?

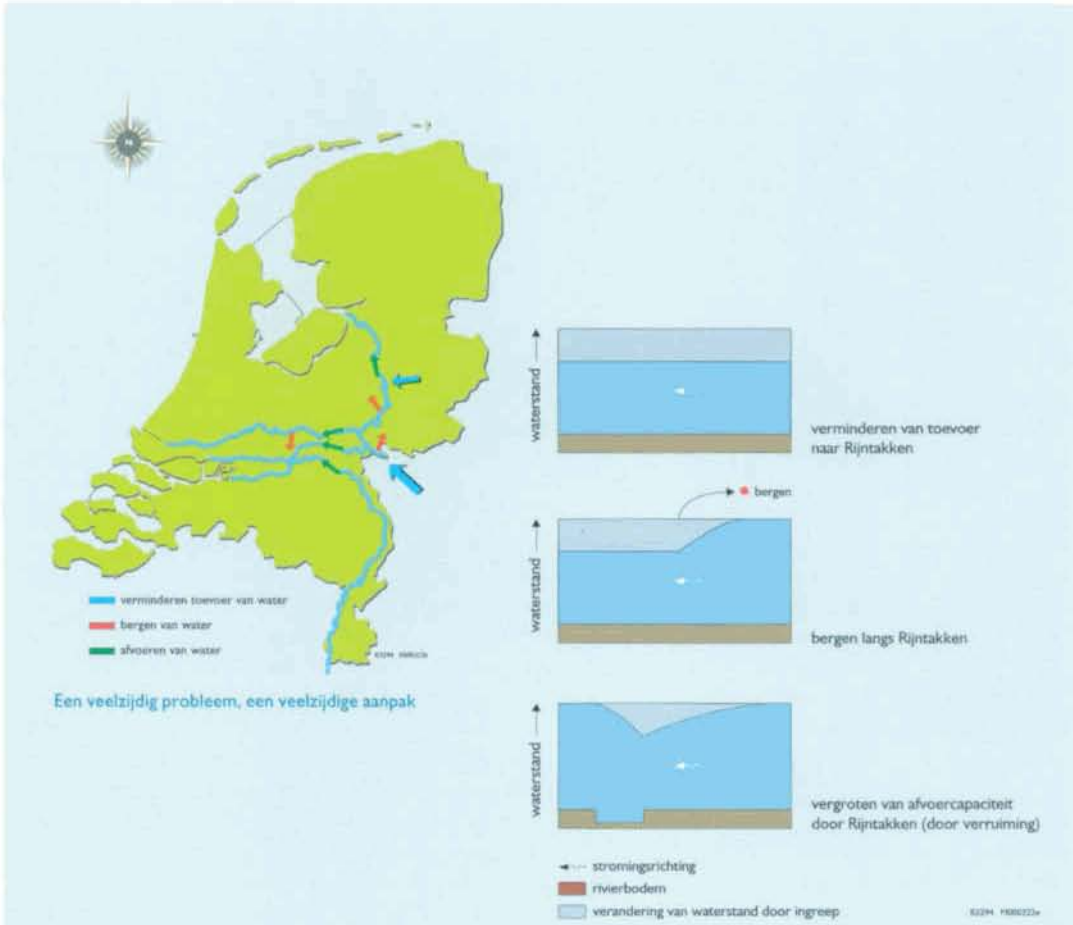
Vooruitlopend op het kabinetstandpunt over de te volgen procedure en strategie bij de verruiming van de Rijntakken en de daarop aansluitende planvormingsfase, worden op dit moment al rivierverruimingsprojecten voorbereid. Deze zogenaamde 'geen-spijt projecten' - 'geen-spijt' omdat ze altijd, ongeacht de te volgen strategie, van pas komen - vallen voor het merendeel onder het IRMA-programma, dat staat voor INTERREG Rijn-Maas Activiteiten. Dit programma is door de Europese Commissie in het leven geroepen en richt zich tot 2002 op de subsidiëring van projecten voor de bestrijding van de hoogwaterproblematiek in de stroomgebieden van Rijn en Maas. Tijdens de uitvoering van het RvR-onderzoek (stand van zaken juli 1998) ging het om een 13-tal IRMA-projecten in het studiegebied. In juli 1999 werden 20 projecten onder de vlag van IRMA voorbereid. De projecten 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. Bovendien mogen ze de afvoerverdeling op de splitsingspunten van de Rijntakken niet uit balans brengen.

Daarnaast zijn uiterwaarden kortgeleden 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 van Nederland, zoals die is voorgesteld in het Natuurbeleidsplan van de rijksoverheid. In dat kader worden er ook nog voortdurend nieuwe 'natuurontwikkelingsprojecten' geformuleerd.

Hoe is het RvR-onderzoek nou heel kort samen te vatten?

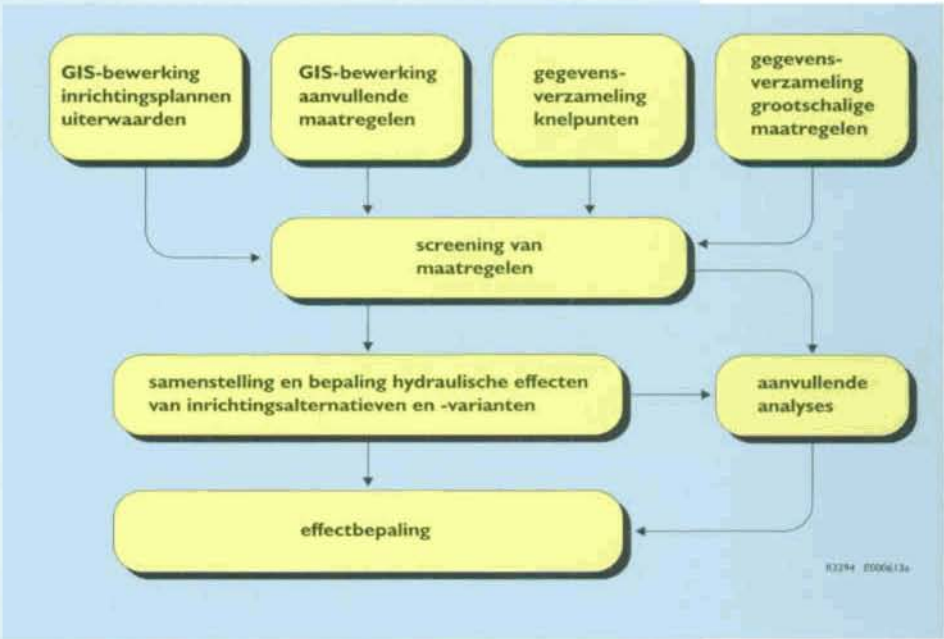
Het RvR-onderzoek is voor alles te beschouwen als een leerproces. In een aantal stappen, waarbij telkens de opgedane kennis werd teruggekoppeld met de betrokken partijen bij het RvR-project, is systematisch toegewerkt naar het vergroten van de kennis van (1) de werking van het riviersysteem en (2) de mogelijkheden, beperkingen en gevolgen van verschillende maatregelen en oplossingsrichtingen voor het probleem. Daarbij is achtereenvolgens gekeken naar:

- verschillende typen maatregelen;
- verschillende combinaties van maatregelen: *alternatieven*;
- *varianten* op de alternatieven, waarbij de afvoerverdeling over de riviertakken is gevarieerd.



Een veelzijdig probleem, een veelzijdige aanpak

Verskillende ingrepen, verschillende effecten



Structuur van het onderzoek in RvR

Uitgegaan is van een maatgevende afvoer van $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (het probleem op de korte termijn). Een doorlooptijd is gemaakt naar wat nodig zou zijn als de maatgevende afvoer nog verder zou toenemen tot zo'n $18.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (het mogelijke probleem op de lange termijn). Het laatste om te kunnen vaststellen of beide oplossingsrichtingen elkaar ondersteunen of dat ze strijdig zijn. In het RvR-onderzoek is volop gebruik gemaakt van het beslissingsondersteunend modellen-systeem (IVR) dat in 1996 in opdracht van de directie Oost-Nederland is ontwikkeld. Hiermee zijn alle rivierkundige analyses van maatregelen, alternatieven en varianten uitgevoerd. Bovendien levert het systeem de gegevens om de gevolgen voor de maatschappelijke belangen te kunnen bepalen.

Welke mogelijkheden zijn er om het probleem aan te pakken, om te voorkomen dat de waterstanden op de Rijnstakken hoger worden als de afvoer toeneemt?

In principe zijn er drie mogelijkheden om het probleem aan te pakken:

- verminderen van toevoer van (extra) water naar de Rijnstakken;
 - bergen van (extra) water langs de Rijnstakken;
 - afvoeren van (extra) water via de Rijnstakken.
- De eerste mogelijkheid pakt het probleem min of meer bij de bron aan door te zorgen dat de extra afvoer, het verschil tussen 16.000 en $15.000 \text{ m}^3/\text{s}$, ons land niet gedeeltelijk of pas later bereikt. De maatgevende afvoer is immers afgeleid voor de huidige inrichting van het stroomgebied bovenstrooms van Lobith. Toekomstige maatregelen in dit stroomgebied - met name in Duitsland - waarmee water wordt vastgehouden kunnen ook een vermindering betekenen van de toevoer naar Nederland. Maatregelen in de sfeer van landgebruik en retentie komen in aanmerking. Vergelijkbare maatregelen kunnen misschien ook helpen de mogelijke extra toevoer naar de Rijnstakken in Nederland zelf, via bekken en kanalen, te verminderen.

De tweede en derde manier om het probleem aan te pakken beperken zich tot Nederland. Nog afgezien van de plek, langs of in het rivierbed, onderscheiden ook de waterstandseffecten zich duidelijk van elkaar. Er zijn nog meer verschillen, qua inzetbaarheid en robuustheid, maar daar wordt later nog op teruggekeken. Het afleiden naar en bergen van rivierwater in retentie-gebieden langs de Rijnstakken leidt ertoe dat de afvoergolf zijn weg minder hoog in het rivierbed vervolgt. Dit effect zet zich langzaam afnemend over de volledige lengte van de rivier voort, tot in het benedenrivierengebied en/of Ketelmee.

De derde mogelijkheid heeft de meest aandacht gehad in het RvR-onderzoek. Het gaat om maatregelen die de afvoercapaciteit van het rivierbed vergroten. Het waterstandsverlagend effect strekt zich uitsluitend in bovenstroomse richting uit. Voorbeelden zijn het verwijderen van 'hydraulische knelpunten' (obstakels in de uiterwaarden zoals hoogwaterverrijke terreinen, veerstoeppen, bruggehoofden), verlagings van uiterwaarden door afgraving gecombineerd met natuurontwikkeling, kribverlagings, zomerbedverlagings en dijkverlagings. In totaal zijn ruim 1300 van dergelijke maatregelen in beschouwing genomen.



verminderen toevoer van water

Van de Rijn

Verminderen van toevoer van water naar de Rijnthalen

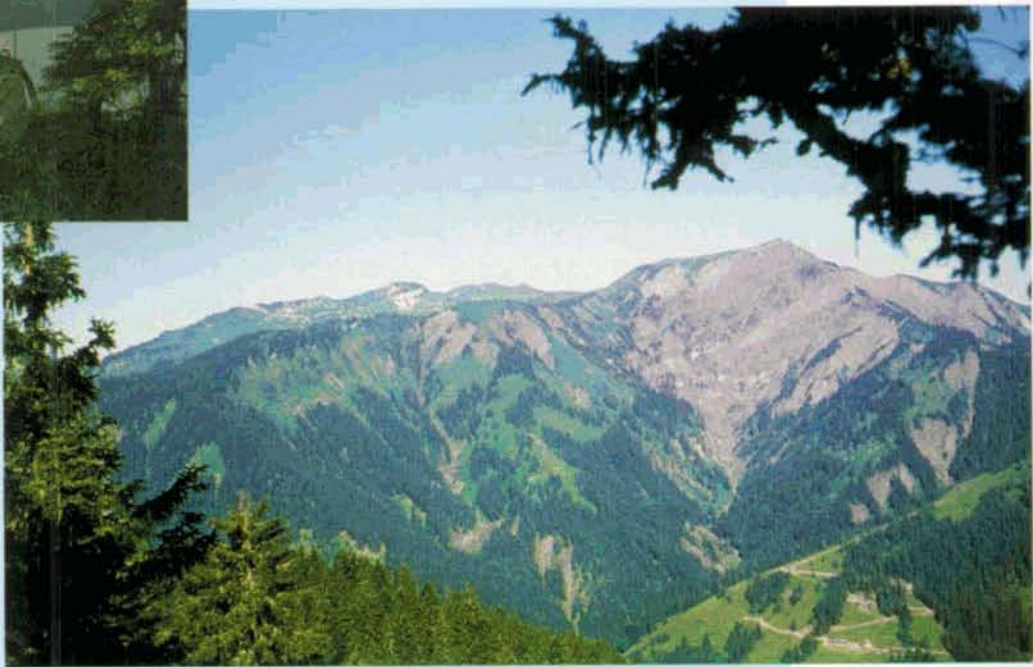


Actieplan Hoogwater Rijn

Karte van de Rijn



Bosontwikkeling



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 en 70 cm in respectievelijk 2005 en 2020. Deze verlagingen zijn het geschatte effect maatregelen in het gehele stroomgebied, inclusief die in Nederland.

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

De maatgevende afvoer bij Lobith wordt bepaald door de totale hoeveelheid water die door de Rijn wordt aangevoerd en de vorm van de afvoer. Zoals eerder uiteengezet komt het water immers als een soort golf de rivier af. Op de totale hoeveelheid water kan alleen invloed worden uitgeoefend door de waterbalans in het gehele stroomgebied te veranderen. Met andere woorden: door meer neerslag te laten verdampen. Dat zou kunnen door het aanpassen van het landgebruik. Dat is voor maatgevende omstandigheden niet mogelijk, zoals hieronder zal worden toegelicht. De hoogte en vorm van de afvoer kan wel worden beïnvloed, maar dat is niet eenvoudig. Ook daarop wordt verder ingegaan.

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 vaak optredende – en dus ook zeldzamere – omstandigheden is het landgebruik echter veel minder bepalend voor de rivierafvoer. Het gaat dan om lange perioden met zware regenval, soms gecombineerd met vorst in de grond. Onder dergelijke omstandigheden is de verdamping vrijwel nihil en de opnam capaciteit van de grond tot 0 gereduceerd: neerslag komt direct tot afstroming. In voor Nederland maatgevende omstandigheden gaat het om dergelijke extreme situaties, en daarom is het landgebruik in het stroomgebied van ondergeschikt belang.

Het tweede punt: de hoogte van de afvoer. Deze wordt vooral bepaald door het al dan niet in de tijd samen vallen van de piekafvoeren van de grote zijrivieren met die in de Rijn zelf. Het gaat dan vooral om de Neckar, Main en Moezel. Bij het hoogwater van 1993 werd de hoogte van de afvoer vooral door de gebeurtenissen in Zuid-Duitsland bepaald, in 1995 door het samen vallen van de piek in de Moezel met die in de Rijn. Als de pieken in Neckar en Main in 1995 ook zouden zijn samengevallen, zou de afvoer piek te Lobith veel hoger zijn geweest.

De afgelopen eeuw, zo is vastgesteld door een commissie van deskundigen uit de Rijnoversteden, liepen de afvoeren van veel zijrivieren voor op die in de Rijn. Dat betekent dat vertraging van deze afvoeren niet bij voorbaat gewenst is. Wat algemener gesteld: gezien de gecompliceerde timing van afvoeren op de zijrivieren en hoofdgolf, is het onjuist om te stellen dat elke maatregel die de afvoer op de zijrivieren vertraagt vanzelfsprekend een goede maatregel is.

Een laatste punt van aandacht betreft de termijn waarop veranderingen in het landgebruik effect gaan sorteren bij niet al te extreme afvoeren. Van het vergroten van de sponswerking in het stroomgebied van de Rijn door bosaanplant of natuurontwikkeling kan – gezien de naar verwachting benodigde voorbereidingstijd en de groeisnelheid van bos – binnen 15 jaar niet te veel worden verwacht. Het zal eerder 60 dan 30 jaar duren voordat Nederland daar baat bij heeft. Als Nederland binnen 15 jaar afdoende maatregelen wil hebben genomen voor het handhaven van het huidige veiligheidsniveau, kan daar niet op worden gewacht. Dit wil niet zeggen dat natuurontwikkeling in het stroomgebied moeten worden ontraden, integendeel: maatregelen in het stroomgebied kunnen bijdragen, maar de termijn waarop ze effectief worden valt ver buiten de termijn die thans in Nederland acceptabel wordt geacht.

Kort samengevat: het beperken van de absolute afvoer door verandering van het landgebruik onder maatgevende omstandigheden is nauwelijks mogelijk en kan niet op korte termijn worden gerealiseerd. Afvoervertraging is door de complexe fasering van afvoerpieken uit zijrivieren niet op voorhand gewenst.



Maatregelen in en langs de Rijn bovenstrooms van Lobith



Situatie bij Orsoy, vóór dijkverlegging



na dijkverlegging



Maatregelen langs de Niederrhein

Als wijziging van het landgebruik nou niet de oplossing is, is het dan niet op een andere wijze mogelijk om – wel op 'korte termijn' (vanaf nu tot 2015) – de maatgevende afvoer te Lobith te reduceren?

Als we bij deze vraag denken aan bijvoorbeeld retentiemaatregelen bovenstroom van Lobith, kan hier wel met een voorzichtig: "in principe, ja" op geantwoord worden. Ja, omdat retentie de top van afvoergolven kan aftoppen, waardoor de afvoergolf lager wordt. De maatgevende afvoer wordt daarmee lager. Dit principe wordt later uitvoerig uit de doeken gedaan bij de bespreking van retentiemaatregelen in Nederland. Een voorzichtig ja, omdat ten eerste het probleem van de fasering van afvoergolven in hoofdstroom en zijrivieren hier ook blijft bestaan en omdat, ten tweede, de werking van de retentiegebieden niet is afgestemd op het verlagen van de afvoergolf die Nederland bereikt, maar op het verkleinen van de hoogwaterproblemen in Duitsland.

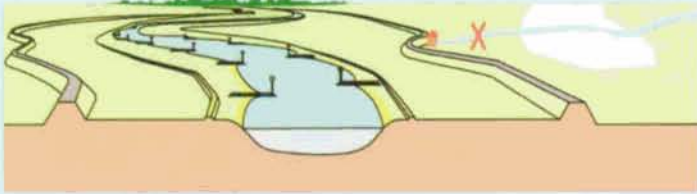
Met betrekking tot de vorm en hoogte van de afvoergolf die Nederland bereikt, is de plaats van de maatregelen ten opzichte van de piekbepalende zijrivieren belangrijk. Retentiemaatregelen langs de zijrivieren van de Rijn hebben doorgaans tot doel een bepaalde plaats tegen hoogwater te beschermen. Bij het samenvloeien met andere zijrivieren of de Rijn zelf kan vertraging van de afvoer op een zijrivier leiden tot verlaging of verhoging van de afvoergolf op de Rijn, al naar gelang de genese van de afvoergolf in dat deel van het stroomgebied. Over retentiemaatregelen in Duitsland langs de Rijn zelf kan het volgende worden gesteld:

- retentiemaatregelen langs het zuidelijk deel van de Oberrhein in Zuid-Duitsland, bovenstrooms van de Neckar en Main, ter grootte van 290 miljoen m³, kunnen een verlaging van een extreme afvoergolf met 25 cm opleveren. Op de afvoergolf van 1995 zou de verlaging echter verwaarloosbaar zijn geweest, omdat deze vooral door zijrivieren in het midden en noorden van het stroomgebied werd bepaald. Bij voor Nederland maatgevende afvoeren hebben de geplande retentiemaatregelen geen meerwaarde, omdat er dan reeds overstromingen plaatsvinden langs de noordelijke Oberrhein;
- tussen de monding van de Main en Keulen, langs de Mittellrhein, is retentie niet mogelijk omdat de rivier daar door een kloofdal stroomt;
- de voor Nederland meest relevante retentie zou moeten plaatsvinden in Nordrhein-Westfalen, langs de Niederrhein. Hier zijn 11 'zogenaamde' retentiegebieden voorzien met een capaciteit van opgeteld ongeveer 175 miljoen m³. Deze kunnen in theorie zorgen voor een waterstandsverlaging bij Lobith van zo'n 30 cm. De effectiviteit is echter afhankelijk van de wijze van uitvoering (meer in het bijzonder: de wijze waarop deze retentiegebieden worden ingericht en de waterhoogte waarbij ze vollopen) en de vorm van de afvoergolf (lang en breed of kort en gepiekt). Nadere beschouwing leert dat slechts 4 van deze gebieden echte potpolders zijn (met een dijk eromheen en een drempel), de overige 7 zijn dijkverleggingen en die dragen niet substantieel bij aan een verlaging van de golf die Nederland bereikt. De met de echte potpolders te bereiken waterstandsverlaging wordt geschat op maximaal 10 cm bij Lobith.

Samengevat: retentiemaatregelen in Duitsland kunnen een beperkte bijdrage leveren aan het verlagen van de maatgevende afvoerpiek die bij Lobith ons land bereikt. Retentie in Duitsland vormt aldus geen alternatief voor maatregelen in Nederland. Dat is voldoende reden om in het RvR-project vooralsnog uit te blijven gaan van een maatgevende afvoer van 16.000 m³/s.

Is het zinvol om te trachten de zijdelingse toestroming naar de Nederlandse Rijntakken te reduceren?

Ja en nee, ofwel een genuanceerd antwoord. Ten eerste moet bedacht worden dat de afvoer van de Rijn te Lobith onder maatgevende omstandigheden zo enorm is, zo'n 15.000 en binnenkort mogelijk 16.000 m³/s, dat de bijdrage van zijdelingse toestroming uit Nederlandse polders marginaal is. Een fors poldergemaal heeft een capaciteit van 50 m³/s. Over het geheel genomen is de bijdrage van zijdelingse toestroming aan de Rijnafvoer nog geen 1 %. Dat levert een waterstandverhoging van enkele centimeters, hetgeen verwaarloosbaar lijkt.



Verminderen van zijdelingse toestrooming via beken en kanalen



Uitmonding van Twentekanaal in IJssel



Twentekanaal

Zoals al eerder toegelicht speelt zijdelingse toestroming langs de IJssel echter wel een substantiële rol. Alle bronnen langs de IJssel bij elkaar leveren volgens 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 waterstandsaling op van 5 cm bovenstrooms tot ruim 15 cm op de benedenstroomse trajecten. Vertraging van de afvoer van beken en kanalen kan overigens, net als bij de Duitse zijrivieren, tot gevolg hebben dat de piek van de afvoer zoveel wordt vertraagd dat deze kan samenvallen met die op de IJssel, die nu meestal later komt. Of het tegengaan van zijdelingse toevoer ook technisch mogelijk is met bijvoorbeeld retentiemaatregelen, tegen welke kosten en met welke consequenties voor de omgeving van onder meer Oude IJssel en Twentekanaal, is in RvR-kader niet onderzocht.



Bergen van water langs de Rijntakken

Het lijkt erop dat alle mogelijkheden de toevoer naar de Rijntakken te beperken hiermee besproken zijn. Laten we het nu hebben over de mogelijkheden het water langs de Rijntakken te bergen. Waar moeten we dan aan denken?

We hebben het nu over maatregelen in Nederland. In dat verband kunnen we onderscheid maken tussen:

- retentie (letterlijk: terughouden);
- berging;
- 'stromende berging'.

Het zal duidelijk zijn dat het verschil tussen deze maatregelen gradueel is. Met retentie wordt bedoeld dat een deel van een afvoerpiek wordt afgetopt en tijdelijk wordt geborgen in een omdijkt gebied. Als het ergste voorbij is, wordt het tijdelijk geborgen water weer losgelaten en alsnog afgevoerd. Een retentiegebied heet ook wel potpolder, van oppotten: tijdelijk opslaan. Retentie beperkt de hoeveelheid af te voeren water voor het benedenstrooms gelegen deel van (een of meer van) de Rijntakken. Dat betekent dat retentie bovenstrooms moet plaatsvinden wil het zin hebben. Voor Nederland betekent dit zo dicht mogelijk bij Lobith (retentie langs het Duitse deel van de Rijn is hiervoor al besproken).

Met berging doelen we meestal op langduriger berging. Vaak gaat het dan om berging in polders of wateren in het benedenrivierengebied. Dit wordt ook wel 'komberging' genoemd. De berging is in zulke gevallen vaak (zeer) langdurig totdat lozing naar zee mogelijk is.

'Stromende berging' is een term die onlangs door het Wereldnatuurfonds en Staatsbosbeheer is geïntroduceerd als 'de' oplossing. Met deze term wordt feitelijk bedoeld dat de bergingscapaciteit van het winterbed wordt vergroot door dijkteruglegging. Een deel van het winterbed stroomt relatief snel en een ander deel heeft voornamelijk een bergende functie. Vergroting van het bergende deel van een uiterwaard kan leiden tot vertraging van de afvoer en daardoor lagere waterstanden benedenstrooms. Veelal valt de stroom in de bergende delen geheel stil terwijl de rivier er als het ware gewoon langs stroomt. In RvR wordt dijkteruglegging niet als berging in strikte zin beschouwd, vooral omdat de bergende delen van de uiterwaarden al bij relatief lage afvoeren gevuld raken; stromende berging wordt hier als bijkomend effect van grootschalige dijkverlegging beschouwd. Die maatregel wordt besproken bij de maatregelen ter vergroting van de afvoercapaciteit. Retentie en 'komberging' meer benedenstrooms zijn in RvR-kader wel als bergingsmaatregelen in strikte zin onderzocht.

Hoe werkt een retentiebekken nou eigenlijk precies?

Met een retentiebekken wordt het topje van een afvoergolf er als het ware afgeschoren. De hoeveelheid water die in deze 'golftop' aanwezig is wordt via een overlaat of een ander werk in een gebied gelaten, waar een voldoende hoge dijk omheen ligt. De totale bergingscapaciteit van dit gebied moet voldoende zijn om het totale volume water uit de 'golftop' te kunnen bergen. Het inlaatwerk moet groot genoeg zijn om het verschil in afvoer tussen de top en de veilig af te voeren resterende hoeveelheid water door of over te laten.

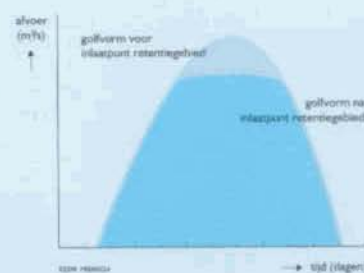
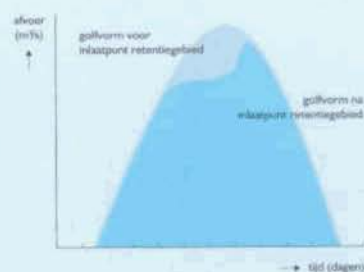
Dat kan als volgt worden begrepen: het verschil tussen de huidige maatgevende afvoer van 15.000 en de te verwachten afvoer van 16.000 m³/s is 1000 m³/s. Om met alleen retentie dijkverhoging benedenstrooms te kunnen voorkomen moet deze hoeveelheid van 1000 m³/s via inlaatwerken in een of meer retentiegebieden kunnen worden gelaten.

De totale benodigde bergingscapaciteit wordt bepaald door het verschil in hoogte van beide toppen in relatie tot de vorm (en vooral de duur) van een afvoergolf. Aldus kan worden berekend hoeveel water tijdelijk geborgen moet kunnen worden binnen één of meer dijkringen.

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
(De waterplaat, 1987)



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



Rijnstrangengebied



Boerderij op terp in Rijnstrangengebied

Voor de hier genoemde 1000 m³/s is voor een afvoergolf van enkele dagen met een 'gemiddelde vorm' een opslagcapaciteit nodig van zo'n 170 - 200 miljoen m³. Bij een diepte van 5 m betekent dat een benodigd oppervlak van zo'n 3500 tot 4000 ha. Dergelijke dieptes zijn denkbaar in de relatief laaggelegen binnendijkse gebieden langs de Boven-Rijn en Waal, maar langs de Neder-Rijn en IJssel zullen veel geringere waterdieptes kunnen worden gerealiseerd. Naarmate de bergingsgebieden hoger gelegen zijn zal de waterdiepte minder zijn en moet het oppervlak navenant groter worden.

Waar zouden retentiebekkens ideaal gesproken moeten liggen?

Als we uitgaan van de strikte betekenis van retentie, moet een duidelijke voorkeur worden uitgesproken voor locatie bovenstrooms. Het aftoppen en tijdelijk achterhouden van afvoerpieken heeft immers vooral nut voor het benedenstrooms gelegen deel van rivier(tak)ken. Daarom kan de aanleg van retentiegebieden net over de grens in Nordrhein-Westfalen ook zo nuttig zijn voor Nederland.

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

Als we voor onze eigen hoogwaterproblematiek op eigen grondgebied potpolders willen realiseren, moeten die bij voorkeur zo dicht mogelijk bij Lobith liggen. Daar komen volgens een verkennend onderzoek twee gebieden in aanmerking:

- het Rijnstrangengebied, waarmee de Boven-Rijn kan worden afgetopt met gunstige gevolgen voor alle drie de Rijntakken, met inbegrip van het benedenrivierengebied;
- de Ooijpolder/ Duffelt, waarmee de afvoer van de Boven-Rijn of van de Waal kan worden verminderd, afhankelijk van de plaats van het inlaatwerk.

Deze gebieden 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 genoeg om een afvoer van 16.000 m³/s voldoende lang af te toppen.

"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 omringdijk van voldoende hoogte wordt aangelegd en een omvangrijk en goed regelbaar inlaatwerk. Voor het Rijnstrangengebied betekent het dat er toch enkele tientallen kilometers dijk moeten worden verhoogd en deels nieuw aangelegd. Nu loopt het Rijnstrangengebied tot aan het Pannerdensch Kanaal door, maar daar is de dijk al meer dan een meter lager dan noodzakelijk zou zijn voor een bekken met een horizontale waterspiegel: de rivier helt immers. Ook aan weerszijden van het gebied moeten dijken worden versterkt en/of aangelegd, vooral in verband met de begrote forse waterdiepte. Aan de benedenstroomse kant van het Rijnstrangengebied moet met een waterdiepte in het retentiegebied van zo'n 9 m worden gerekend.

Eigenaars van grond moeten schadeloos worden gesteld voor incidentele overstroming. Huizen en andere opstallen moeten bij deze inundatiediepten worden opgekocht. In de toekomst zal het landgebruik in het gebied waarschijnlijk worden aangepast. En er zullen zeker beperkingen gaan gelden ten aanzien van investeringen. Dat alles werkt door in de kosten, die voor het Rijnstrangengebied tenminste 0,5 miljard gulden bedragen en voor de Ooijpolder tenminste 0,2 miljard gulden. Bij deze zeer globale kostenschattingen is nog geen rekening gehouden met plannen die op dit moment in voorbereiding of uitvoering zijn, zoals de verlenging van Rijksweg A15 door het Rijnstrangengebied of de aanleg van de Betuwelijn, die hier ook doorheen gaat.



Inrichting van een retentiegebied langs de Oberrhein



Inlaatwerk

Er is bij de kostenschattingen uitgegaan van weinig frequente vulling van de gebieden. Om goed te functioneren moeten ze immers niet te vroeg vollopen. Een inundatiefrequentie van 1/1000 jaar is zeer wel denkbaar. Dat heeft als nadeel dat men na een lang 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 sterker worden en de duurzaamheid van de oplossing kan daardoor in gevaar komen. In dat verband kan geregelde inundatie worden overwogen, zoals in Duitsland voorgeschreven om flora en fauna, maar ook eventuele bewoners, aan de situatie te wennen. Hier worden retentiegebieden jaarlijks enkele maanden geïnundeerd (zgn. 'Ökologische Flutungen').

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. Ten eerste 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 geleegd. Ook dan kan het retentiegebied niet meer bijdragen aan een vermindering van de afvoer.

Potpolders moeten ook niet te laat vollopen, want dan is de afvoerpiek al voorbij. Dit betekent dat de timing van vollopen buitengewoon nauw luistert. In geval van inlaat met een regelwerk betekent dat ook dat we over goede voorspellingen van het afvoerverloop moeten kunnen beschikken, hetgeen momenteel voor een periode van 2 dagen vooruit mogelijk is.

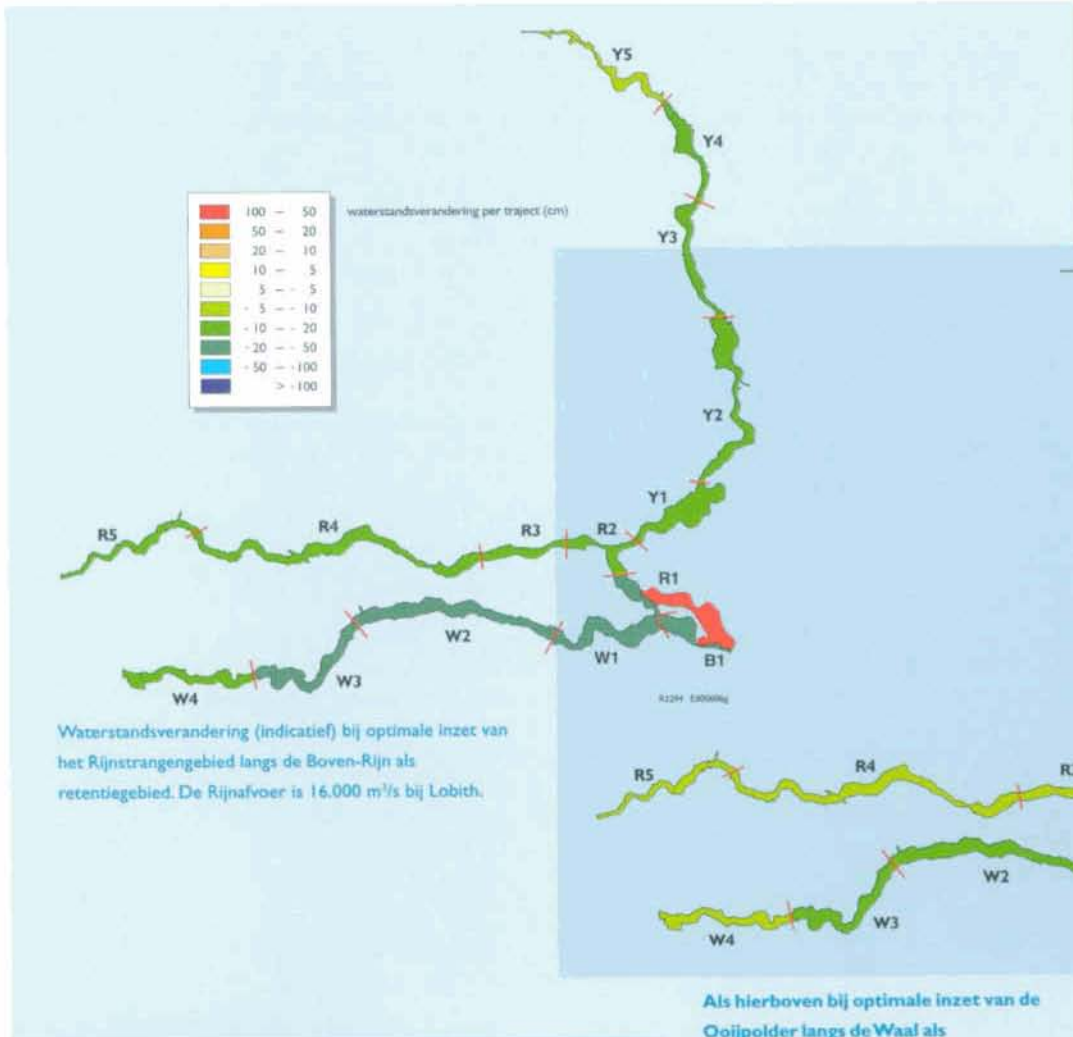
Een geheel ander punt betreft de aard van de inzet van retentie. Als retentie als *structurele* maatregel wordt beschouwd om afvoeren boven 15.000 m³/s af te toppen, kunnen dezelfde gebieden geen functie meer vervullen voor afvoeren boven de maatgevende 16.000. Met andere woorden: inzet van hetzelfde overloopgebied als *noodvoorziening* ('calamiteitenpolder') voor afvoeren boven de maatgevende is dan niet meer mogelijk.

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

Ja, dat is een laatste aspect van het risico rond effectief functioneren. 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. Nu is het heel moeilijk een dijk over een grote lengte gelijkmatig te laten overlopen. Dat maakt het moeilijk de hoeveelheid instromend water te regelen.

Door gebruik te maken van een *inlaatwerk* met grote capaciteit, hetgeen ook nog eens nauwkeurig kan worden geregeld, 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. Dat was een veelvuldig gebruikt argument om toch maar een vaste overlaat te kiezen (overigens werd daar door bewoners ook met zandzakken gesleept, dus ook in dat geval is feilloos functioneren niet verzekerd). In dit verband is het ervaringsfeit relevant dat naarmate een gebied minder vaak onderloopt, de maatschappelijke druk om het van overstroming te vrijwaren toeneemt.

Dergelijke psychologische aspecten zijn in het RvR-onderzoek overigens niet bestudeerd.



Als hierboven bij optimale inzet van de Ooijpolder langs de Waal als retentiegebied

In de figuur is te zien dat ook langs de Neder-Rijn, Lek en IJssel de waterstanden worden verlaagd. Dit komt omdat de afvoerverdeling op de splitsingspunten wordt beïnvloed. Verstoring van de afvoerverdeling kan worden voorkomen door de inlaat van het retentiegebied meer bovenstrooms, aan de Boven-Rijn, te situeren. De waterstandsverlaging zal dan meer gelijkmatig over alle Rijntakken plaatsvinden. Overigens worden de waterstanden ook bovenstrooms van het studiegebied, in Duitsland, verlaagd. In dit geval over ongeveer 10 km, bij retentie in het Rijnstrangebied over ongeveer 20 km.

Waterstandsverandering (indicatief) ter hoogte van het inlaatpunt van de retentiegebieden. De Rijnafvoer is 16.000 m³/s bij Lobith

Afgezien van berging in de twee genoemde grote potpolders, is er nog naar andere bergingsmogelijkheden langs de Rijnakken gekeken?

Jazeker, behalve naar de twee hierboven genoemde grote retentiegebieden is oriënterend onderzoek gedaan naar de mogelijke bijdrage aan waterstandsverlaging op de rivieren van:

- een retentiegebied in de Wilpsche Kleipolder (Ijssel, buitendijks);
- een retentiebekken te Wapenveld (Ijssel, binnendijks);
- een vijftal kleinere bergingsgebiedjes langs de Ijssel (binnendijks);
- een drietal retentiegebieden langs de Neder-Rijn (binnendijks) met hoofdzakelijk nut voor de Lek;
- en komberging in het Veluwe-randmeer via een by-pass ten zuiden van Kampen.

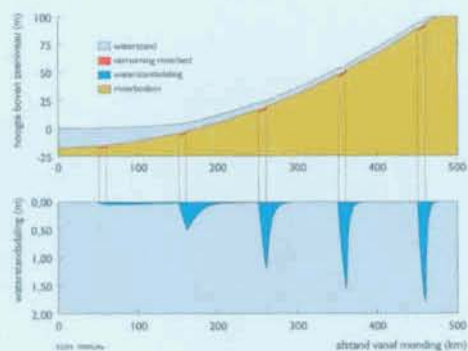
De laatste is te beschouwen als berging benedenstrooms, maar door de by-pass wordt wel knelpunt Kampen ontlast. Op dergelijke oplossingen wordt later nog ingegaan bij de bespreking van maatregelen ter hoogte van de stedelijke knelpunten.

Ten aanzien van de andere bestudeerde bergingsgebieden kunnen de volgende bevindingen worden genoemd:

- retentie in buitendijks gebied (Wilpsche Kleipolder) verlaagt de waterstanden benedenstrooms enigszins, maar leidt tot vele malen ernstiger verhoging van de waterstanden bovenstrooms door opstuwing, omdat de doorstroming wordt belemmerd;
- retentie binnendijks kan, afhankelijk van het volume en bij optimale inzet, een waterstandsverlaging opleveren van zo'n 5 cm op de Ijssel tot zo'n 25 cm op de Neder-Rijn/Lek.

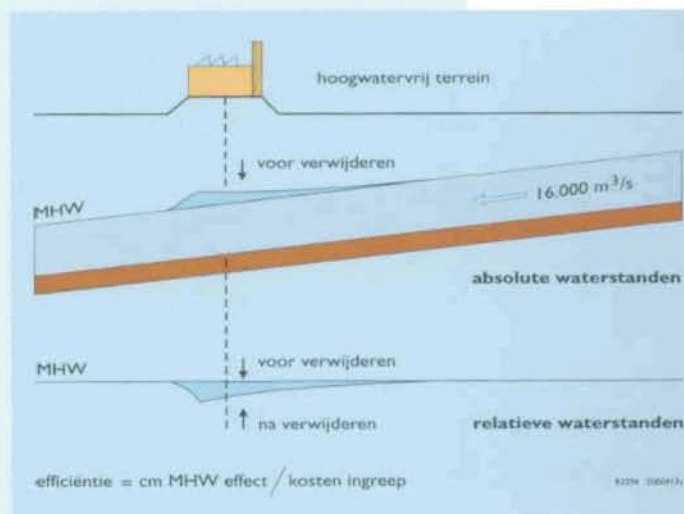


Afvoeren van water via de Rijntakken



Waterstandsverlaging bij rivierverruiming afhankelijk van het verhang

Richting zee neemt het verhang van de rivier af. Bij eenzelfde verruiming van het rivierbed wordt de daling van de waterstand steeds kleiner en de afstand waarover deze zich uitstrekt steeds groter. De rivierafvoer is $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$.



Efficiëntie van rivierverruimende maatregelen

Afvoeren van water via de Rijntakken

Laat nu maar eens horen hoe het zit 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 rivierverruimingsmaatregelen die de afvoercapaciteit vergroten alleen de waterstand wordt verlaagd bij eenzelfde afvoer. Berging – indien lang genoeg – is nuttig voor het gebied benedenstrooms van de maatregel en over een zeer geringe afstand bovenstrooms. Vergroting van de afvoercapaciteit is nuttig voor het riviergedeelte bovenstrooms van een maatregel. Dat komt doordat de opstuwende werking van een vernauwing, een andersoortige obstructie, of een grote 'hydraulische ruwheid' wordt verkleind, of doordat het doorstroomprofiel wordt vergroot. Bij het bedenken en inzetten van maatregelen waarmee de afvoercapaciteit wordt vergroot moet dan ook van beneden naar boven worden gewerkt.

Welke typen maatregelen zijn zoal denkbaar om de waterstand te laten dalen bij gelijkblijvende afvoer?

Dat zijn er vele, maar we kunnen voor de bespreking drie grote groepen onderscheiden en die successievelijk eens langsgaan:

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

Binnen iedere groep zijn dan weer afzonderlijke typen maatregelen te onderscheiden.

Alvorens daar nu op in te gaan: hoe wordt nu eigenlijk vastgesteld hoe effectief een maatregel is? Want als een maatregel tot verlaging van de waterstand bovenstrooms leidt zal dat toch niet tot ver in Duitsland zijn, wel?

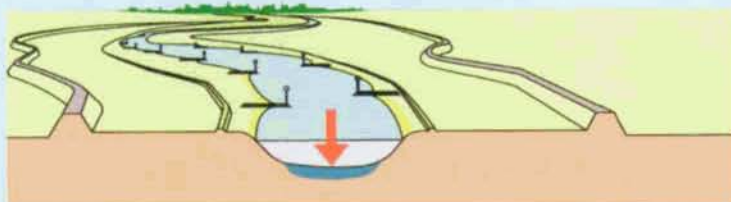
Nee, dat is heel terecht opgemerkt. Van iedere maatregel is ten eerste bepaald welke waterstands-daling maximaal wordt bereikt: dat is eenvoudig en gaat in millimeters.

Ten tweede is de afstand waarover een maatregel bovenstrooms – maar soms ook over een kleine afstand benedenstrooms – doorwerkt vastgesteld. Deze afstand is afhankelijk van de situatie: hoe sterk is het verhang van de rivier ter plaatse, hoe liggen de dijken, welke andere obstakels zijn er in de buurt, hoe is het met de hydraulische ruwheid als functie van de begroeiing van uiterwaarden gesteld, etc. Sommige maatregelen verlagen de waterstand over een paar honderd meter, andere werken tot tientallen kilometers stroomopwaarts door.

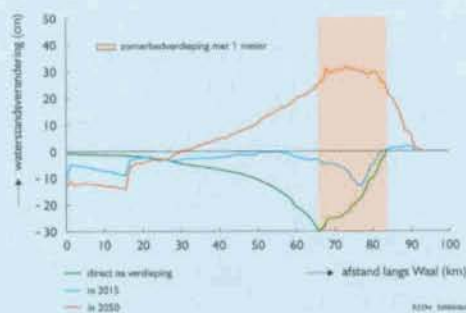
Vervolgens is van iedere maatregel de zogenaamde *hydraulische effectiviteit* bepaald. Dat is een getal waarin de mate van verlaging (in mm) en de afstand waarover deze verlaging optreedt (in km) zijn geïntegreerd. Deze effectiviteit wordt weergegeven in vierkante meters.

Door nu ook van iedere maatregel vast te stellen wat deze kost, kan tenslotte de *efficiëntie* worden bepaald: 'Hoeveel waterstandsverlaging wordt gerealiseerd per gulden?' Daarbij zijn de kosten puur in geld uitgedrukt en is uitgegaan van een enkelvoudige doelstelling: het verlagen van de waterstand. Omdat uit een vergelijking is gebleken dat het voor de volgorde van efficiëntie niet uitmaakte of deze berekend wordt op basis van de maximale verlaging in mm of op basis van de effectiviteit in m² is de simpelste maat gebruikt: mm per miljoen gulden.

Met deze drie kentallen kunnen de verschillende – zomerbed-, uiterwaard- en binnendijkse – maatregelen globaal worden vergeleken.



Zomerbedverdieping



Verandering van de hoogwaterstanden (indicatief) op de Waal na verdieping van het zomerbed met 1 meter in het meest benedenstroomse RvR-traject. Nadat het zomerbed is verdiept vindt geen baggerwerk meer plaats. De Rijnafvoer is 16.000 m³/s bij Lobith.

Direct na de verdieping bedraagt de maximale waterstandsverlaging ongeveer 30 cm. In 2015 is het waterstandsverlagend effect door aanzandingen al bijna verdwenen. In 2050 zijn de waterstanden zelfs hoger dan in de uitgangssituatie. Voortdurend baggeren is dus noodzakelijk om de waterstandsverlaging in stand te houden.



Baggeren op de Waal



Waal benedenstrooms

Maatregelen in het zomerbed

Als nou ook bij hoogwater minstens 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 elders in dit rapport valt te lezen, is de bodem van het zomerbed in de bovenstroomse trajecten van de Rijntakken door ingrepen in het verleden fors gedaald. En de bodem daalt nog steeds. Vanwege de negatieve gevolgen hiervan wordt getracht dit proces te stoppen. Verdiepen van het zomerbed komt dan wat vreemd over.

In benedenstroomse trajecten vindt daarentegen aanzanding plaats. Daar wordt ook geregeld gebaggerd. Als andere maatregelen daar geen oplossing bieden zou zomerbedverdieping in de benedenstroomse trajecten kunnen worden overwogen. Voor de drie Rijntakken is nagegaan hoeveel waterstandsverlaging met een zomerbedverdieping van 'standaard' 1 m in die benedenstroomse trajecten kan worden behaald.

Uit de berekeningen is gebleken dat zomerbedverlaging een waterstandsverlaging tussen bijna 20 cm en ruim 30 cm kan opleveren over een afstand van zo'n 50 km. Zomerbedverlaging zou echter ongewenste gevolgen kunnen hebben voor de grondwaterhuishouding en er zou zoutindringing vanuit zee kunnen optreden. Naar beide aspecten dient nog onderzoek te worden gedaan.

Zomerbedverlaging meer bovenstrooms is blijkbaar niet gewenst en eerder is ook al gewezen op de complexe natuurlijke morfologische ontwikkeling? Dat leidt vanzelf tot de vraag: is zomerbedverlaging nou duurzaam, ofwel hoeveel moeite kost het nou om zo'n verlaging in stand te houden?

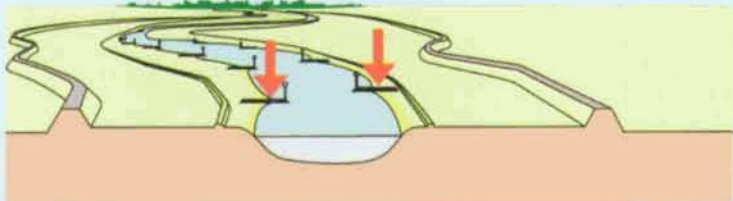
Om deze vraag te beantwoorden zijn morfologische sommen gedaan. Dat wil zeggen dat de bodemligging in achtereenvolgende jaren is voorspeld om te zien hoe deze zich ontwikkelt. Tevens is nagegaan hoe de waterstand daar weer op reageert.

Er is daarbij uitgegaan van een begintoestand, waarin de bodem van het zomerbed over de volle lengte van de genoemde trajecten met 1 m is verlaagd. Uit de voorspellingen is gebleken dat deze 'kuil' ten eerst leidt tot een zogenaamde terugschrijdende erosie, dat wil zeggen: bovenstrooms van de 'kuil' schuurt de rivier uit. Ook blijkt dat na 50 jaar de 'kuil' op alle drie takken 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, op de Neder-Rijn pas na 50 jaar. De laatste riviertak verandert maar weinig, omdat hier stuwen in liggen. Om het effect op de waterstand in stand te houden zal dus, met name op de Waal, voortdurend gebaggerd moeten worden.

Op de IJssel wordt de 'kuil' ook opgevuld, maar door de terugschrijdende erosie is de bodemligging langduriger veranderd. Daardoor is op de IJssel ook na 50 jaar de waterstand door de eenmalige zomerbedverdieping nog steeds iets verlaagd.

Een punt van aandacht betreft de invloed die de terugschrijdende erosie kan hebben op de afvoer-verdeling. Zonder extra ingrijpen zal zomerbedverlaging op de Waal op den duur leiden tot een grotere afvoer over de Waal en een kleinere over het Pannerdensch Kanaal. Daardoor daalt de bodem van het Pannerdensch Kanaal minder snel of komt zelfs iets omhoog, omdat de uitschuring afneemt. Dit illustreert nog eens hoe ieder ingrijpen tot een reactie van de rivier leidt: morfologische effecten kunnen zeer lang doorwerken en vereisen voortdurende oplettendheid en/of 'onderhoudsbaggerwerk'.



Kribverlaging



Mogelijke verlaging van de kribben (indicatief), gemiddeld per RvR-traject, zonder dat daarbij de huidige diepte van de vaargeul in het gedrang komt



Krib in benedenstrooms traject van de Waal



Krib in bovenstrooms traject van de Waal

d'Accord, dus samengevat: aan zomerbedverlaging kleven bezwaren, en het kan alleen in benedenstroomse trajecten. Als het dan niet uit de diepte kan, kan het dan niet 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 gedurende het grootste deel van het jaar naar het midden van de rivier en zorgen er voor dat de stroom over een vooraf vastgestelde breedte de rivier op diepte houdt. Dat is vooral voor de scheepvaart heel belangrijk.

Het verwijderen van de kribben zou betekenen dat de stroomdraad zich verplaatst en de stroomsnelheden plaatselijk afnemen. De rivier wordt dan plaatselijk veel ondieper en er kunnen zelfs zandbanken in het midden van de rivier ontstaan. Uiteindelijk kan de rivier zich gaan verleggen. Dat betekent dat in het algemeen het korter maken of verwijderen van kribben alleen mogelijk is als de scheepvaartfunctie van de rivier wordt opgegeven. Gezien de betekenis van de binnenvaart voor ons land is dat vooralsnog ondenkbaar. 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 al erg kort zijn.

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

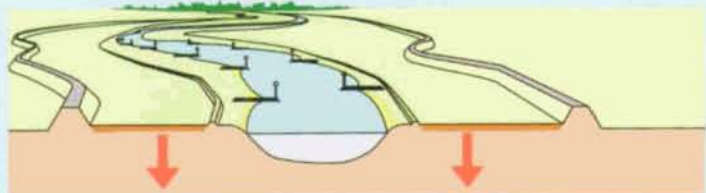
Ja, die maatregel is wel onder de loep genomen. Zoals hierboven al is vermeld, is in de bovenstroomse trajecten de rivierbodem door uitschuring lager komen de liggen terwijl de uiterwaarden hoger zijn geworden. Door het uitschuren van het zomerbed liggen de kribben nu een groot deel van het jaar hoger boven water dan in de tijd dat ze zijn neergelegd. Vooral bovenstrooms is dat het geval. Bij hoogwater vormen ze dan ook een belangrijk obstakel.

Op grond van metingen van de hoogte van de kribben boven het laagwaterpeil en rekening houdend met een adequate werking om de vaargeul op diepte te houden, is voor ieder traject bepaald hoeveel verlaging maximaal mogelijk is. Bovenstrooms kan wel ruim 2 meter worden verlaagd, maar in de benedenstroomse trajecten is verlaging in het geheel niet mogelijk; daar is de bodem niet uitgeschuurd en is de opstuwing vanuit zee en IJsselmeer al merkbaar.

Het aantal kribben dat per traject verlaagd kan worden varieert van ongeveer 90 tot meer dan 400, afhankelijk van de lengte van het traject en de mate waarin daar in het verleden van kribben gebruik is gemaakt. Alles bij elkaar gaat om ruim 1800 kribben die zouden kunnen worden verlaagd.

Er is berekend welke waterstandverlaging bij de verschillende kribverlagingen hoort. Daartoe zijn alle kribben binnen een traject evenveel verlaagd; in de bovenstroomse trajecten met ruim 2 m, in de middentrajecten met minder dan een meter en benedenstrooms geheel niet. Omdat de kribben niet overal even lang zijn en de verlaging in meters sterk verschilt, zijn de gevolgen voor de waterstand ook sterk verschillend per traject. Langs de Waal zijn de kribben over het algemeen genomen lang en langs de IJssel zijn ze kort. Maar waar de rivier breed is en/of de uiterwaard breed is, is het effect van kribverlaging op de waterstanden klein; er stroomt immers in verhouding maar weinig water over de kribben. De berekeningen wijzen uit 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 de efficiëntie van deze maatregel toch hoog.

Door het verlagen van de kribben stroomt er meer water over de kribben en minder door het zomerbed. Daardoor kan de uitschuring afnemen en de bodemdaling in het zomerbed worden vertraagd. De bijdrage van kribverlaging aan het tegengaan van die ongewenste bodemdaling wordt dan ook als gunstige bijkomstigheid beschouwd.



Uiterwaardverlaging

Ontgronding en natuurontwikkeling in
de Duursche Waarden langs de IJssel



Hiermee lijken de maatregelen in en langs het zomerbed voldoende besproken. Daarom nu eerst maar de vraag: welke typen maatregelen zijn allemaal mogelijk in de uiterwaarden?

Dat wordt weer een rijtje, in dit geval met een onderverdeling. In uiterwaarden kan men denken aan:

- uiterwaardverlagingen
 - uiterwaardplannen
 - aanvullende maatregelen
- verwijderen hydraulische knelpunten

Uiterwaardverlaging is een maatregel waarmee de geleidelijk door sedimentatie ontstane ophoging van uiterwaarden weer teniet kan worden gedaan. Die ophoging is grotendeels veroorzaakt door de bedijking en 'normalisatie' van de rivier, en door de aanleg van zomerkaden.

Uiterwaardverlaging kan worden gecombineerd met kleiwinning, zoals recentelijk veel toegepast in het kader van de laatste dijkversterkingen, en/of met natuurontwikkeling. Bij dat laatste speelt onder ander een rol dat vergaande uiterwaardverlaging landbouwkundig gebruik van de grond minder rendabel maakt, met name als ook de zomerkaden worden verwijderd. Bovendien is uit praktijkvoorbeelden – o.a. Duursche Waarden, Millingerwaard, Blauwe Kamer – gebleken dat natuurontwikkeling na ontgronding een door velen gewaardeerd resultaat oplevert.

In het onderzoek is onderscheid gemaakt in uiterwaardplannen en aanvullende maatregelen. De *uiterwaardplannen* zijn door gemeenten, waterschappen of provincies opgestelde plannen voor rivierverruiming met natuurontwikkeling. Deze zijn ruimtelijk beperkt tot een deel van een of meer uiterwaarden. Daarnaast zijn *aanvullende maatregelen* gedefinieerd, die inhouden dat gehele uiterwaarden worden verlaagd.

Dat laatste kan hetzij met behoud van de huidige gebruiksfunctie(s) (genoemd: Aanvullende Maatregel 1), hetzij met natuurontwikkeling in de gehele uiterwaard (genoemd: Aanvullende Maatregel 2). Uiterwaardplannen en/of de genoemde aanvullende maatregelen betekenen een meer of minder grootschalige herinrichting van het uiterwaardengebied.

Het verwijderen van 'hydraulische knelpunten' houdt in dat allerlei soorten stroombelemmerende obstakels worden verwijderd of aangepast om de doorstroming te bevorderen. Er zijn veel soorten hydraulische knelpunten, die eerst allemaal zijn geïnventariseerd door de waterstanden in de rivier grafisch uit te zetten: de zogenaamde *verhanglijn*. Uit die verhanglijn bleek dat stroombelemmering werd veroorzaakt door zaken zoals veerstoeppen, bruggenhoofden, hoogwatervrije terreinen, (hoge en/of dwarse) zomerkaden, vernauwingen in het winterbed (in het bijzonder door schaar dijken, dat wil zeggen dijken die van twee kanten net na elkaar sterk naar de rivier toe buigen), etc.

Zijn er veel ideeën voor het herinrichten van uiterwaarden aangeleverd?

Door provincies, waterschappen en gemeenten zijn meer dan 150 plannen voor herinrichting aangedragen. Het betrof alle 'natuurontwikkelingsplannen'. Deze plannen bestonden uit een soort 'plattegrond', waarop was aangegeven wat voor soort natuur op verschillende plaatsen werd beoogd. Slechts in een aantal gevallen werd aangegeven hoeveel uiterwaardverlaging men daarbij in gedachten had. Daarom zijn voor het onderzoek van ieder plan naast een 0-variant 3 varianten met verlaging onderscheiden, resulterend in:

- Planvariant 0: het plan zonder verlaging;
- Planvariant 1: het plan met een 'maximale verlaging' zonder dat de beoogde natuurontwikkeling in gevaar komt;
- Planvariant 2: het plan met extra verlaging, waarbij een deel van de 'droge en vochtige natuur' werd vervangen door 'natte natuur' en er extra open water werd gerealiseerd;
- Planvariant 3: als variant 1, maar met vegetatiebeheer gericht op het voorkomen van hoge, bossige vegetatieontwikkeling die stroombelemmerend werkt (bijv. door intensieve begrazing, waardoor grasland in stand blijft).



Waterstandsverandering (indicatief) bij uitvoering van uiterwaardplannen zonder verlaging (planvariant 0). De Rijnafvoer is 16.000 m³/s bij Lobith.



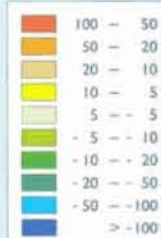
Idem bij uitvoering van uiterwaardplannen met maximale verlaging zonder dat de beoogde natuurontwikkeling in gevaar komt (planvariant 1).



Idem bij uitvoering van uiterwaardplannen met extra verlaging waardoor een deel van de droge en vochtige natuur wordt vervangen door natte natuur en er extra open water ontstaat (planvariant 2).



Idem bij uitvoering van uiterwaardplannen conform variant 1 maar met vegetatiebeheer gericht op het voorkomen van hoge bossige vegetatie-ontwikkeling (planvariant 3).



gemiddelde waterstandsverandering per traject (cm)

Sommige delen van de uiterwaard zijn gevrijwaard van verlaging: beschermde natuurgebieden en stroken langs de dijk en langs het zomerbed die moeten voorkomen dat dijken instabiel worden of het zomerbed zich verplaatst. Deze delen worden 'blijf-afgebeden' genoemd.

Wat zijn de waterstandseffecten van de herinrichtingsplannen zonder afgraven (variant 0)?

Als niet wordt afgegraven leidt de natuurontwikkeling tot hogere begroeiing op plaatsen waar nu vaak nog gras groeit. Dat belemmert de stroom, waardoor de waterstanden hoger worden.

Afhankelijk van het aantal plannen in een bepaald traject en de belangrijkheid van de uiterwaarden voor de afvoer, worden de waterstanden maximaal zo'n 5 cm hoger op de IJssel en maximaal zo'n 10 cm hoger op de Waal en Neder-Rijn.

Dat betekent dus dat de 0-variant niet als waterstandsverlagende maatregel in aanmerking komt, omdat deze de taakstelling – het verlagen van de waterstand ondanks een hogere rivierafvoer – juist verder buiten bereik brengt. Nu is dat geen bezwaar, want de 0-variant is volstrekt hypothetisch (het zou immers tegen alle logica ingaan om natuurontwikkeling zonder uiterwaardverlaging in het stroomvoerende deel van een uiterwaard te realiseren). De 0-variant dient alleen maar als vergelijkingsmateriaal.

En hoe zit het dan met de planvarianten waarin wel wordt afgegraven?

Die leiden wel tot verlaging van de hoogwaterstanden. Planvariant 1, waarbij de geschetste natuurontwikkelingsplannen intact blijven maar de uiterwaard ter plaatse van het plan maximaal wordt verlaagd zonder de natuurontwikkeling in gevaar te brengen, levert een verlaging van de hoogwaterstanden op van gemiddeld zo'n 30 cm op de Waal, en 20 cm op de Neder-Rijn/Lek en IJssel.

Variant 2 levert nog zo'n 10 tot 20 cm meer waterstandsverlaging op, maar de plannen worden 'aangetast': er wordt grotere waterpartijen gerealiseerd en 'standaard natte natuur'. Dat wil zeggen dat neven-doelen inzake natuurontwikkeling niet worden gehaald.

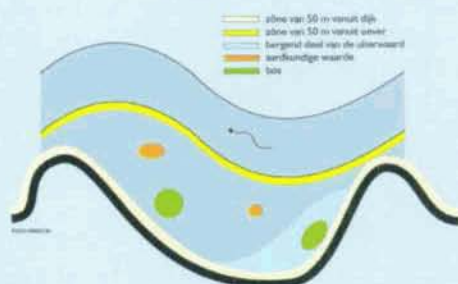
In het algemeen geldt dat uiterwaardverlaging in een natuurontwikkelingsplan de waterstand slechts effectief verlaagt in het riviergedeelte net bovenstrooms van een plan. Alleen door voldoende plannen met elkaar te combineren kan over langere trajecten de waterstand worden verlaagd. Langs de IJssel zijn alle uiterwaardplannen samen dan ook slechts weinig effectief bij het verlagen van de waterstand, grotendeels omdat er maar weinig plannen zijn voorgesteld. Zo is benedenstrooms van Zutphen de verlaging van de hoogwaterstand in planvariant 1 zelden meer dan 10 cm en in variant 2 nog geen 20 cm.

En dat vegetatiebeheer, levert dat nog wat op?

Slechts in 38 plannen was zoveel bos opgenomen dat afwijkend vegetatiebeheer tot een belangrijk verschil van begroeiing zou leiden. Door in die 38 plangebieden bos door grasland te vervangen kan een extra waterstandsverlaging worden bereikt ten opzichte van planvariant 1 van enkele centimeters op de IJssel – waar weinig bos in de voorgestelde plannen voorkwam – tot plaatselijk 15 cm op de Waal – waar veel zachthoutoobos in snelstromende uiterwaarden was voorgesteld. De Neder-Rijn/Lek zit hier tussenin met maximaal zo'n 10 cm extra verlaging.

Behalve die plannen waren er ook nog zogenaamde aanvullende maatregelen, is het niet? Wat houdt dat precies in?

Aanvullende maatregelen zijn ook uiterwaardverlagingen, maar dan niet door bijvoorbeeld gemeenten of provincies aangedragen, maar op het gehele (resterende) gebied losgelaten door het onderzoeksteam. Ze zijn vooral bedoeld om na te gaan hoeveel waterstandsverlaging nu met 'integrale' uiterwaardverlaging te realiseren zou zijn.



Blijf-afgebieden

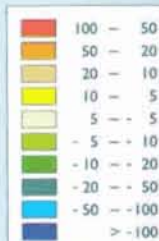
Bepaalde delen van een uiterwaard worden ontzien bij vergraving: een zone van 50 m langs de bandijk en het zomerbed (die eventueel kan worden ingericht als natuurvriendelijke oever), archeologisch waardevolle gebieden, beschermde natuurgebieden en gebieden met intensieve recreatie en/of bebouwing (tenzij deze als een te verwijderen hydraulisch knelpunt zijn aangemerkt)



Waterstandsverandering (indicatief) bij verlaging van de uiterwaarden en handhaving van het vooral landbouwkundig landgebruik (Aanvullende Maatregel 1). De Rijnafvoer is 16.000 m³/s bij Lobith.



Idem bij verlaging van de uiterwaarden waarbij natte natuur en extra open water ontstaan (Aanvullende Maatregel 2).



gemiddelde waterstandsverandering per traject (cm)

Er is onderscheid gemaakt in Aanvullende Maatregel 1 en 2. Bij AM 1 wordt het landgebruik overal gehandhaafd. Landbouwgebied wordt zoveel verlaagd dat nog 60 % van de theoretische opbrengst kan worden behaald. Daarbij blijven alle zomerdijken liggen. Bebouwing blijft staan en voor natuur wordt maximaal verlaagd, ongeveer net zoals in Planvariant 1. Dat wil zeggen dat voor ieder natuurlijk 'ecotootype' is vastgesteld hoe laag het mag worden zonder dat de beoogde natuur 'verdrinkt'. En gras blijft gras.

Bij Aanvullende Maatregel 2 wordt als het ware planvariant 2 toegepast op het gehele gebied. Dat wil zeggen dat er extra waterpartijen worden gerealiseerd en dat de rest wordt verlaagd tot 'standaard natte natuur', dat is veel nat grasland en moeras met een beetje zachthoutoebos. Daarbij verdwijnen plaatselijk de zomerdijken. Bij AM 2 wordt de meeste grond uit de uiterwaarden verwijderd.

Aanvullende Maatregel 1 of 2 kunnen als aanvullingen *rond uiterwaardplannen* worden toegepast, maar ze kunnen ook op *hele uiterwaarden* worden toegepast, ook als daar geen plan in ligt. Dat betekent dat erg veel combinaties van plannen en aanvullende maatregelen mogelijk zijn.

Ook voor aanvullende maatregelen geldt dat ze vrijwel alleen bovenstrooms van de maatregel effect sorteren. Omdat aanvullende maatregelen in alle uiterwaarden kunnen worden toegepast – ze zijn immers relatief los van inpassingvraagstukken in het beleid gedefinieerd – kunnen ze worden ingezet op plaatsen waar de taakstelling (net) nog niet wordt gehaald. Het gaat in die zin echt om *aanvullende* maatregelen, aanvullend aan uiterwaardplannen en het verwijderen van hydraulische knelpunten.

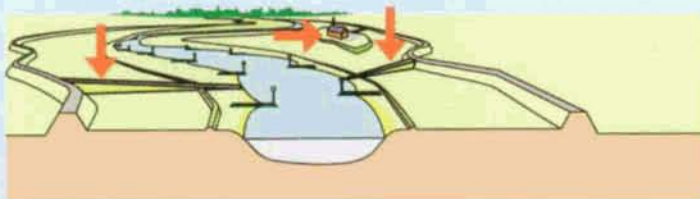
Om een beeld te krijgen van de effectiviteit bij het verlagen van de waterstanden zijn AM 1 en AM 2 toegepast op alle uiterwaarden. Het gaat om 162 individuele uiterwaarden. Daarbij worden wederom de 'blijf-afgebeden' gevrijwaard van verlaging. Bovenstrooms betekent het een forse vergraving, benedenstrooms een geringe, omdat daar de landbouw en de natuur het eerst in het gedrang dreigen te komen; de uiterwaarden in de benedenstroomse trajecten liggen namelijk al vrij laag ten opzichte van de mediane waterstand.

Met AM 1 kan de waterstand langs de Waal worden verlaagd met zo'n 50 cm, langs de Neder-Rijn/Lek en IJssel met zo'n 30 tot 40 cm. AM 2 behelst een veel verdere verlaging van de uiterwaarden en veel extra waterpartijen. De hoogwaterstand kan met AM 2 verlaagd worden met gemiddeld zo'n 80 cm op de Waal en zo'n 60 cm op de Neder-Rijn/Lek en IJssel. Langs alle takken is de waterstandsverlaging het grootst in de bovenstroomse trajecten en het kleinst in de benedenstroomse. Daar wordt het minst verlaagd en bovendien is de opstuwende werking van het benedenrivierengebied en het IJsselmeer (de zogenaamde onderrand) al merkbaar. Aan de uiterste einden is er in het geheel geen verlaging meer merkbaar.

Is herinrichting van de uiterwaarden al niet onderdeel van het bestaande beleid? Hoe verhoudt zich dat?

Inderdaad is herinrichting één van de uitvloeisels van de aanwijzing van grote delen van het uiterwaardengebied als deel van de Ecologische Hoofdstructuur van Nederland. Deze zogenaamde EHS wordt momenteel ruimtelijk precies vastgelegd door de provincies. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in Reservaatsgebied (volledig beschermd), Beheersgebied (landbouwkundig in gebruik, maar met aangepast beheer) en Natuurontwikkelingsgebied, samen RBON-gebieden genoemd. De laatste categorie wordt soms gecombineerd met afgraving, omdat natuurontwikkeling door de ontwikkeling van dichte en hoge vegetatie in veel gevallen tot opstuwung leidt. Dat moet dan worden gecompenseerd.

Bij de localisering 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. Ook bij de inrichting is niet gestreefd naar het verlagen van de waterstanden. Dat leidt in veel gevallen tot een groot aandeel bos- of ruigteontwikkeling op plaatsen waar dit rivierkundig niet goed uitkomt; dat leidt tot opstuwung.



Verwijderen van obstakels in het rivierbed



Lokale dijkverlegging



Voor uitvoering (1998)

Ontgraving en
natuurontwikkeling in de
Baarsemwaard langs de
Neder-Rijn



In uitvoering (1999)

In het kader van de RvR-studie is het waterstandverhogend effect van de al beoogde natuurontwikkelingen berekend, vooral om de discussie tussen rivierbeheer en natuurbeleid te kunnen voeden met feitelijke informatie. In datzelfde kader is ook nagegaan wat het gevolg zou zijn als de Natuurontwikkelingsgebieden zouden worden verlaagd volgens dezelfde principes als de hierboven besproken uiterwaardplannen: maximaal verlaagd, zoals in Planvariant 1.

De uitkomsten tonen aan dat reguliere natuurontwikkeling in het kader van de EHS, mits in alle natuurontwikkelingsgebieden gepaard gaande met uiterwaardverlaging, enige waterstandsverlaging kan opleveren. Wel is het beduidend minder dan met de voor RvR-bedachte uiterwaardplannen, namelijk maximaal 15 cm. Zonder vergraving leidt de realisering van de EHS tot enige waterstandsverhoging, met maximaal 10 cm.

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

In het kader van de afweging RvR-plannen versus EHS-plannen is het belangrijk dat men zich realiseert wat feitelijk met de EHS wordt beoogd. Het gaat om het realiseren van grote oppervlakken natuurgebied met de functies 'kerngebied' en 'verbindingsgebied'. De achterliggende idee is dat het duurzaam voortbestaan van sommige grotere 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.

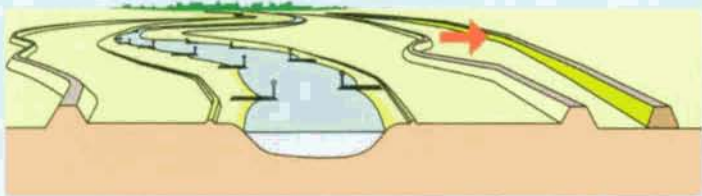
De mate waarin de Ecologische Hoofdstructuur als geslaagd moet worden beschouwd, moet dan ook veeleer worden beoordeeld op basis van de gerealiseerde hectares en op het functioneren als 'ecologisch netwerk' dan op basis van de precieze locatie van natuurontwikkelingsgebieden. Die laatste wordt nu immers vaak vooral bepaald door de gemakkelijke verkrijgbaarheid van grond, maar de noodzaak tot rivierverruiming kan een andere overweging gaan vormen. Op dit aspect zal later bij de bespreking van de alternatieven wat dieper worden ingegaan. Het gaat immers om samenhangen en niet om afzonderlijke maatregelen.

En nu die zogenaamde 'hydraulische knelpunten' ...?

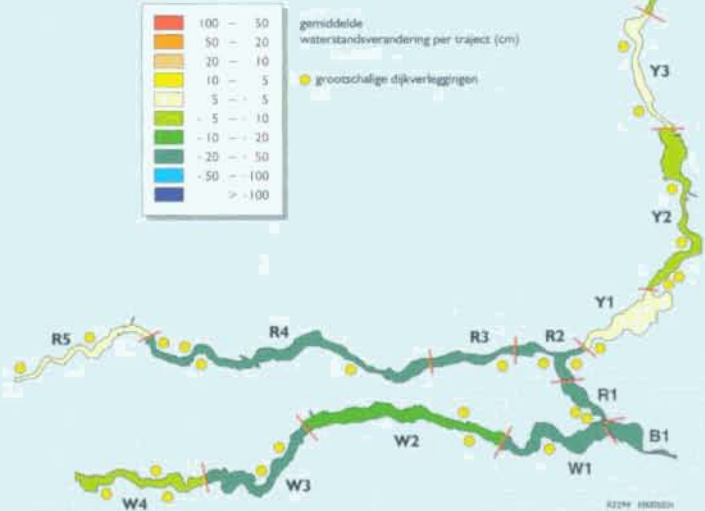
Er is allereerst op basis van de verhanglijn van de waterstand in alle drie Rijntakken nagegaan waar zich hydraulische knelpunten bevonden. Zo zijn er 254 knelpunten gevonden. Vervolgens zijn deze met behulp van topografische kaarten geïdentificeerd als hoogwatervrije terreinen, bruggenhoofden, veerstoepen, etc. Sommige van deze knelpunten beslaan een fors oppervlak, zoals hoogwatervrije (fabrieks)terreinen. Veerstoepen, bruggenhoofden en zomerkades zijn daarentegen veel kleiner.

Niet alle knelpunten komen voor verwijdering in aanmerking, bijvoorbeeld een hoogwatervrij terrein met een nog producerende steenfabriek of een vernauwing in de rivier midden in een stad. Zo zijn de zogenaamde stedelijke knelpunten bewust buiten beschouwing gelaten, omdat de bestuurlijke haalbaarheid van maatregelen daar gering leek. Uiteindelijk is van 126 'knelpunten' bepaald welke waterstandsverlaging met verwijdering te behalen zou zijn. Van deze 126 knelpunten zijn er 31 versmallingen van het winterbed, bijvoorbeeld door schaar dijken. Op dergelijke plaatsen biedt alleen een dijkverlegging soulaas, hetgeen feitelijk een binnendijkse maatregel is. Omdat het meestal om een relatief klein binnendijks oppervlak gaat en het waterstandsverlagend effect van maatregelen aan alle hydraulische knelpunten in één moeite door is bepaald, worden deze 'kleinschalige dijkterugleggingen' hier meegenomen.

Van ieder knelpunt is bepaald welke waterstandsverlaging ermee gerealiseerd kan worden. Tevens zijn de kosten van aanpak van ieder knelpunt begroot. De kosten van het verruimen van bruggenhoofden en het verwijderen van veerstoepen variëren van nog geen 5 miljoen gulden tot ruim 150 miljoen bij een grote verkeersbrug. De kosten voor het weggraven van kades en kleinschalige dijkverlegging liggen meestal in de orde van 10 miljoen gulden per geval, maar het kan oplopen tot meer dan 35 miljoen als er veel huizen moeten worden onteigend. Het verwijderen van hoogwatervrije terreinen kan oplopen tot zo'n 60 miljoen gulden, waarbij onzekerheden rond verontreinigde grond een rol spelen.



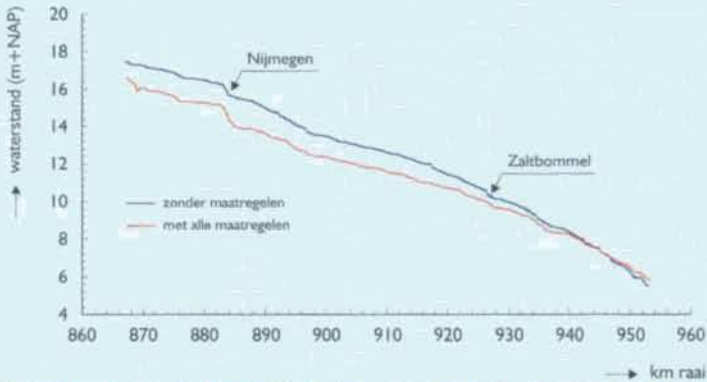
Grootschalige dijkverlegging



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



Stedelijke knelpunten



Verloop van de waterstand op de Waal vóór en na rivierverruimende maatregelen. De Rijnafvoer is 18.000 m³/s bij Lobith.

Nou, laten we dan maar overschakelen op binnendijsse maatregelen. In de uiterwaard hebben we het nu wel zo'n beetje gehad lijkt het. Als eerste dan: op welke plekken zou het achteruitleggen van de bandjken zin hebben?

Alvorens daar op in te gaan is het nodig nogmaals vast te stellen dat het hier gaat over binnendijsse maatregelen ter vergroting van de afvoercapaciteit door het doorsnoodprofiel te vergroten en niet over retentie of berging. Daarover is al eerder gesproken. Dat betekent tevens dat ook de plaats waar grootschalige dijkverlegging nuttig kan zijn kan worden afgeleid uit een bestudering van de verhanglijn van de watersnood op de verschillende Rijnstakken. Rekening houdend met het aantal woningen achter de dijk zijn aldus 33 mogelijke 'grootschalige dijkverleggingen' geïdentificeerd. Dat houdt in dat bij vernauwingen in het winterbed de dijk over een lengte van 1 tot 5 km zo'n 300 tot 600 m naar achter wordt geleid, met één uitschieter van 1000 m. In verband met de grote aantallen betrokken woningen zijn de stedelijke knelpunten wederom buiten beschouwing gelaten.

Wat zijn de effecten van de grootschalige dijkverleggingen?

De 33 dijkverleggingen zijn tamelijk begrotenlijk maar soms ook zeer effectief. Ondanks de kosten die variëren van 10 tot 130 miljoen gulden, zijn de dijkverleggingen alle efficiënter dan 1 mm waterstandsverlaging per miljoen gulden. Nu kan de bereikte waterstandsverlaging van afzonderlijke dijkverleggingen oplopen tot enkele tientallen cm's, maar daar tegenover staan ook dijkverleggingen die slechts cm's verlaging veroorzaken; ook die voldoen echter aan de criteria die eerder zijn geformuleerd als ondergrens voor maatregelen aan hydraulische knelpunten.

De dijkverleggingen zijn vooral effectief bij echte vernauwingen in het winterbed die opstuwingsveroorzaken tot ver bovenstrooms. De gevolgen van de dijkverleggingen voor de waterstand werken daarom ook relatief ver bovenstrooms door. Per dijkverlegging is een plaatselijke verlaging van zo'n 10 tot 20 cm te realiseren.

Langs de Vaaal 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 beperkte dijkverleggingen zijn voorgesteld.

Die stedelijke knelpunten worden steeds buiten beschouwing gelaten. Maar in hoeverre vormen die een knelpunt?

Dat is onderzocht door alle maatregelen waarmee de afvoercapaciteit kan worden vergroot in te zetten en vervolgens nogmaals de verhanglijn van de waterstand te bestuderen. Toen bleek dat sommige van de oorspronkelijke knikken in de verhanglijn na inzet van alle maatregelen alleen nog maar scherper worden. Dat betekent dat sommige knelpunten acuter worden. En dat bleken nu precies de vernauwingen van het rivierbed ter hoogte van steden te zijn.

Rivierverruimende maatregelen bovenstrooms van zo'n vernauwing bieden geen oplossing, omdat als het ware wordt veruimd rond of in een 'stuwmeer', zonder dat de kraan waarmee dit meer wordt geleegd wordt opengezet. Maatregelen benedenstrooms van zo'n vernauwing hebben weinig effect op de waterstanden omdat als het ware aan een dichte kraan wordt gezogen. Ook dat helpt niet. Dat betekent dat de stedelijke knelpunten afbreuk doen aan de effectiviteit van de andere maatregelen en ongunstig kunnen doorwerken in de kosten van samengestelde alternatieven.



Het gebied rondom Arnhem in 1830 en 2000



Deventer tijdens het hoogwater van december 1993



Waalkade in Nijmegen tijdens het hoogwater van december 1993



Overlaat van een groene rivier in werking

De volgende stedelijke knelpunten zijn geïdentificeerd:

Langs de Waal

- Nijmegen
- Zaltbommel

Langs de Neder-Rijn/Lek

- Arnhem

Langs de IJssel

- Zutphen
- Deventer
- Kampen

Het is evident dat ter hoogte van deze stedelijke knelpunten alleen binnendijkse maatregelen nog soelaas kunnen bieden; uiterwaarden ontbreken immers (vrijwel) geheel. Dergelijke maatregelen zijn zoals gezegd niet in een eerder stadium in beschouwing genomen in verband met de verwachte geringe bestuurlijke haalbaarheid; het gaat immers om maatregelen in relatief dicht bebouwde gebieden.

Voor de stedelijke knelpunten zijn daarom maatregelen bedacht van de categorieën:

- grootschalige dijkverleggingen;
- groene rivieren.

Groene rivieren zijn in feite uiterwaarden tussen twee (geleide)dijken waar bij lage afvoeren geen water doorheen stroomt, maar die bij hoog water wel meestromen. Ze kunnen voor landbouwkundige doeleinden worden gebruikt of worden ingericht als natuur- en/of recreatiegebied; ze zijn, kortom, 'groen'.

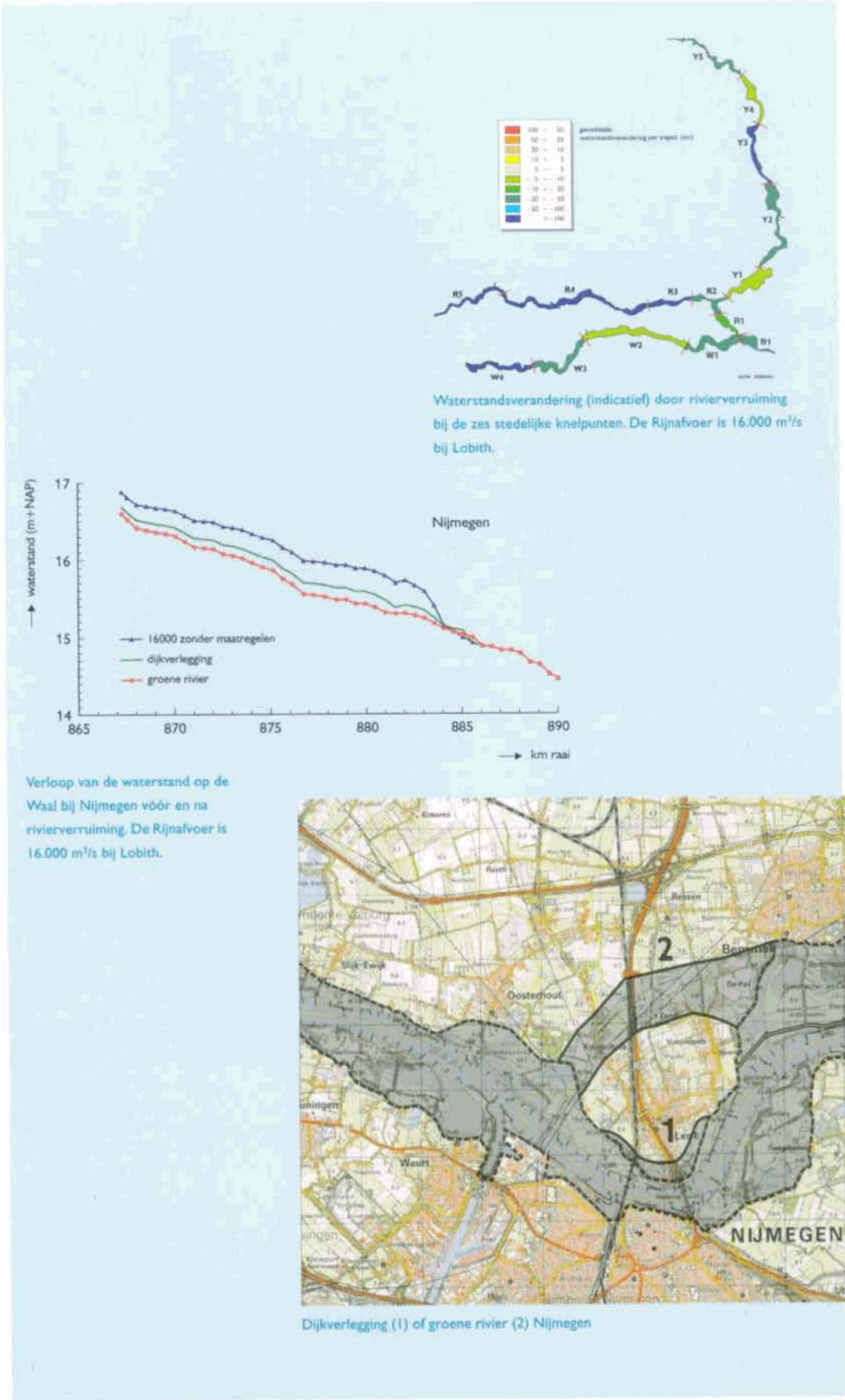
Wat zijn de gevolgen van dergelijke maatregelen bij de stedelijke knelpunten?

Maatregelen op deze plaatsen leiden op de betreffende plek tot een sterke daling van de waterstand. De 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 voorbij de IJsselkop. Dat betekent dat andere maatregelen langs deze rivierdelen misschien overbodig worden, maar ook dat de afvoerverdeling bij de splitsingspunten 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.

De maatregelen zijn wel ingrijpend voor de ruimtelijke inrichting: een fors gebied wordt aan de rivier te leen gegeven ten tijde van hoogwater. Binnendijks wordt buitendijks en dat heeft consequenties voor het (mogelijke) ruimtegebruik. Het betekent dat landbouwschade moet worden gecompenseerd, huizen moeten worden aangekocht, wegen en andere infrastructuur moeten worden aangepast en dergelijke. Deze zaken zijn meegenomen in de kostenschattings van iedere maatregel. Die kostenschattings is noodgedwongen globaal; veel hangt immers af van een eventuele toekomstige inrichting en medegebruik (recreatie, zandwinning in het geval van Nijmegen, e.d.). Ook zijn er onzekerheden rond mogelijk verontreinigde grond.

De kosten van de maatregelen variëren, afhankelijk van plaatselijke factoren en van de gekozen maatregel (soms zijn verscheidene alternatieve maatregelen voorgesteld voor één knelpunt), van zo'n 50 miljoen gulden voor dijkverleggingen benedenstrooms van Kampen en bij Arnhem tot meer dan 400 miljoen gulden voor groene rivieren bij Nijmegen en ten zuiden van Zaltbommel. Ondanks deze hoge kosten zijn maatregelen bij de stedelijke knelpunten erg efficiënt door de forse waterstandsverlaging die ermee bereikt kan worden.



De rivierkundig interessantste maatregelen zijn een groene rivier bij Nijmegen, een groene rivier rond Haften aan de noordzijde van de Waal tegenover Zaltbommel, en groene rivieren bij Zutphen, Deventer en Kampen.

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

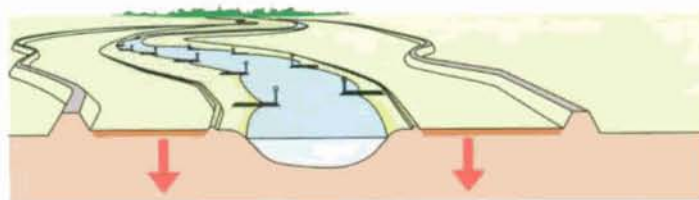
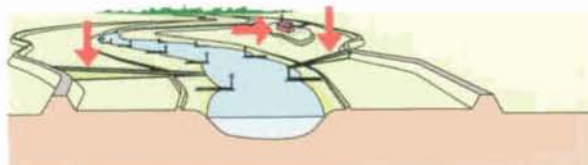
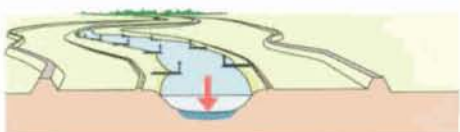
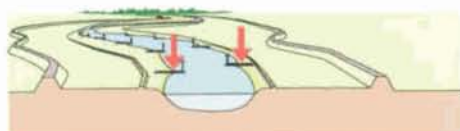
Tja, bij groene rivieren of dijkverleggingen wordt binnendijks natuurlijk buitendijks. Nu zijn in buitendijks gebied kapitaalintensieve vormen van ruimtegebruik minder goed in te passen, maar landbouw, (water)recreatie en natuurontwikkeling zijn alle goed mogelijk. Het land wordt immers gemiddeld maar één of enkele keren per jaar 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. Daarmee kan bebouwing worden voorkomen. Dat biedt de mogelijkheid in de toekomst alsnog andere rivierverruimende maatregelen te nemen, zoals uiterwaardverlaging. Het biedt meer speelruimte.

Ten derde kunnen dergelijke ingrijpende maatregelen worden aangegrepen om de kwaliteit van de omgeving in bredere zin te verbeteren. Enkele van de maatregelen betreffen locaties waar de wegen/of railinfrastructuur niet meer voldoet (Nijmegen, Zutphen), waar plannen voor droge infrastructuur worden ontwikkeld (Kampen), waar stedelijke vernieuwing en sanering van bedrijventerreinen kunnen worden overwogen (Arnhem), e.d. Een kwaliteitsimpuls in de ontwikkeling van de directe woonomgeving is bijvoorbeeld bij Nijmegen denkbaar, terwijl op andere plaatsen (Deventer, Zutphen) juist de 'groene stadsrand' voor recreatieve doeleinden kan worden opgewaardeerd. Dit soort integrale plannenmakerij is vanzelfsprekend geen deel van het RvR-onderzoek geweest. Dat kan slechts in het kader van concretere planvorming met gebruikmaking van de creativiteit en inzet van alle betrokkenen.



Overzicht van maatregelen, globaal geordend naar afnemende efficiëntie



Combineren van maatregelen, meer dan de som der delen?

Ja en nee. Uiterwaardverlaging heeft tot gevolg dat meer water door de uiterwaarden stroomt. Kaden en hoogwatervrije terreinen gaan in een dergelijke situatie meer als een stroombelemmering fungeren. Het verwijderen hiervan wordt dan effectiever. Om de gedachten te bepalen: het verwijderen van alle kaden op een deel van de Midden-Waal geeft een waterstandsval van 15 cm bij maatgevende afvoer. Met een uiterwaardverlaging van 1,5 m wordt een waterstandsval van 30 cm gerealiseerd. Met beide maatregelen samen dalen de maatgevende waterstanden 60 cm.

Door verdiepen van het zomerbed stroomt tijdens hoogwater een kleiner deel van de afvoer door de uiterwaarden. De effectiviteit van maatregelen zoals uiterwaardverlaging of verwijdering van zomerkaden neemt dan af.

Overzicht afvoervergrotenende maatregelen

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

Om op die vraag antwoord te geven kunnen we de typen maatregelen vergelijken op het punt van de hydraulische efficiëntie, dat wil zeggen: hoeveel waterstandsverlaging krijgen we terug per geïnvesteerd miljoen gulden? Dan blijkt dat de grootschalige verlegging van dijken, groene rivieren, zomerbedverdieping en kribverlaging het gunstigst scoren. Het verwijderen van hydraulische knelpunten scoort gemiddeld. 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 trajecten 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 –, maar het verwijderen van hydraulische knelpunten en uiterwaardverlaging kan bijna langs de gehele lengte van de drie Rijntakken wel aan tenminste één van beide oevers.

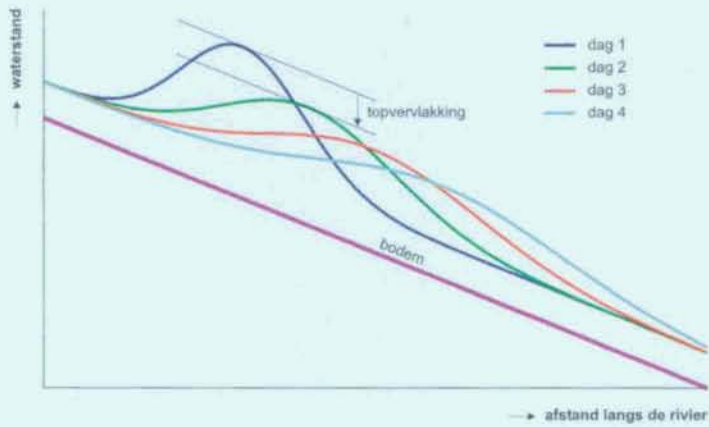
Tenslotte geldt dat kosten-effectiviteit natuurlijk maar één kant van de zaak is. Bij uiterwaardverlaging is soms sprake van meervoudige doelstellingen: niet alleen waterstandsverlaging, maar ook natuurontwikkeling en eventueel delfstoffenwinning kunnen tot de doelstellingen worden gerekend. In hoeverre met dijkverlegging soortgelijke meervoudige doelen kunnen worden gediend is nog minder verkend. Voor de natuur lijkt het niet ongunstig als het areaal uiterwaardgebied wordt vergroot. Zelfs bij landbouwkundig gebruik kan toch een voor natuur en landschap aardig geheel ontstaan. Van groene rivieren bij stedelijke knelpunten zou men zich kunnen voorstellen dat ze kansen bieden om een 'onvolkomen Ecologische Hoofdstructuur' te verbinden.

Dus met een type maatregel komen we er niet. Kun je de effecten van de maatregelen dan simpelweg bij elkaar optellen, of beïnvloeden de (gevolgen van) 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 *flessehal* kan de werking van een pakket maatregelen teniet doen. Een beetje vergelijkbaar met het bekende verhaal van de zwakste schakel Omgekeerd kunnen maatregelen elkaar versterken. Zo wordt bijvoorbeeld het verwijderen van hydraulische knelpunten effectiever naarmate een uiterwaard meer is verlaagd. Er moeten dus maatregelenpakketten worden samengesteld, waarmee de waterstanden over de gehele lengte van de Rijntakken worden verlaagd tot onder de taakstelling: de huidige Maatgevende Hoogwaterstand (MHW). Daarbij kan gebruik worden gemaakt van alle typen maatregelen; die ter verkleining van de afvoer, die waarmee de piek kan worden afgetopt, en die waarmee de afvoercapaciteit wordt vergroot. Bij dat alles moet ook nog rekening worden gehouden met mogelijke veranderingen van de golfvorm om te voorkomen dat problemen worden afgewenteld op benedenstrooms gelegen rivierdelen.

Ook voor de natuur geldt dat de werking van zogenaamde ecologische netwerken, waar de Ecologische Hoofdstructuur voor is bedacht, berust op goede verbindingen en dus het geheel van natuurkerngebieden en verbindende corridors ofwel 'ecologische infrastructuur'.

De overige gevolgen, zoals voor wonen, landbouw, oppervlakken natuur, etc. zijn overwegend direct gerelateerd aan de oppervlakken van ingrepen. Op dat punt kan vaak wel simpel worden opgeteld.



Principeschets van topvervlakking: in benedenstroomse richting komt de top van een afvoergolf steeds lager te liggen



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

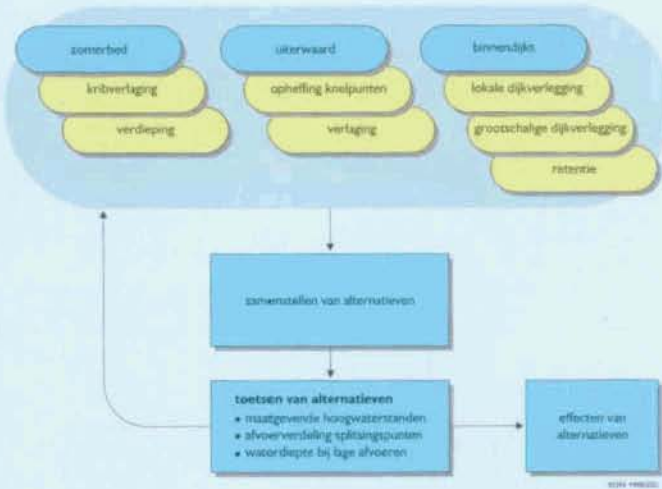
Nu we het er toch over hebben nog even: welke gevolgen hebben de genoemde rivierverruimende maatregelen voor de waterstanden benedenstrooms van het RvR-gebied?

Door afvoervergroten maatregelen dalen ter plekke en bovenstrooms bij gelijk blijvende afvoer de waterstanden. Benedenstrooms kunnen de waterstanden echter ook veranderen omdat de hoogte, vorm en snelheid van een afvoergolf door de maatregelen beïnvloed worden. Door versnelling van de afvoer kan een afvoergolf eerder en hoger aankomen in benedenstrooms gelegen riviertrajecten. Bij het vertragen van een afvoergolf is het tegenovergestelde het geval. Zo kan dus *topvervlakking* optreden, maar de golf kan ook steiler worden.

Sommige rivierverruimende maatregelen leiden tot het sneller doorlopen van een afvoergolf en dus waterstandverhoging, andere vertragen een afvoergolf en betekenen verdere topvervlakking. Daarbij moet bedacht worden dat de topvervlakking in de Rijntakken in de huidige situatie slechts enkele centimeters bedraagt, met een maximum van 10 cm over de hele lengte van de IJssel met z'n brede uiterwaarden.

Uit verkennende berekeningen is gebleken dat de volgende rivierverruimingsmaatregelen geen of marginaal versnellende gevolgen hebben voor de loop van een afvoergolf door de Rijntakken: zomerbedverdieping, kribverlaging, stroomvoerende uiterwaardverbreding, en uiterwaardverlaging in combinatie met de ontwikkeling van relatief veel open water en gras. Uiterwaardverlaging met natuurontwikkeling, waarbij relatief veel bos en ruigte ontstaat, heeft een enigszins vertragend effect: de hoogwaterstanden in benedenstroomse trajecten dalen hierdoor bijna 5 cm. Bij een – hypothetische – inzet van alle gedefinieerde grootschalige dijkverleggingen als extra bergend uiterwaardoppervlak zou de daling 15 à 20 cm kunnen zijn. Dit is vergelijkbaar met het effect van retentie in bijvoorbeeld het Rijnstrangengebied.

Deze kennis is van betekenis bij het samenvoegen van pakketten van maatregelen tot samengestelde alternatieven voor het gehele rivierengebied. Een belangrijk uitgangspunt in RvR is namelijk dat het pakket van maatregelen in de RvR-alternatieven niet mag leiden tot hogere waterstanden in het benedenrivierengebied: geen 'afwenteling' van problemen.



Combineren van maatregelen tot alternatieven, rivierkundig toetsen van alternatieven en bepalen van gevolgen van alternatieven

Er zijn veel combinatiemogelijkheden van rivierverruimende maatregelen. In het RvR-onderzoek is een aantal motto's voor de inrichting van de Rijntakken gekozen. Bij elk motto hoort een draalboek waarin de wijze en volgorde van het combineren van maatregelen zijn vastgelegd. Een aantal inrichtingsmogelijkheden met bijbehorende effecten zijn dus verkend, met de verwachting dat hiermee voldoende informatie wordt aangedragen voor het besluitvormingsproces door de beleidsmakers.



Uiterwaarden met een hoge landschappelijke en/of cultuurhistorische waarde

Combineren van maatregelen tot alternatieven

Maatregelen zijn nog geen alternatieven: hoe kom je met zoveel mogelijke maatregelen nu tot alternatieven?

Alle maatregelen die hiervoor zijn besproken zijn te gebruiken als ingrediënten van alternatieven voor herinrichting van de Rijntakken. Door de veelheid aan ingrediënten zijn ook onnoemelijk veel alternatieven samen te stellen. Die moeten bovendien aan de taakstelling voldoen: voorkomen dat bij een verhoogde maatgevende afvoer de waterstanden hoger worden dan de huidige maatgevende hoogwaterstanden.

Om enig gevoel te krijgen omtrent de veelheid aan mogelijke alternatieven zijn verschillende motto's gekozen: een soort 'hoofdgerechten' dus. Zo zijn de volgende motto's gebruikt:

- Herinrichting van uiterwaarden in lijn met de Ecologische Hoofdstructuur.
- Grootschalige herinrichting van veel meer uiterwaarden: meer uiterwaardverlaging en meer natuurontwikkeling.
- Herinrichting maar met behoud van uiterwaarden die cultuurhistorisch of landschappelijk waardevol zijn.
- Minimale kosten, met alleen maatregelen tussen de dijken (buitendijks).
- Minimale kosten met alle beschikbare maatregelen.

Vervolgens is voor ieder motto een draaiboek opgesteld, een soort recept, waarin de volgorde van het toevoegen van ingrediënten is vastgelegd. Zodra het alternatief aan de veiligheidsdoelstelling voldoet, wordt gestopt met het toevoegen van ingrediënten.

Hoeveel alternatieven zijn nu eigenlijk bekeken?

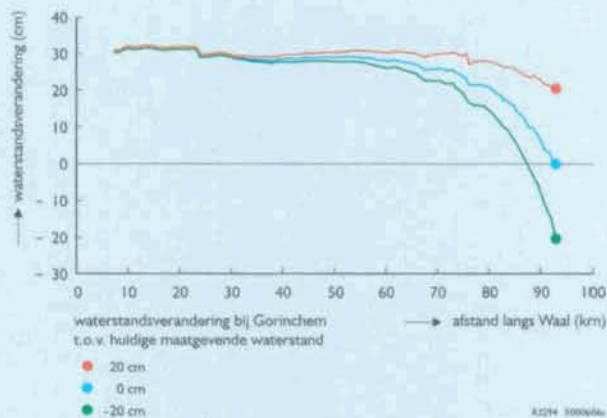
Hierboven is al aangegeven dat er vijf motto's zijn gebruikt. Dat betekent dat er in eerste instantie 5 alternatieven zijn ontwikkeld en op hun consequenties beoordeeld.

Alleen de eerste drie zijn tot in detail tegen het licht gehouden. De 4e en 5e zijn vooral ontwikkeld om te zien of het ook (veel) goedkoper zou kunnen door minder te letten op 'staand beleid', zoals voor de ontwikkeling van natuur in het uiterwaardengebied (de Ecologische Hoofdstructuur), maar daarentegen de kosteneffectiviteit van de afzonderlijke maatregelen als uitgangspunt te gebruiken.

Daarmee is echter nog niet het gehele antwoord gegeven. Deze 5 alternatieven zijn namelijk ontwikkeld voor een afvoer van 16.000 m³/s, een afvoer die op korte termijn maatgevend is. Maar er is ook gekeken of ze kunnen worden uitgebouwd voor het geval de maatgevende afvoer in de toekomst nog zou toenemen tot zo'n 18.000 m³/s. Omdat alternatief 4 (met alleen buitendijkse maatregelen) zoveel water niet aankan, zijn slechts 4 van de 5 alternatieven verder uitgewerkt voor hogere afvoeren.

Tenslotte is gaande het onderzoek de vraag opgekomen of het niet minder ingrijpend zou zijn de verdeling van water over de verschillende Rijntakken te heroverwegen. Met andere woorden: kan niet alle extra afvoer over de Waal of bijvoorbeeld over de Waal en de IJssel, waarbij de Neder-Rijn/Lek wordt ontzien. Daarvoor zijn 3 alternatieven aangepast, voor zowel 16.000 als 18.000 m³/s afvoer.

De doorontwikkelingen voor hogere afvoer noemen we simpelweg *doorontwikkelingen*. De alternatieven met gewijzigde afvoer noemen we *varianten*. Dus toch 5 alternatieven, in verschillende varianten (met 3 verschillende waterverdelingen over de Rijntakken) en indien mogelijk doorontwikkeld voor hogere maatgevende afvoeren.



Verandering van de hoogwaterstanden (indicatief) op de Waal bij een toename van de maatgevende Rijnafvoer van 15.000 naar 16.000 m³/s, bij gelijk blijvende afvoerdeling op de splitsingspunten van de Rijntakken en bij verschillende waarden voor de waterstandsverhoging op de overgang met het benedenrivierengebied

Bij de ontwikkeling van inrichtingsalternatieven in het RvR-project - het IVB-project moest toen nog beginnen - is verondersteld dat op de overgang van het boven- naar benedenrivierengebied, bij Gorinchem, de waterstandsverhoging door toenemende Rijnafvoeren en zeespiegelrijzing kon worden teruggebracht tot 20 cm boven de huidige maatgevende hoogwaterstanden. Dit kan alleen door in het benedenrivierengebied maatregelen te treffen. Voor deze aanpak is gekozen omdat op dat moment onduidelijk was welke waterstandsverlagende maatregelen in het benedenrivierengebied mogelijk waren. De randvoorwaarde bij Gorinchem bepaalt in belangrijke mate de (on)mogelijkheden om op het benedenstroomse traject van de Waal de waterstandsverhogingen teniet te doen. De figuur geeft een indruk van de gevoeligheid van de randvoorwaarde bij Gorinchem voor de waterstandsverandering op de Waal. Een randvoorwaarde van - 20 cm betekent dat in het benedenrivierengebied meer verruimingsmaatregelen dan strikt noodzakelijk worden getroffen. De Waal profiteert hiervan in die zin dat de hydraulische taakstelling kleiner wordt en dus minder verruimingsmaatregelen nodig zijn.



Waal op de overgang naar het benedenrivierengebied

Welke randvoorwaarden zijn er eigenlijk gebruikt? En werken die door in alternatieven?

Er zijn inderdaad randvoorwaarden die doorwerken in de alternatieven, en wel van tweeërlei aard. Zo is bijvoorbeeld aangenomen dat:

- op de korte termijn de maatgevende waterstand aan de monding van de IJssel in het Ketelmeer gehandhaafd zal kunnen worden op het huidige niveau;
- de maatgevende hoogwaterstand op de overgang naar het benedenrivierengebied zowel op de korte als op de lange termijn zo'n 20 cm hoger zou kunnen worden (dit bleek later een te pessimistische aanname).

En bij het samenstellen van alternatieven is er tevens van uitgegaan dat:

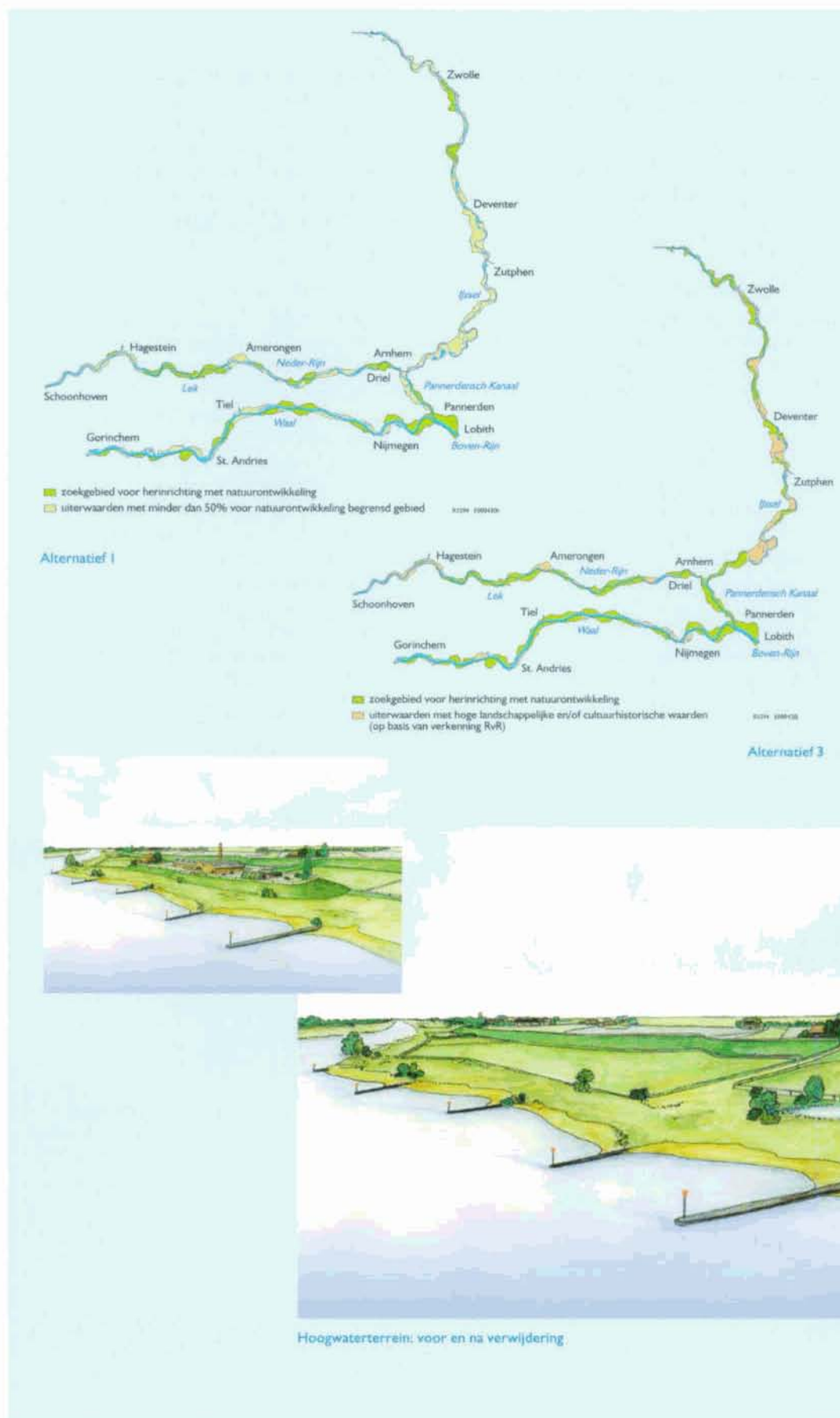
- retentie bij alle alternatieven buiten beschouwing wordt gelaten; daarom wordt in de alternatieven vooral vergroting van de afvoercapaciteit nagestreefd;
- de zogenaamde INTERREG-projecten in alle alternatieven onverkort worden uitgevoerd; dat bijzonder natuur- of landschapswaarden en grote boscomplexen met een beschermde status ontzien worden; daar zijn de uiterwaardplannen op aangepast;
- de waterverdeling over de drie Rijnakken in eerste instantie gelijk blijft; daarom zijn in de basialternatieven maatregelen langs alle Rijnakken nodig;
- zomerbedverdieping op de benedenstromse trajecten pas bij doorontwikkeling voor hogere afvoeren mag worden ingezet, vanwege ongewenste gevolgen voor de ontwikkeling van de rivierbodem;
- maatregelen bij de stedelijke knelpunten voor eerst buiten beeld blijven.

Er is evenmin rekening gehouden met de overhoogte van de dijken die in het verleden zijn aangelegd, noch met de extra ruimte die is ontstaan door autonome bodemdaling, de zogenaamde Boertienruimte.

Zijn de randvoorwaarden in de tijd nog veranderd; en zo ja: waarom?

Ja, er zijn drie randvoorwaarden veranderd. Ten eerste is het vast houden aan de afvoerverdeling over de Rijnakken ter discussie gesteld, onder meer omdat in de integrale Verkenning Benedenrivierengebied werd geconstateerd dat extra afvoer over de Lek zeer grote mogelijkheden zou opleveren. Daarom zijn varianten van sommige alternatieven uitgewerkt. Ten tweede zag het er bij de integrale Verkenning Benedenrivierengebied naar uit dat het mogelijk is de maatgevende hoogwaterstanden op de overgangen van Waal en Lek naar het benedenrivierengebied op de korte termijn – maar zelfs op de lange – op het huidige niveau te handhaven. Daar is bij de interpretatie van de onderzoeksresultaten van RVR-alternatieven rekening mee gehouden.

Ten derde is toch nog onderzocht hoe maatregelen rond de ergste stedelijke knelpunten eruit zouden kunnen zien en wat ze zouden kunnen betekenen voor sommige alternatieven, ongeacht de bestuurlijke complexiteit. Deze maatregelen zijn niet in de alternatieven verwerkt, maar afzonderlijk bekeken.



Alternatieven voor 16.000 m³/s

alternatieven 16.000

Hoe zijn de alternatieven samengesteld?

Voor een maatgevende afvoer van 16.000 m³/s zijn de 5 motto's allereerst uitgewerkt in alternatieven, waarbij de afvoerverdeling gelijk is gehouden aan de huidige. De 5 'basisalternatieven' zijn samengesteld volgens 'recepten' die zijn opgenomen in een 'kookboek'. De maatregelen vormen daarbij de ingrediënten, die successievelijk worden toegevoegd, tot een alternatief is verkregen dat aan de hydraulische taakstelling voldoet. De eerste stappen van elk recept hebben betrekking op de basisingrediënten: zo beginnen de alternatieven 1, 2 en 3 alle met meer of minder natuur-ontwikkelingsplannen in variant 1 (maximaal verlaagd). Daarna worden bij alle drie alternatieven hydraulische knelpunten verwijderd, waar nodig en in volgorde van efficiëntie.

Het motto van *alternatief 1* is "herinrichting van uiterwaarden in lijn met de Ecologische Hoofdstructuur". Dat kan worden begrepen als het doortrekken van door het water-, natuur- en ruimtelijke-orderingsbeleid vastgestelde richtingen. In alternatief 1 worden alle uiterwaardplannen meegenomen die vallen binnen de begrenzing van natuurontwikkelingsgebieden (> 50 % van de uiterwaard natuurontwikkeling) of in uiterwaarden waar recentelijk al herinrichting heeft plaatsgevonden. Als ook met het verwijderen van de hydraulische knelpunten de taakstelling nog niet is gehaald worden uiterwaarden verlaagd met behoud van functie (aanvullende maatregel 1).

In *alternatief 2* is het motto "meer natuurontwikkeling". Dat betekent dat in alle uiterwaarden natuurontwikkeling plaatsvindt, ook in landschappelijk of cultuurhistorisch waardevolle. In alternatief 2 worden alle uiterwaardplannen meegenomen zonder rekening te houden met reservaat- of beheersgebieden. Tevens wordt extra landbouwgrond, buiten de door andere overheden aangeleverde planomgrenzingen, omgezet in (verlaagd) natuurontwikkelingsgebied. Omdat er langs de IJssel weinig uiterwaardplannen beschikbaar zijn, is daar deze zogenaamde aanvullende maatregel 2 vaak toegepast (natuurontwikkeling buiten uiterwaardplannen). Dit alternatief geeft inzicht in de maximale mogelijkheden die gecombineerde natuurontwikkeling en uiterwaardverlaging bieden.

Alternatief 3 is gericht op het behoud van uiterwaarden die cultuurhistorisch of landschappelijk waardevol zijn. In dit alternatief worden dan ook gehele uiterwaarden met hoge visueel ruimtelijke of cultuurhistorische landschapswaarden uitgezonderd: o.a. landgoederenzones en uiterwaarden met grote kans op archeologische vondsten. Omdat vooral langs de IJssel veel waardevolle uiterwaarden liggen, mogen daar maar weinig uiterwaardplannen mee doen. Dit alternatief leidt tot grotere karakterverschillen tussen de verschillende Rijntakken (veel natuurontwikkeling langs de Waal, behoud van cultuurlandschap langs de IJssel).

In alle uiterwaardplannen wordt grond eerst afgegraven tot een voor natuurontwikkeling minimaal vereiste hoogte. Vervolgens gaan de grote (smaak)verschillen optreden tussen de alternatieven 1, 2 en 3. In alternatief 1 blijft veel landbouwgrond gehandhaafd, in alternatief 2 wordt veel extra natuurontwikkeling gerealiseerd en in alternatief 3 wordt vaker van extra diepe uiterwaardverlaging gebruik gemaakt, omdat in de waardevolle uiterwaarden geen grote oppervlakken mogen worden vergraven.

De samenstelling van alternatieven 4 en 5 is volgens een relatief simpel recept: overal waar nodig en beginnend met de meest efficiënte, dat wil zeggen kosten-effectieve, maatregelen en zo verder. In *alternatief 4* mogen alleen buitendijkse maatregelen meedoen, in volgorde van efficiëntie. Achterliggend idee is dat een dergelijk alternatief bestuurlijk gemakkelijker is te realiseren dan *alternatief 5*, waarin ook de vaak zeer efficiënte dijkverleggingen mee mogen doen.

Halen die alternatieven de doelstelling: het voorkomen van dijkverhoging?

Met alle alternatieven is het mogelijk een tot 16.000 m³/s vergrote maatgevende afvoer af te voeren, vrijwel zonder dat dijkverhoging nodig is. In eerste instantie leek dit onmogelijk in vooral de benedenstroomse trajecten van Waal (bij Vuren) en Lek (tot Schoonhoven): de zogenaamde overganggebieden. Over totaal zo'n 40 tot 80 km rivierlengte werd de taakstelling overschreden met zo'n 10-20 cm.



Landhoofd van een brug: voor en na verwijdering



Vernauwing van het rivierbed: voor en na verwijdering

	alternatief	uiterwaard- verlaging (ha)	dijkverlegging		verwijderen knelpunten (aantal)	krib- verlaging (aantal)
			(km)	(ha)		
voortzetting huidig beleid meer natuurontwikkeling behoud landschapswaarden minimale kosten buitendijks minimale kosten	1	5500	30	650	32	0
	2	9000	20	450	16	0
	3	6500	25	600	18	0
	4	3000	25	550	22	1800
	5	1500	50	1900	32	1800

Alternatieven en rivierverruimende maatregelen

Omdat de Integrale Verkenning Benedenrivieren echter uitwees dat daar aan de taakstelling kon worden voldaan, kwam deze ook binnen bereik van de RvR-alternatieven: de 'onderrandvoorwaarde' veranderde van +20 cm tot 0 cm, waardoor veel minder opstuwing optreedt. Het lijkt dan ook mogelijk dat met waterstandsverlagende maatregelen dijkverhoging ook in die laatste 40-80 km kan worden voorkomen. Misschien valt daarbij op de Waal en de Lek aan enige verdieping van het zomerbed niet te ontkomen. En het meest benedenstroomse IJsseltraject blijft een probleem vormen, ondanks de onveranderde IJsselmeerpeilen. Oplossingen liggen hier in zomerbedverdieping, een eventuele groene rivier bij Kampen en/of toch dijkverhoging. Hier moet nog nader onderzoek aan worden uitgevoerd.

Een kanttekening is dat in veel gevallen de nu gedefinieerde maatregelen niet precies daar liggen waar nog verdere waterstandsverlaging gewenst is. Dat betekent dat om op één plaats de taakstelling te halen soms maatregelen benedenstrooms moeten worden ingezet waardoor daar de waterstand te veel daalt: het zogenaamde doorschieten. Dat treedt plaatselijk op in alle alternatieven, in het ene sterker dan in het andere. In veel gevallen betekent het echter dat in de praktijk minder sterk hoeft te worden ingegrepen, bijvoorbeeld door minder vergaande uiterwaardverlaging.

Waaruit bestaan de basialternatieven voor 16.000 m³/s nu in concreto?

Met name de alternatieven 2, 3 en 1 berusten, in deze volgorde, op grootschalige verlaging van uiterwaarden, met meer of minder natuurontwikkeling. Dat laatste gaat gepaard met functieverandering: landbouwgrond wordt natuur. In alternatief 1 is dat het meest beperkt. In alternatief 1 worden om de waterstandverlaging te realiseren in verhouding de meeste knelpunten verwijderd en het vaakst op kleine schaal dijken verlegd.

In de alternatieven 4 en 5 is uiterwaardverlaging een minder frequent gebruikt type maatregel, omdat kostenminimalisatie hierbij voorop staat en natuurontwikkeling geen expliciet doel is. In alternatief 4 wordt vaker gebruik gemaakt van het verwijderen van hydraulische knelpunten, en in alternatief 5 van de in veel gevallen nog kosteneffectievere grootschalige dijkverleggingen. In deze beide alternatieven is ook de zeer kosteneffectieve maatregel kribverlaging opgenomen.

Zomerbedverdieping in de meest benedenstroomse trajecten is pas bij de doorontwikkelingen voor 18.000 m³/s in beschouwing genomen. Retentie en maatregelen bij de stedelijke knelpunten zijn bij de ontwikkeling van de alternatieven geheel buiten beeld gebleven. Dit waren keuzen vooraf.

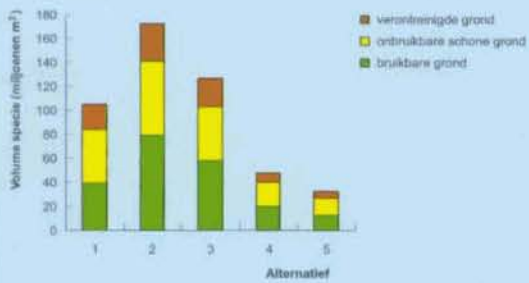
De eigen aard van de alternatieven blijkt ook uit het overzicht hiernaast van oppervlakken verlaging, aantal kilometers dijkverlegging, e.d. De gemiddelde uiterwaardverlaging bedraagt in alle gevallen zo'n 2 m, maar dat is een gemiddelde met inbegrip van waterpartijen die worden verlaagd tot zo'n 3 m onder mediaan rivierpeil. Op veel plaatsen zal het minder zijn.

Wat betekenen de alternatieven nu in termen van bijvoorbeeld hoeveelheid te verwijderen grond en kosten?

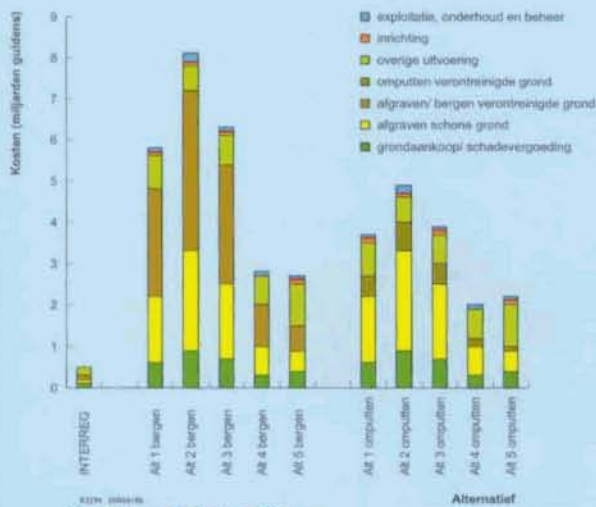
Vrijkomende grond

Bij uiterwaardverlaging komen grote hoeveelheden grond vrij, die deels bruikbaar zijn, deels onbruikbaar en deels verontreinigd. Onderscheiden zijn:

- beton- en metselzand;
- ophoogzand;
- klei die kan worden gebruikt in de baksteenindustrie;
- schoon, maar onbruikbaar materiaal;
- verontreinigde grond ("klasse 4").



Alternatieven en vrijkomende grond



Alternatieven en kostenopbouw



Beton- en mortelzand, ophoogzand, en klei voor de baksteenindustrie kunnen in principe worden afgezet op de markt. Afhankelijk van de voortvarendheid waarmee de alternatieven in de praktijk worden uitgevoerd en de daarmee gepaard gaande productiesnelheid van de nuttige materialen kan er in de tijd een onevenwichtigheid ontstaan tussen aanbod en vraag en zijn (tijdelijke) opslagvoorzieningen nodig. Daarnaast komt schoon materiaal vrij dat geen specifieke nuttige toepassing heeft en moet worden opgeslagen. De verontreinigde specie die vrijkomt moet ergens worden opgeslagen.

De hoeveelheden grond die vrijkomen in de verschillende alternatieven variëren van zo'n 30 miljoen m³ in alternatief 5 tot 172 miljoen m³ in alternatief 2. Hiervan is gemiddeld zo'n 15-20 % verontreinigd en zo'n 40 % bruikbaar. De rest is onbruikbaar.

Kosten

Uiterwaardverlaging is een kostbare aangelegenheid, vooral omdat met de opslag en berging van verontreinigde grond hoge kosten zijn gemoeid. In geval van functieverandering moeten soms ook grote oppervlakken worden aangekocht. Ook de andere typen maatregelen zijn soms duur, bijvoorbeeld het doorlatend maken van bruggenhoofden, of dijkverleggingen als daar veel huizen bij betrokken zijn.

Grosso modo bestaan de kosten voor het realiseren van RvR-alternatieven uit de volgende posten:

- uitgaven voor aankoop van grond en gebouwen en/of eventueel schadeloosstelling;
- uitgaven voor uitvoering van werken (voorbereiding, uitvoering, toezicht, e.d.);
- (toekomstige) uitgaven voor exploitatie, onderhoud en beheer.

Van alle alternatieven is een globale kostenschatting gemaakt op basis van de uitgaven (cash flow benadering). Dat betekent bijvoorbeeld dat voor terreinen die eigendom van de overheid zijn en die in waarde dalen omdat ze een andere bestemming krijgen, geen kosten in rekening worden gebracht. Er vinden immers geen uitgaven plaats.

De kostenschatting is vooral bedoeld om de orde van grootte aan te geven. In verband met de grote onzekerheden over kosten in het algemeen, maar in het bijzonder over marktontwikkelingen (bij het plotseling beschikbaar komen van grote hoeveelheden zand of klei) en over de opslag van verontreinigde grond (afvoeren of omputten), zijn de kostenschattingen slechts indicatief. Omdat vooral 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 veilig op te slaan in het gebied zelf. De verontreinigde grond wordt dan opgeslagen 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 zo'n 0,5 miljard gulden in alternatief 5 tot ruim 3 miljard gulden in alternatief 2, waarin het meest wordt gegraven.

Hiernaast is de kostenopbouw van de 5 alternatieven met respectievelijk bergen en omputten van verontreinigde grond weergegeven. De gepresenteerde kosten zijn indicatief en alleen bedoeld voor onderlinge vergelijking.

Nog even door over die kosten, want dat zijn nogal bedragen. Kunnen de kosten niet lager uitvallen?

Jawel, daarom wordt er ook zo nadrukkelijk op gewezen dat er sprake is van een globale kostenschatting. Bovendien zijn de RvR-alternatieven nog slechts onderdeel van een verkenning die betrekking heeft op gehele riviertakken. Het gaat nog lang niet om besteksklare plannen.

Lagere kosten kunnen onder meer worden bereikt door maximaal gebruik te maken van de bestaande 'overhoogte' van dijken. Op veel plaatsen zijn de dijken in het verleden namelijk gedimensioneerd op een hogere maatgevende afvoer.



Opslibbing van de Stijfsche Waard langs de Waal



Ten tweede zijn door de 'autonome' bodemdaling de maatgevende waterstanden bij dezelfde afvoer de laatste decennia iets gedaald. Bij recente dijkverhogingen is daar nog geen rekening mee gehouden. Dit levert de zogenaamde Boertienruimte, genoemd naar de commissie die hier op heeft gewezen. Deze Boertienruimte kan nu tot besparingen leiden. In het Advies Ruimte voor Rijntakken wordt voor de totale extra ruimte die er nog tussen de dijken bestaat een mogelijke besparing van circa 25 % genoemd.

Ten derde kan op kosten worden bespaard door maatregelen in of ten behoeve van het benedenrivierengebied. Die kunnen de zogenaamde onderrandvoorwaarde verlagen en zo het opstuwingseffect verkleinen. Daardoor hoeven in de meest benedenstroomse trajecten minder maatregelen te worden ingezet.

Ten vierde kan door uitgekiend ontwerpen de hoeveelheid grondverzet worden beperkt. Dit komt nog bij de besparing die al met omputten kan worden bereikt. Volgens het Advies Ruimte voor Rijntakken is een besparing van nog eens 20 % op grondverwerking heel wel denkbaar.

En hoe zit het met gevolgen voor de scheepvaart?

Voor de scheepvaart is het vooral van belang hoe de rivierbodem zich ontwikkelt. Dat bepaalt de diepte en breedte van de vaargeul. Uit berekeningen is gebleken dat de alternatieven nauwelijks invloed hebben op de totale hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk die nodig is om de vaargeul in stand te houden. Er zijn slechts marginale verschuivingen in de plaats van aanzandingen en uitschuring. Bij de keuze en dimensionering van maatregelen was er namelijk al rekening mee gehouden dat het stromingspatroon tussen zomerbed en uiterwaarden niet of nauwelijks mocht veranderen.

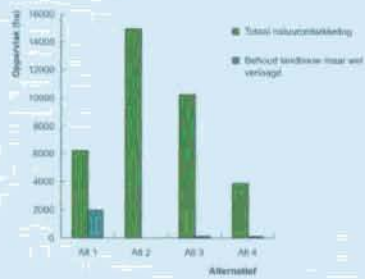
Slibben verlaagde uiterwaarden niet snel weer op?

Ja, in zoverre dat de sedimentatiesnelheid in het meest ongunstige geval plaatselijk met een factor 10 zou kunnen toenemen, namelijk als zowel de uiterwaard fors wordt verlaagd en als de zomerkades worden verwijderd. In absolute zin gaat het dan om een opslibbing met ruim 1 cm/jaar gemiddeld, tegen ruim 1 mm/jaar gemiddeld in de huidige situatie. De opslibbing bereikt daarmee weer de snelheid die ook in de afgelopen eeuwen heeft plaatsgevonden, zij het zeer plaatselijk. Een optimist kan dan zeggen: we kunnen weer meer dan eeuw vooruit, een pessimist dat uiterwaardverlaging uiteindelijk niet duurzaam is.

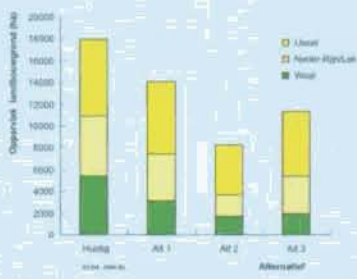
Op dit moment zijn er forse verschillen in opslibbing tussen de takken. Van bijna 0,5 mm gemiddeld op de Neder-Rijn/Lek tot bijna 3 mm gemiddeld op de Waal. Bovendien zijn er grote verschillen per uiterwaard in afhankelijkheid van de overstromingsdiepte en de aanwezigheid van zomerkades. Hoe lager gelegen, des te sterker de opslibbing. In nevengeulen kan wel gemiddeld 5 tot 10 cm aanslibbing per jaar optreden. En bij afwezigheid van zomerdijken is de opslibbing ook significant hoger dan achter zomerkaden.

Door uiterwaardverlaging wordt de opslibbing bevorderd; dat zal dus het sterkst zijn in alternatief 2 en het minst in alternatief 1. Door het verwijderen van zomerdijken wordt de opslibbing eveneens bevorderd; dat is ook het meest in alternatief 2 en het minst in alternatief 1. Voor alternatief 3 is geschat dat de opslibbing met zo'n 40 % zal toenemen ten opzichte van de huidige situatie. Gemiddeld zal er zo'n 2 mm/jaar sedimenteren in plaats van ruim 1 mm, maar op de Waal betekent dit een toename van nog geen 3 naar bijna 4 mm/jaar. Alternatief 1 zal daar iets onder en alternatief 2 iets boven zitten.

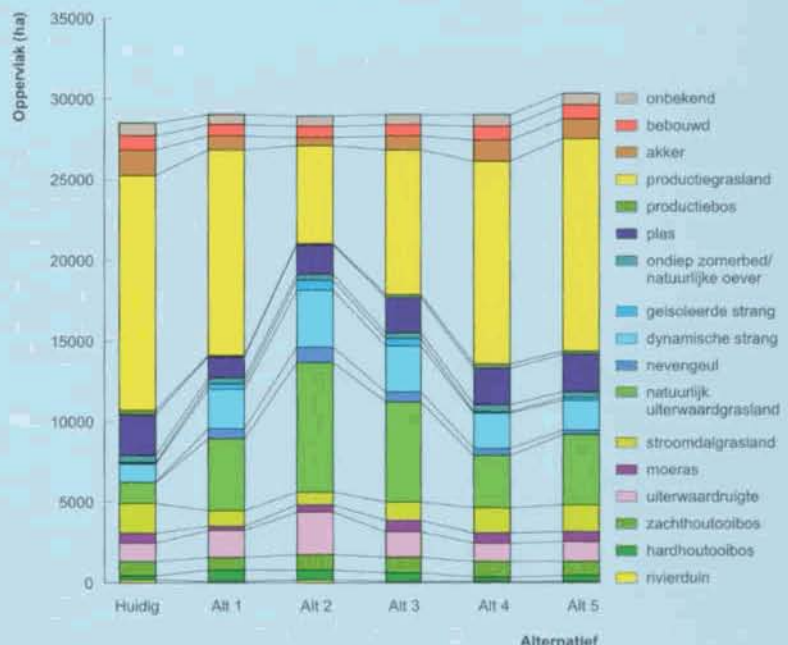
Kortom: de opslibbing zal toenemen, maar niet hoger worden dan deze in het nog niet zo verre verleden is geweest. Het opslibbingsproces dat geleidelijk is uitgedempt door de relatieve daling van het zomerbed wordt weer versneld. Er zullen grote lokale verschillen zijn, waarbij sommige verlaagde uiterwaarden als een soort zandvang kunnen gaan functioneren. Dit vereist dat bij concrete planvorming rekening wordt gehouden met sedimentatieprocessen en dat na inrichting de beheerder extra waakzaam is.



Alternatieven en oppervlakte natuur



Alternatieven en oppervlakte landbouw



Alternatieven en ecotoopverdeling

En de landbouw en natuur zullen bij al die ingrepen zeker ook wel fors veranderen?

Grondgebruik

Het verlagen van uiterwaarden kan soms met behoud van functie, maar in veel gevallen is natuurontwikkeling een voor de hand liggende optie die ook aansluit bij het beleid om de Ecologische Hoofdstructuur vorm te geven. Dat gebeurt in ieder geval in de uiterwaardplannen die in de alternatieven zijn opgenomen. In alternatief 2, met als motto meer natuurontwikkeling, gebeurt het nog eens extra, ook buiten de plangebieden. Daar wordt Aanvullende Maatregel 2 (extra verlaging met natuurontwikkeling) ingezet.

Hiernaast is aangegeven hoeveel landbouwgrond resteert in de alternatieven waarin uiterwaardverlaging een belangrijke rol speelt. Dit is niet bepaald voor de alternatieven 4 en 5, omdat daarvan niet alle gevolgen in beeld zijn gebracht. In die beide alternatieven wordt meer gebruik gemaakt van het verwijderen van knelpunten en dijkverleggingen en is kribverlaging toegepast, waardoor minder landbouwgrond verloren gaat.

Het verwijderen van knelpunten, zoals hoogwatervrije terreinen, en dijkverleggingen hebben natuurlijk ook consequenties voor het grondgebruik. Met name landbouwkundig gebruik en bewoning moeten in die gevallen aangepast of opgegeven worden. Bij het verwijderen van hoogwatervrije terreinen zal bebouwing vaak moeten worden gesloopt. Het gaat om totaal zo'n 50 (alternatief 3) tot 80 (alternatief 1) bouwwerken langs bijna 300 km riviertakken, waaronder huizen, fabrieken en schuren. Bij dijkverlegging is sloop niet altijd nodig, maar wordt de bebouwing wel buitengedijkt. Als die bebouwing hoog genoeg staat zijn de gevolgen klein, maar in andere gevallen betekent het dat het water de bebouwing kan bereiken. Het aantal bouwwerken dat wordt buitengedijkt varieert eveneens van zo'n 50 (alternatief 2) tot zo'n 80 (alternatief 1).

Tenslotte zullen gebouwen in te verlagen gebied soms hun landbouwkundige functie verliezen. Sloop zal daarentegen vaak niet direct nodig zijn. Alles bij elkaar gaat het om zo'n 200 (alternatief 3) tot 300 (alternatief 2) bouwsels van allerlei aard.

Natuurontwikkeling

Waar landbouwgrond wordt omgezet in natuur is een interessante vraag hoeveel natuur er dan wel niet bijkomt en wat voor soort natuur dat dan wel wordt. In de figuur hiernaast is aangegeven welk soort natuur – in termen van zogenaamde ecotopen – verwacht mag worden in het gehele uiterwaardgebied in de verschillende alternatieven. De getallen zijn gebaseerd op voorspellingen die een indicatie geven van het soort natuur dat kan ontstaan als functie van de hoogte boven rivierpeil en uitgaande van een bepaalde begrazingsintensiteit. In uiterwaarden moet namelijk door begrazing worden voorkomen dat dichte aaneengesloten bossen ontstaan in het stroomvoerende deel van de uiterwaard, omdat anders de afvoer te zeer belemmerd wordt.

Allereerst wordt de totale hoeveelheid extra natuur beïnvloed door het extra oppervlak dat aan de uiterwaarden wordt toegevoegd door dijkverlegging. Daarbij wordt namelijk uitgegaan van functieverandering. Daardoor laat alternatief 5 het grootste totaaloppervlak zien. Vervolgens is het oppervlak van de huidige uiterwaarden dat uit landbouwproductie wordt genomen bepalend. Daarbij wordt het maaiveld verlaagd, waardoor een bepaald soort natuur tot ontwikkeling kan komen. Met name in alternatief 2 komt dan ook veel natuur tot ontwikkeling, maar een groot deel daarvan is water. Dat vindt z'n oorsprong in het feit dat ruige – en dus hydraulisch ruwe – natuur de afvoer van water sterker belemmert dan glad productiegrasland, wat moet worden gecompenseerd door meer uiterwaardverlaging: dus meer waterpartijen.



Flap de Moeyer (Foto Natura)



Wim Weesink (Foto Natura)

Alternatief 3: geschiktheid voor
Paapje, Roerdomp en Middelste
bonte specht



Franz Kovacs (Foto Natura)



Omdat rivierafvoer en bosontwikkeling zich niet goed verhouden is uitgegaan van begrazing om sterke bosontwikkeling tegen te gaan. Veel mensen zullen natuurontwikkeling echter associëren met bos. Een enkele jaren geleden voor het rivierengebied geformuleerd streefbeeld gaat ook uit van veel meer bos. Daarom is nagegaan of het mogelijk is in de stroomvluwe delen als nog een fors areaal natuurnatuurlijk oobos tot ontwikkeling te laten komen. Het lijkt mogelijk tenminste 2500 ha bos te laten ontstaan, waarbij ruimschoots aan het streefbeeld wordt voldaan. Daarvoor zou wel nog eens 700 ha extra aan de landbouw moeten worden onttrokken.

Al met al kan worden geconstateerd dat vooral de alternatieven waarin veel wordt gegraven veel extra natuur opleveren (2 en 3), terwijl dat in alternatieven 1, 4 en 5 minder is, maar toch nog meer dan in de huidige situatie. Alternatief 5 haalt de meeste winst uit de dijkverleggingen, waarbij binnendijks productiegrasland wordt omgezet in natuurnatuurlijk uiterwaardgrasland, maar dat is vanzelfsprekend een keuze. Verder is er in dit alternatief nauwelijks sprake van functieverandering.

Een interessante bijkomende vraag is hoe de natuurontwikkeling, die hier toch een beetje een bijproduct is van rivierverruiming, zich verhoudt tot beleidsdoelstellingen, met name of en hoe deze bijdraagt tot de Ecologische Hoofdstructuur. Dit betekent ten eerste: hoe is het gesteld met de overlap met initiatieven van de provincies om die Ecologische Hoofdstructuur te begrenzen? Dit blijkt te variëren van zo'n 25 tot 45 % voor alleen de natuurontwikkelingsgebieden en van zo'n 45 tot 65 % voor de gehele begrenzing, inclusief reservaat- en beheersgebieden. Uit deze cijfers blijkt dat plannen die zijn bedacht ter verruiming van de rivier maatregelen op andere plaatsen inhouden dan wanneer alleen vanuit natuurontwikkelingsoogpunt naar de uiterwaarden wordt gekeken.

Een tweede vraag is: wat betekent het voor diersoorten waar die hele Ecologische Hoofdstructuur nu juist voor is opgezet? Dat is bepaald met behulp van een habitat-geschiedenismodel. Daaruit bleek dat de gevolgen sterk verschillen per soort, waarbij in ieder alternatief andere soorten bevoordeeld worden, omdat de habitateisen nu eenmaal verschillen. Wat goed is voor het Paapje (kleinschalig extensief gebruik cultuurland) is minder gunstig voor de Roerdomp (rietland) of de Middelse bonte specht (hardhoutoobos) en omgekeerd.

Is er nog andere effecten gekeken?

Jazeker, het voor RvK vastgestelde beoordelingskader omvat in totaal 13 beoordelingsaspecten, waaronder gebruiksfuncties zoals scheepvaart, recreatie en wonen, maar ook abiotische natuur- en cultuurwaarden en landschapsbeeld. Het beoordelingskader is weergegeven in de tabel op bladzijde 121.

De eerste 6 beoordelingsaspecten zijn voor alle 5 alternatieven en varianten gekwantificeerd. De overige alleen voor de basisalternatieven 1, 2 en 3.

In de tabel zijn van boven naar beneden eerst de randvoorwaardelijke aspecten (veiligheid) en de eigenschappen van de alternatieven (zoals kosten en flexibiliteit) genoemd. Daarna volgen de aspecten die betrekking hebben op economische gebruiksfuncties en natuur- en cultuurwaarden. De effecten op deze aspecten zijn beschreven in de notitie Stand van Zaken Ruimte voor Rijnstaken.

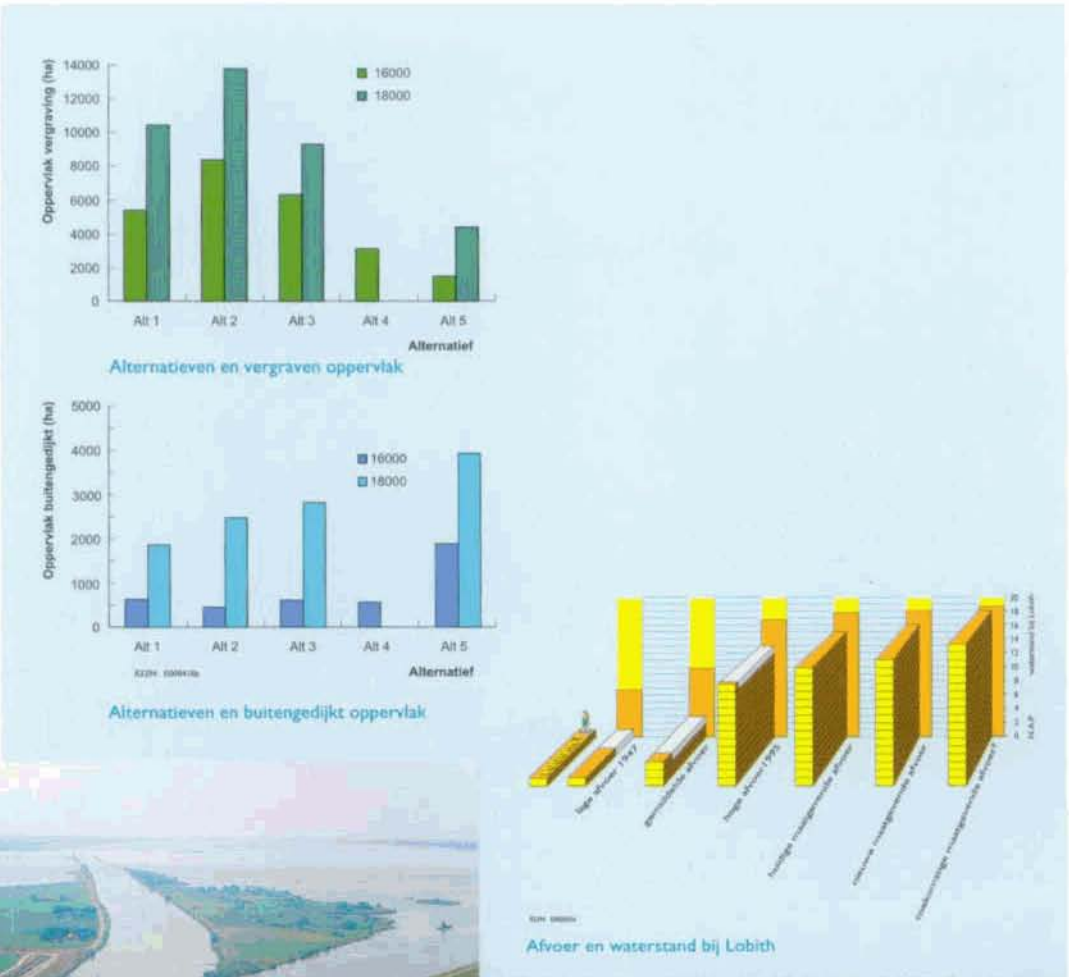


Ontgronding, natuurontwikkeling en recreatie in de Blauwe kamer langs de Neder-Rijn bij Rhenen

beoordelingskader in RvR

beoordelingsaspecten		alternatieven	beoordelingscriteria (en meeteenheden)
veiligheid	hoogwaterstand	alle	Verandering maatgevende hoogwaterstand in het studiegebied Verandering maatgevende hoogwaterstand bij de benedenstroomse grenzen
	riviermorfologie	alle	Morfologische stabiliteit van de rivier (modelberekeningen en kwalitatief)
realisatietermijn		alle	Schatting realisatietermijn op basis van de "zwakste schakel" (soort en omvang maatregel, procedures, techniek)
flexibiliteit		alle	Mate waarin een alternatief met behoud van het eigen karakter uitgebouwd kan worden bij een afvoer > dan 16.000 m ³ /s (kwalitatief)
kosten		alle	Kosten civieltechnische maatregelen
			Kosten berging, sanering vervuilde grond
			Kosten herstel kabels en leidingen
			Inrichtingskosten (natuur, landschap)
scheepvaart	hinder	alle	Volume onderhoudsbagger
delfstoffenwinning		alle	Vrijkomende specie in categorieën (beton- en metselzand, ophoogzand, klei bruikbaar in de baksteenind., onbruikbare schone grond, kl.4 specie)
wonen en werken	ruimtegebruik	1 t/m 3	Aantal te verwijderen bouwwerken
			Aantal bouwwerken in te verlagen uiterwaard
			Aantal bouwwerken die worden "buitengedijkt"
			Aantal bouwwerken die in retentiegebied komen te liggen
landbouw		1 t/m 3	Wijzigingen in areaal landbouwgrond
			Wijzigingen in landbouwkundige gebruikswaarde
			Aantasting bedrijven met afhankelijkheid van uiterwaarden
			Bedrijfsgebouwen die hun functie dreigen te verliezen
recreatie		1 t/m 3	Mogelijke aantasting recreatieve voorzieningen, routestructuren en recreatief medegebruik (kwalitatief)
			Nieuwe mogelijkheden voor recreatief gebruik (kwalitatief)
grondwater	binnendijs	1 t/m 3	Verandering (amplitude) grondwaterstand
			Verandering grondwaterstromen
			Verandering grondwaterkwaliteit
natuur	levende natuur	1 t/m 3	Realisatie EHS-arealen (per categorie RBON-gebied)
			Mogelijke aantasting (wettelijk) beschermde natuurgebieden
			Wijzigingen in arealen ecotopen
			Ruimtelijke samenhang tussen ecotopen (buitendijs, en met binnendijs, kwalitatief)
	aardkundige fenomenen	1 t/m 3	Aantal ha uiterwaardverlaging in uiterwaarden met beleidsmatige vermelding vanwege aard- of bodemkundige waarden
cultuurhistorie	archeologie	1 t/m 3	Mogelijk beïnvloede gebieden met hoge archeologische verwachtingswaarde
	historische geografie	1 t/m 3	Mogelijk beïnvloede waarden/waardevolle gebieden
landschap	landschapsbeeld	1 t/m 3	Mogelijke aantasting/versterking ruimtelijke kwaliteit Beïnvloeding van landschappelijke samenhang/karakter (kwalitatief)

alternatieven 16.000



Monding van IJssel in Ketelmeer:
hogere maatgevende waterstanden
door zeespiegelstijging!



Boven-Rijn bij Lobith

Doorkijk 18.000 m³/s

Dus het is mogelijk een afvoer van 16.000 m³/s veilig af te voeren. Maar wat als het nou meer wordt dan die 16.000, wat is er dan nodig?

Het is natuurlijk onzeker hoe de afvoer van de Rijn zich in de toekomst gaat ontwikkelen. Daar is aan het begin van dit rapport al op gewezen. Daarom is ook onderzocht of de alternatieven konden worden 'uitgebouwd' op een zodanige wijze dat ze een fors grotere afvoer veilig kunnen verwerken zonder het karakter van de alternatieven – zeg maar: de motto's – wezenlijk geweldig aan te doen. Dat is gedaan per riviertak en voor een afvoer van 18.000 m³/s bij Lobith. Zo'n afvoer is op grond van natuurlijke klimaatsontwikkelingen denkbaar en valt ook nu al binnen de onzekerheidsmarges van de statistiek die wordt gebruikt voor het bepalen van de maatgevende afvoer. Er wordt op dit moment bovendien vanuit gegaan dat dit de maximale afvoer is die ons land kan bereiken voordat in Duitsland de dijken alom beginnen over te lopen.

Voor welke alternatieven is deze 'doorkijk' gemaakt en halen die de doelstelling?

Dat is gedaan voor de basisalternatieven 1, 2 en 3 en voor alternatief 5. Met alternatief 4 lukte het niet om zo'n grote afvoer te verwerken zonder dijkverhoging. In dat alternatief mogen immers alleen de in de 'RvR-gereedschapskist' opgenomen buitendijkse maatregelen worden ingezet en die zijn uiteindelijk onvoldoende om zo'n grote afvoer overal veilig te laten passeren.

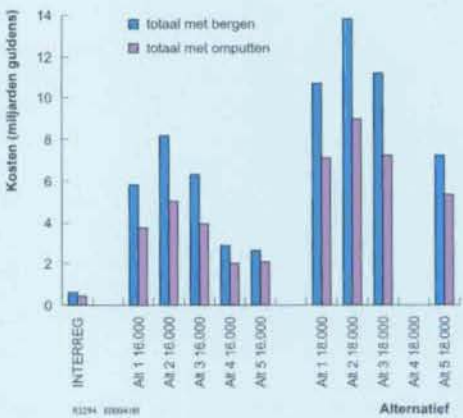
In geen van de alternatieven lukt het om, ondanks zomerbedverdieping, in de meest benedenstroomse trajecten aan de taakstelling te voldoen. Zelfs niet als de waterstanden op de overgang naar het benedenrivierengebied ook op langere termijn gehandhaafd zouden kunnen worden. In de IJsseldelta is de situatie nog problematischer, omdat hier een verhoging van de waterstand van zo'n 20 cm wordt verwacht. Dijkverhoging lijkt daar op de lange termijn onvermijdelijk.

Behalve voor de meest benedenstroomse trajecten geldt dat de alternatieven 1, 2 en 3 weliswaar uiteindelijk allemaal aan de hydraulische taakstelling kunnen voldoen, maar dat daarvoor wel zo'n beetje 'alles uit de kast' moet. In het kookboek is er ook in voorzien dat in deze drie alternatieven uiteindelijk alle ingrediënten uit de 'gereedschapskist' mogen worden toegevoegd, inclusief kribverlaging, grootschalige dijkverleggingen en uiteindelijk zelfs zomerbedverdieping in de meest benedenstroomse trajecten. Dat betekent dat de volgorde van toevoegen wel verschilt per alternatief, maar dat uiteindelijk vrijwel alle toegestane ingrediënten worden toegevoegd; de smaakverschillen tussen de alternatieven 1, 2 en 3 worden dan ook kleiner, het worden allemaal hutspotten of 'prutjes'. Vanaf een bepaalde afvoer veranderen ze van karakter ten opzichte van de oorspronkelijk geformuleerde motto's. Wel blijft er in alternatief 1 meer uiterwaard in landbouwkundig gebruik, terwijl in alternatieven 2 en 3 meer natuurontwikkeling wordt gerealiseerd.

Veranderen van karakter: wat wordt daar mee bedoeld? Gebeurt dat op alle takken even snel?

Het veranderen van karakter houdt in dat het motto dat voor een bepaald alternatief geldt feitelijk niet meer helemaal opgaat. Voor alternatief 2 bijvoorbeeld is het motto "meer natuurontwikkeling in de uiterwaarden" en dit betekent dat het recept in het kookboek begint met het inzetten van alle uiterwaardplannen, gevolgd door aanvullende natuurontwikkeling rond de plangebieden. Bij afvoeren hoger dan 16.000 m³/s moet in toenemende mate gebruik worden gemaakt van maatregelen zoals zomerbedverlaging, kribverlaging en grootschalige dijkverleggingen. Maatregelen bij de stedelijke knelpunten zijn hierbij nog in het geheel niet in beschouwing genomen.

Aangezien alternatieven 1, 2 en 3 beogen aan de taakstelling te voldoen met maatregelen in de uiterwaarden, dus zonder grootschalige dijkverleggingen en zonder zomerbedverlaging, kan worden gesteld dat het karakter van die alternatieven wezenlijk wordt aangetast als dat toch nodig blijkt. Voor alternatief 2 is dat bij zo'n 16.500 m³/s het geval, bij alternatief 3 al bij 16.000 m³/s. De reden voor dit verschil is dat alternatief 3 als motto heeft het behoud van natuur- en landschapswaarden. Dat betekent dat in een aantal uiterwaarden geen vergraving kan worden toegestaan en bijvoorbeeld dijkverlegging noodgedwongen eerder in beeld komt.



Alternatief 5 – dat hoofdzakelijk is ontwikkeld als vergelijkingsmateriaal – kan als enige wel grotendeels aan de doelstelling voldoen zonder dat het karakter onder druk komt, omdat het motto toestaat dat hier (vrijwel) alle maatregelen worden ingezet, mits in volgorde van efficiëntie. Dat levert geen beperkingen op, maar ook geen duidelijk karakter: het is van begin af aan al een soort hutspot. In de praktijk wordt begonnen met het inzetten van dijkverleggingen, want die zijn het efficiëntst. Omdat ook in dit alternatief bij doorontwikkeling de ingrediënten dreigen op te raken moeten wel steeds minder efficiënte maatregelen worden toegevoegd, waardoor de kosten per eenheid extra rivierafvoer steeds sneller stijgen.

Niet op alle riviertakken wordt het karakter van een alternatief even snel aangetast. De belangrijkste reden daarvoor is dat niet langs alle takken evenveel rivierverruimingsplannen zijn voorgesteld: de meeste liggen langs de Waal, de minste langs de IJssel. Voor alternatief 3 geldt bovendien dat waardevolle uiterwaarden niet mogen worden aangetast: die liggen voor het grootste deel langs de IJssel, waardoor daar minder 'speelruimte' is. Het gevolg is dat langs de IJssel het eerst andere maatregelen dan uiterwaardverlaging in of rond plangebieden moeten worden ingezet.

Als uitbouw van de alternatieven tot 18.000 m³/s nu zoveel voeten in de aarde heeft: wat zijn dan wel niet de gevolgen?

Omdat in ieder alternatief gebruik moet worden gemaakt van vrijwel alle toegestane uiterwaardplannen en overige uiterwaardverlaging wordt een veel groter oppervlak vergraven en komt veel meer grond vrij dan in de alternatieven voor 16.000 m³/s. De verschillen tussen de doorontwikkelde alternatieven 1, 2 en 3 komen dan ook vooral voort uit het feit dat in alternatief 2 alle uiterwaarden mogen worden vergraven, in alternatief 1 functiebehoud wordt nagestreefd en in alternatief 3 veel uiterwaarden onaangetast moeten blijven.

Alternatief 5 maakt gebruik van de meest efficiënte maatregelen, en daar horen alle grootschalige dijkverleggingen bij (maar nog niet de maatregelen bij de stedelijke knelpunten; die zijn nog buiten beschouwing gebleven).

De kosten van grondaankoop en vergraving bepalen het grootste deel van de kosten, zodat het kostenoverzicht hiernaast een reflectie is van de mate van vergraving in de verschillende alternatieven. Ter vergelijking zijn ook de kosten van de alternatieven voor een afvoer van 16.000 m³/s gegeven; en de kosten van de INTERREG-maatregelen, die deel uitmaken van alle alternatieven. Zoals al eerder opgemerkt kon alternatief 4 niet voor een hele hoge afvoer worden doorontwikkeld. Ook nu geldt weer dat flinke kostenbesparingen mogelijk zijn door verontreinigde en onbruikbare grond niet af te voeren maar 'om te putten'.

De gevolgen van deze doorontwikkelde alternatieven voor landbouw, wonen, natuur, landschap, en dergelijke zijn alle evenredig ingrijpender. Ze zijn niet uitgebreid in beeld gebracht, omdat het er vooral om ging te verkennen of het mogelijk was met de beschikbare maatregelen een afvoer van 18.000 m³/s veilig via de Rijntakken af te voeren.

Afvoerverdeling over de Rijntakken in 1880

'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 Noorderlekdiijk 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 tachtigjarige oorlog; een onzedelijke strijd, die tusschen landzaat en landzaat gevoerd wordt.'

Ingenieur R.P.J. Tutein Nolthenius in Watervrede (1880)
(De waterplaat, 1987)



Mogelijke maatregelen in het benedenrivierengebied (IVB-project)



Lintbebouwing langs de Lek

Afvoerverdeling anders?

Wordt er al rekening gehouden met de mogelijkheden de extra afvoer te verwerken in het benedenrivierengebied en het IJsselmeer?

Bij het verkennen van de mogelijkheden hogere afvoeren te verwerken op de Rijntakken is allereerst gekeken naar het beheersgebied van directie Oost-Nederland van Rijkswaterstaat. De extra afvoer van Waal en Neder-Rijn moet vervolgens worden verwerkt in het benedenrivierengebied. Of dat mogelijk is, is onderzocht in het project IVB: Integrale Verkenning Benedenrivieren. Extra afvoer over de IJssel komt op het IJsselmeer terecht; dat kan leiden tot verhoging van de waterstanden op het IJsselmeer met alle bijkomende problemen. Dat is onderzocht in het project WIN: Waterhuishouding In het Natte hart.

Uit IVB komt het beeld naar voren dat extra afvoer op de Neder-Rijn/Lek zeer moeilijk te verwerken is en alleen met zeer ingrijpende en zeer kostbare binnendijkse maatregelen. Dat komt doordat de Lek benedenstrooms van Schoonhoven slechts smalle uiterwaarden kent terwijl op of vlak achter de dijk lintbebouwing voorkomt. Binnendijs bevinden zich 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 vooral rond de Biesbosch mogelijkheden lijken te bestaan extra afvoer te verwerken. Om die redenen is in IVB ook verkend of extra afvoer op de Lek niet naar het zuiden kan worden geleid, hetzij langs de Diefdijk naar de Linge, hetzij via het Merwedekanaal. Dat zijn zeer ingrijpende en dure maatregelen. Het ligt dan meer voor de hand de extra afvoer maar meteen bij de Pannerdense Kop door de Waal te sturen, veronderstellende dat dit mogelijk is.

Vanuit een nationale optiek wordt hier over het IJsselmeer allereerst opgemerkt dat de omvang ervan veel groter is dan die van het zogenaamde Noordelijk Deltabekken, dat wil zeggen de omgeving van Hollands Diep en Haringvliet, maar ook de wateren in en rond Groot-Rotterdam. Het IJsselmeer vormt het grootste zoetwatergebied van Nederland. Dat betekent dat opvang van hoge afvoer hier relatief langdurig plaats kan vinden, ook als spuien op de Waddenzee tijdelijk wordt bemoeilijkt bij hoge zeestand (stormvloed). Bovendien is het oppervlak van het IJsselmeer relatief groot in verhouding tot de dijk lengte rond het meer. Dat betekent dat de kosten van eventuele aanpassing van dijken lager zullen liggen dan in West-Nederland, waar in het Noordelijk Deltabekken de oeverlengte vele malen groter is bij een geringer bergend oppervlak.

Een extra afvoer over de IJssel zal op het IJsselmeer zeker een verergering betekenen van de problemen die nu al bestaan bij het handhaven van het streefpeil in het IJsselmeer. Daar staat tegenover dat de verhoging van de extreme meerpeilen bij een extra toevoer van 1000 m³/s volgens verkennende berekeningen slechts zo'n 20 cm is. Voor wat dat betekent is het gegeven relevant dat voor het overgrote deel van de dijken rond het IJsselmeer niet het meerpeil maatgevend is, maar stormopzet. Alleen voor het scharnierpunt (ongeveer de lijn Stavoren-Enkhuizen) is het meerpeil doorslaggevend. Dijkversterking lijkt ook hier niet meteen nodig, maar is – ook in verband met de stabiliteit van de dijken – wel een punt van aandacht. Op de benedenloop van de IJssel kunnen opwaaiing en opstuwing bij een hoger meerpeil verder landinwaarts doorwerken.

Als IVB constateert dat de Neder-Rijn/Lek een probleem vormt, kan de extra afvoer dan niet over de Waal, of over de IJssel?

Ja, naar aanleiding van de bevindingen in IVB lag het voor de hand de afvoerverdeling ter discussie te stellen en te bezien of de extra Rijnafvoer niet allemaal over de Waal of over Waal en IJssel samen zou kunnen, waarbij de Neder-Rijn/Lek wordt ontlast. Daartoe is bepaald hoeveel extra afvoer met welke (combinaties van) maatregelen uit de RvR-gereedheidskist over elke tak zou kunnen worden afgevoerd.

INT	= INTERREG-projecten
HK	= Verwijderen Hydratische Kniepunten
A4-1	= Aanvullende Meetregel 1 (uiterwaardverhoging met behoud functie)
A4-2	= Aanvullende Meetregel 2 (excl uiterwaardverhoging tot standaard natte natuur)
Krb	= Knieverhoging (geen)
GSD	= Grondslagrijke Dijkverhoging
ZV	= Zomerverhoging (alleen benedensdroomse trajecten)
SK	= Stedelijke Kniepunten

type maatregelen	Waal Vaal extra (m ³ /s)	zonder W4 (m ³ /s)	extra ijssel zonder IJ5 (m ³ /s)	total afvoer (m ³ /s)
INT + HK	200	2500	50	250
INT + HK + SK	300	300	100	400
INT + HK + AM1	750	1000	300	1050
INT + HK + AM2	1000	1000	500	1500
INT + HK + AM2 + Krib	1000	1000	500	1500
INT + HK + AM2 + Krib + CD	1500	1500	600	2100
INT + HK + AM2 + Krib + CD + ZV	2000	2000	700	2700
INT + HK + AM2 + Krib + CD + ZV + SK	2500	2500	1000	3500

Idem, als in het meest benedenschoolse Ryf-
traject niet aan de taakstelling moet worden
volstaan

type maatregelen	extra Vaal (m ² /s)	extra met V4 (m ² /s)	extra met IJssel (m ² /s)	total afvoer (m ³ /s)
INT + HK	100	100	0	100
INT + HK + SK	100	100	0	100
INT + HK + AM1	500	500	0	500
INT + HK + AM2	750	750	0	750
INT + HK + AM2 + Krib	750	750	0	750
INT + HK + AM2 + Krib + CD	750	750	0	750
INT + HK + AM2 + Krib + CD + ZV	1500	1500	250	1750
INT + HK + AM2 + Krib + CD + ZV + SK	1500	1500	500	2000

Extra afvoer (bovenop 15.000 m³/s bij Lobith),
langz Vaal en IJssel als ook in het meest
bedenstuurroomse RvR-traject aan de
taakstelling moet worden voldaan



beveiligingsstruikelblok van de Waal, maargevend voor de afvoercapaciteit

Is er dan een maximum aan de afvoer per tak?

Ja, maar dat hangt vooral af van de maatregelen die in beschouwing worden genomen. Zo werden in de WL-studie 'De Rijn op Termijn' de dijken langs de IJssel meer dan een kilometer teruggelegd en plaatselijk zelfs geheel verwijderd, waarmee het mogelijk leek zo'n 5000 m³/s extra door het IJsseldal af te leiden. Voor RvR betekent het dat de enige beperking van de maximale afvoer per tak is gelegen in de maatregelen, zoals die in de 'gereedschapskist' zitten.

In RvR is de maximale afvoer over Waal en IJssel bepaald met inzet van alle tot nu toe in RvR gedefinieerde maatregelen. Daarbij zijn steeds typen maatregelen gecombineerd, door ze successievelijk in een bepaalde volgorde toe te voegen en beginnend bij de INTERREG-maatregelen en met het verwijderen van hydraulische knelpunten. Daarbij zijn ook maatregelen bij de stedelijke knelpunten meegenomen en wel in twee verschillende stappen: als tweede stap om te zien wat mogelijk is *zonder* uiterwaardverlaging en als laatste stap. Er is daarbij verondersteld dat de Boven-Rijn, het benedenrivierengebied en het IJsselmeer geen beperkingen opleggen aan de afvoer via Waal of IJssel. Ook zijn de huidige maatgevende waterstanden op de overgangen gehandhaafd.

De resultaten van die analyse staan hiernaast in twee tabellen weergegeven: in een eerste tabel waarbij ook in de benedenstroomse RvR-trajecten aan de taakstelling wordt voldaan en in een tweede waarbij dat niet noodzakelijk werd geacht.

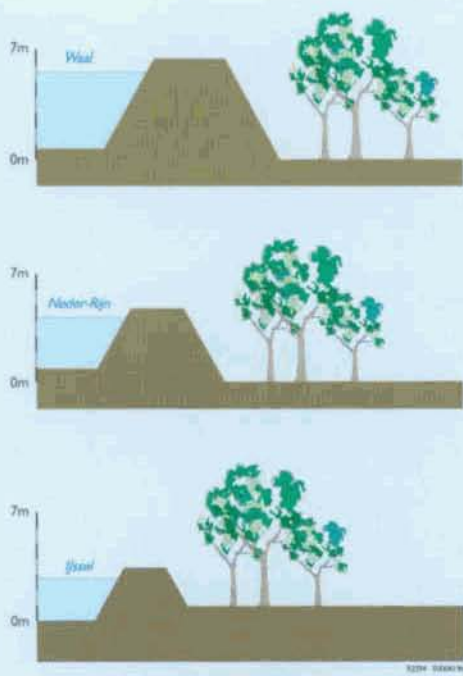
Waar wordt dat maximum – en vooral dat verschil tussen de twee tabellen – nou vooral door bepaald?

De beschikbare maatregelen zijn het meest bepalend voor de maximale afvoer; daarom kan er met geen mogelijkheid 5000 m³/s extra door de IJssel zoals in de studie De Rijn op Termijn door WL werd voorgesteld. In die studie waren veel rigoureuzere maatregelen voorzien.

In het algemeen geldt dat de maximale afvoer per tak net als de sterkte van een ketting wordt bepaald door een 'zwakste schakel'. In het geval van de rivieren is dat de ongunstige situatie in de benedenstroomse trajecten. Hierdoor kan vooral in de meest benedenstroomse trajecten de hydraulische taakstelling vaak niet worden gehaald. De oorzaak hiervoor is dat hier opstuwung optreedt, een opstuwung die kenmerkend is voor de overgang naar het benedenrivierengebied en het IJsselmeer. Daar komt bij dat bij de berekeningen is uitgegaan van een vaste zogenaamde 'onderrand'. Alleen met maatregelen benedenstrooms van deze model-onderrand kan deze worden verlaagd. Met andere woorden: op de boven- en middenstroomse trajecten kan een grotere afvoer worden verwerkt dan in het benedenstroomse gedeelte. Daarom is onderscheid gemaakt tussen een maximum waarbij in het meest benedenstroomse traject wel (bovenste tabel) en één waarbij niet (onderste tabel) aan de taakstelling behoefte te worden voldaan.

Bij de interpretatie van de resultaten moeten verder de volgende opmerkingen worden gemaakt. Ten eerste is de begrenzing van het studiegebied – en het hydraulisch model – heel bepalend voor de maximale afvoer die wordt berekend. Zo is de gehele IJssel tot aan het Ketelmeer onderdeel van het studiegebied; daar heeft de opstuwung dus grote invloed hetgeen de beperkte maximale afvoer deels verklaart. Voor de Waaltak geldt juist dat die bij Gorinchem nog niet afgelopen is maar als Merwede nog zo'n 30 km verder gaat; daar is het opstuwungseffect veel kleiner. Voor de Waal is het verschil tussen de beide tabellen daarom kleiner. Overigens is de precieze plaats van de grens tussen het laatste en voorlaatste traject zeer bepalend voor het laatste maximum. Door de grens tussen de meest benedenstroomse RvR-trajecten op de Waal zo'n 5 km stroomopwaarts te verschuiven kan de maximale afvoer met wel 250 m³/s toenemen.

Ten tweede lijken maatregelen bij de stedelijk knelpunten weinig effectief, maar dat is schijn. Omdat deze maatregelen alleen ter plaatse en bovenstrooms van een knelpunt een groot effect hebben vergroten ze de afvoercapaciteit van de rivier als geheel echter nauwelijks, aangezien de beperking van de afvoercapaciteit benedenstrooms van deze maatregelen is gelegen – behalve in het geval van Kampen. De andere typen maatregelen worden langs (vrijwel) de gehele lengte van de rivier genomen en vergroten de afvoercapaciteit dan ook over (vrijwel) de gehele lengte.



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



Hoogwater op de Waal



Variant Waal: relatief veel open water in de uiterwaarden

Alleen voor de groene rivier bij Kampen geldt dat deze als onttrekking kan worden aangemerkt, waardoor ook het meest benedenstroomse traject op de IJssel profiteert. Er is echter aanvullend onderzoek nodig in en rond de IJsseldelta, omdat de waterstanden – en dus ook de maximale afvoer – hier sterk door opwaaiing op het IJsselmeer worden bepaald.

Als derde en laatste opmerking moet worden vermeld dat bij de hier gebruikte combinaties van maatregelen de waterstanden plaatselijk soms ver onder de taakstelling dalen zonder dat een 'zwakste schakel' daarmee wordt weggenomen: het zogenaamde 'doorschieten'. Dat betekent dat op die plaatsen vervolgens minder andere maatregelen hoeven te worden ingezet, zodat kosten kunnen worden bespaard. Dit geldt wel zeer in het bijzonder voor de maatregelen aan de stedelijke knelpunten, die plaatselijk een zeer forse waterstandsdeling opleveren. Hoeveel maatregelen kunnen worden weggelaten kan alleen worden verkend door het samenstellen van extra combinaties van maatregelen (alternatieven en/of varianten), waarbij een zekere optimalisatie mogelijk is.

Oké, daarover stroks graag meer, maar wat speelt er nog meer een rol bij het vraagstuk van de afvoerverdeling?

Behalve de al besproken opvangcapaciteit (lees: bergingsmogelijkheden) van het ontvangende water zijn de belangrijkste overwegingen voor een keuze om hogere afvoeren langs 1 of 2 takken af te voeren dat:

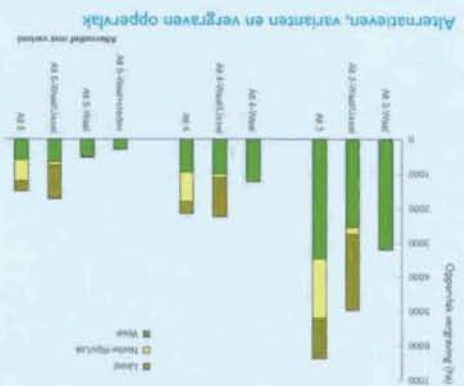
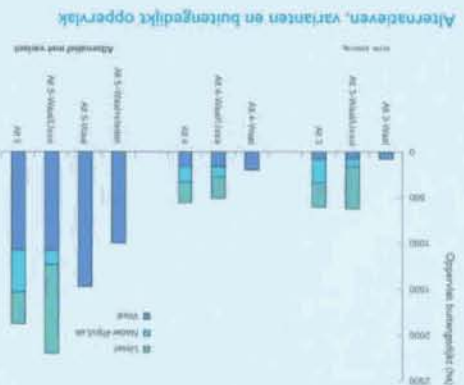
- ingrijpen langs 1 of 2 takken goedkoper kan zijn en minder gevolgen met zich mee zal brengen dan ingrijpen langs alle 3 takken;
- 1000 m³/s op de Waal net 10 % meer is dan de huidige afvoer over die tak onder maatgevende omstandigheden en slechts zo'n 45 cm verhoging van de waterstanden oplevert; dit is langs de Waal misschien makkelijker veilig af te voeren dan langs de IJssel waar 1000 m³/s zo'n 40 % meer betekent en een verhoging van 1 m.
- het gemak van het faciliteren van 1000 m³/s extra verschilt echter door andere verhoudingen tussen de oppervlakken zomerbed/uiteerwaard langs de drie takken; op dat punt heeft de IJssel de meeste ruimte, maar ook de hoogste uiterwaarden met de minste waterdiepte;
- daar tegenover staan de grootste beperkingen ten aanzien van uiterwaardverlaging op juist de IJssel door het veelvuldig voorkomen van waardevolle uiterwaarden;
- maar langs de IJssel is inpassing van dijkverleggingen weer gemakkelijker, omdat het gebied binnendijs het minst intensief is ingericht en niet zo laag ligt ten opzichte van de rivier; langs de Waal en Neder-Rijn wordt wel schertsend gesproken van 'badkuipen'.

Een punt van aandacht is nog dat de watervdeling bij niet-extreem hoge afvoeren niet mag veranderen, omdat anders de bodemligging in het zomerbed sterk kan veranderen. De grootste veranderingen in de bodemligging worden veroorzaakt door veelvuldig optredende, en dus niet zo extreem hoge hoogwaters tussen ongeveer 5000 en 8000 m³/s bij Lobith. Veiligheidshalve is het gewenst dat de afvoerverdeling bij afvoeren lager dan – naar schatting – zo'n 12.000 m³/s gelijk blijft.

Genoeg hierover. Zijn er al varianten samengesteld waarbij de afvoerverdeling over de Rijntakken is gewijzigd?

Jazeker, er zijn varianten ontwikkeld voor een afvoer van 1000 m³/s extra over de Waal – het verschil tussen 15.000 en 16.000 m³/s –, en voor eenzelfde extra afvoer, maar dan voor ongeveer 2/3 over de Waal en 1/3 over de IJssel, om precies te zijn met respectievelijk 636 en 364 m³/s extra op deze takken. De Neder-Rijn wordt dan ontzien. Een variant met 1000 m³/s over alleen de IJssel is niet mogelijk met de in RvR beschouwde maatregelen zonder maatregelen aan de stedelijke knelpunten.

Deze varianten zijn ontwikkeld voor de (basis)alternatieven 3, 4 en 5. De reden voor de beperking tot de alternatieven 3, 4 en 5 is dat de voorkeur van beleidsinstanties in de richting van alternatief 3 leek te gaan en dat alternatieven 4 en 5 het goedkoopst zijn en als vergelijkingsmateriaal kunnen dienen. Bovendien is al eerder geconstateerd dat bij toenemende afvoer de alternatieven 1, 2 en 3 steeds meer op elkaar gaan lijken.



Leekesveer langs de Neder-Rijn
bij Wageningen: een belangrijk
hydraulisch knoepunt



In alternatief 3 (vooral uiterwaardverlaging, maar met behoud van cultuurlandschapswaarden) 'variant Waal' is vooral ingezet op uiterwaardplannen en aanvullende maatregelen. Langs de Waal liggen maar weinig uiterwaarden waarin vergraving om redenen van hoge landschapswaarden was uitgesloten. Er zijn ook nog 8 knelpunten verwijderd en op 3 plaatsen is de dijk teruggelegd. Aan hetzij enige zomerbedverdieping, hetzij dijkverhoging valt op het meest benedenstroomse RvR-traject van de Waal niet te ontkomen.

Voor variant Waal-IJssel van alternatief 3 geldt ongeveer hetzelfde, maar nu zijn er iets minder maatregelen langs de Waal nodig, waarvoor in de plaats maatregelen langs de IJssel komen. Het is daarbij niet meer mogelijk alle uiterwaarden langs de IJssel met hoge cultuurlandschapswaarden te ontzien. Alles bij elkaar worden er in deze variant 10 knelpunten verwijderd en wordt op 13 plaatsen de dijk iets teruggelegd. Dat is een beduidend groter aantal dijkverleggingen dan in 'variant Waal'. Ook zal plaatselijke kribverlaging misschien niet vermeden kunnen worden.

Het *Leitmotiv* van alternatief 4 is buitendijkse maatregelen in volgorde van efficiëntie. In alternatief 4 variant Waal wordt vooral gebruik gemaakt van het verwijderen van knelpunten en kleinschalige dijkverleggingen, kribverlaging, een reeks uiterwaardplannen en aanvullende maatregelen, en tenslotte zomerbedverlaging in het laatste Waaltraject. Alternatief 4 variant Waal-IJssel maakt gebruik van hetzelfde soort maatregelen, maar nu verspreid langs twee takken.

In alternatief 5 worden de maatregelen ook ingezet in volgorde van efficiëntie, maar ook binnendijkse maatregelen mogen daarbij meedoen. Maatregelen bij de stedelijke knelpunten zijn in eerste instantie nog uitgesloten, maar er is een extra variant bekeken voor de Waal, waarbij wel groene rivieren bij Lent (tegenover Nijmegen) en Haaften (tegenover Zaltbommel) zijn ingezet.

Wat zijn de gevolgen en de kosten van die varianten?

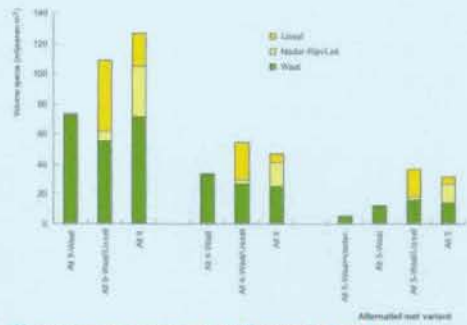
Daarvoor kunnen we allereerst eens kijken hoeveel er nu eigenlijk aan grondverzet nodig is. Dat wordt bepaald door de hoeveelheid uiterwaardverlaging die verschilt per variant. In de figuur hiernaast is uitgezet over welk oppervlak uiterwaardverlaging plaatsvindt, waarbij onderscheid is gemaakt naar takken. Er wordt in elk van de drie alternatieven het meest vergraven als langs twee of drie takken maatregelen worden genomen en het minst als dat alleen langs de Waal gebeurt.

Daar staat echter tegenover dat bij alternatief 3 'variant Waal' langs deze Rijntak vrijwel alle uiterwaardplannen en aanvullende uiterwaardverlagings 'uit de kast' moeten omdat immers alle vergraving langs één tak plaatsvindt. Dat betekent dat alle uiterwaarden zeer fors zijn verlaagd en er veel extra waterpartijen zijn gecreëerd. Bij variant Waal-IJssel van alternatief 3 moeten langs de IJssel ook uiterwaarden met hoge cultuurlandschapswaarden worden vergraven.

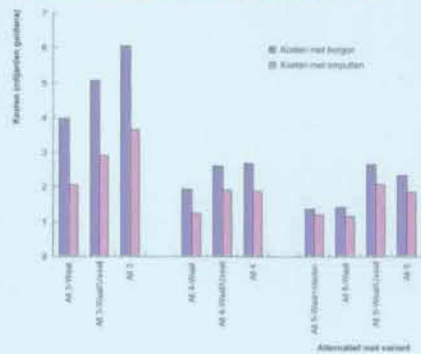
De oppervlakken binnendijkse gronden die worden buitengedijkt, vertonen ongeveer het omgekeerde beeld, zoals te verwachten was gezien de motto's van de alternatieven 3, 4 en 5: respectievelijk 'veel natuurontwikkeling', 'goedkoopst buitendijs' en 'goedkoopst, ook binnendijs'. Hoe meer dijkverlegging, des te minder hoeft er te worden vergraven en omgekeerd. Dat betekent dat in alternatief 5 naar verhouding het meest wordt buitengedijkt en het minst wordt vergraven.

De oppervlakte vergraving is deels bepalend voor de hoeveelheid grond die vrijkomt: de belangrijkste kostenpost (omdat zo'n 20 % verontreinigd is), maar ook (voor zo'n 40 %) een bron van bruikbare grondstoffen. Opmerkelijk is dat in alternatieven 4 en 5 bij ingrijpen langs 2 takken meer wordt vergraven dan bij ingrijpen langs alle 3 takken, waarbij ook meer grond vrijkomt. Dat heeft te maken met het wegvallen van een zeer effectieve maatregel langs de Neder-Rijn (verwijderen hydraulisch knelpunt Lexkesveer).

De onttrekking van gronden aan de landbouw en het areaal natuurontwikkeling hangen samen met de mate waarin van uiterwaardverlaging respectievelijk dijkverlegging gebruik wordt gemaakt. Dit geldt ook voor de gevolgen voor de andere beoordelingsaspecten, zoals niet-levende natuurwaarden, (cultuur)landschap, recreatie, e.d.



Alternatieven, varianten en vrijkomende grond



Alternatieven, varianten en kosten



Kampen

Voorbeelden van stedelijke knelpunten langs de IJssel



Zutphen

Ook de kosten van deze 3 alternatieven met afvoerverdelingsvarianten houden hiermee gelijke tred. Ze zijn in een figuur hiernaast weergegeven, zowel in geval wordt uitgegaan van berging van verontreinigde grond als in geval van omputten. In alternatief 5, waarin het minste graafwerk plaatsvindt, zijn maar weinig kosten te besparen door omputten. Overigens moeten ten aanzien van de kosten twee opmerkingen gemaakt worden. Ten eerste zijn ook nu weer besparingen denkbaar door uitgekiend ontwerpen en omputten, zoals eerder besproken, maar ook door overhoogtes in bestaande dijken die bijvoorbeeld langs de IJssel vrij fors zijn (de zogenaamde 'Boertien-ruimte'). Een tweede opmerking is dat hier alleen de kosten in het studiegebied in beeld gebracht zijn, terwijl bij een gewijzigde afvoerverdeling minder of juist meer kosten gemaakt zullen moeten worden in het benedenrivierengebied (IVB-gebied: niet langs de Lek, maar juist meer langs de Merwedese) en/of het IJsselmeergebied.

Als we het nu eens in een langere-termijnperspectief bekijken: hoe zit 't dan met de uitbouw mogelijkheden van deze varianten tot afvoeren van zo'n 18.000 m³/s?

De varianten met gewijzigde afvoerverdeling zijn niet volledig doorontwikkeld. Maar er kan wel een – voorzichtige – kwalitatieve beoordeling worden gegeven op grond van ervaringen met de doorontwikkeling van de alternatieven waarbij alle drie takken werden aangepast. Daarbij wordt ook gebruik gemaakt van de resultaten van de verkenning van de maximale afvoercapaciteit van Waal en IJssel met gebruik van de RvR-maatregelen.

Al eerder is geconstateerd dat alternatieven 3 en 5 kunnen worden uitgebouwd tot 18.000 m³/s. Daarbij geldt voor alternatief 3 dat het 'eigen karakter' verloren gaat, omdat inzet van grootschalige dijkverleggingen al vanaf 16.000 m³/s nodig wordt. Dat zal bij een andere afvoerverdeling nog eerder het geval zijn.

Met alternatief 4 lukt het niet over alle drie takken 3000 m³/s extra af te voeren, omdat de buitendijkse ingrediënten tekort schieten. Het ligt voor de hand dat het over slechts 1 of 2 takken dan ook niet lukt zonder over te gaan tot grootschalige dijkverleggingen. En dat is volgens het kookboek voor alternatief 4 niet toegestaan. De maximale afvoer die is vastgesteld voor Waal en IJssel zonder grootschalige dijkverleggingen en/of groene rivieren bij de stedelijke knelpunten bedraagt 1000 (Waal) + 500 (IJssel) m³/s.

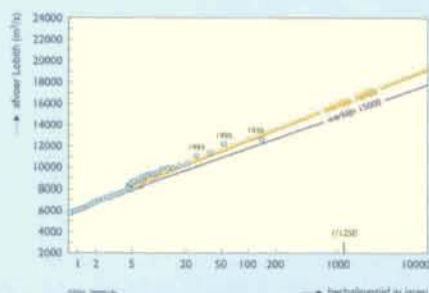
Alternatief 5 over Waal en IJssel kan naar alle waarschijnlijkheid goed worden uitgebouwd tot 3000 m³/s extra. De berekende maximale afvoeren voor beide takken, met inzet van grootschalige dijkverleggingen en groene rivieren bij de stedelijke knelpunten, zijn eerder begroot op 2500 en 1000 m³/s. Langs 1 tak zal vrijwel onmogelijk zijn zonder aanvullende dijkverhoging.

In het algemeen geldt dat de benedenstroomse trajecten een probleem blijven vormen, waar alleen door zomerbedverlaging en/of dijkverhoging, dan wel door maatregelen benedenstrooms van het studiegebied iets aan kan worden gedaan. Ook de Boven-Rijn is, overigens ongeacht de afvoerverdeling, problematisch. De oplossing zou kunnen liggen in een groene rivier of een dijkverlegging bij Nijmegen waarvan het waterstandsverlagend effect zich ver in bovenstroomse richting uitstrekt. Daarbij moet wel bedacht worden dat hier uitsluitend is gekeken naar maatregelen ter vergroting van de afvoer; retentie maakt geen deel uit van de hier besproken maatregelenpakketten.

Onzekerheden

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

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

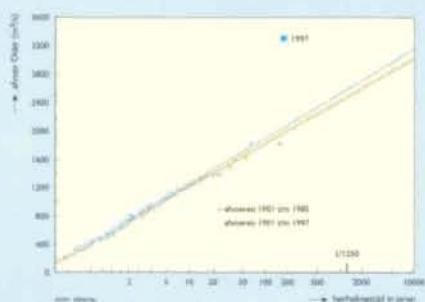


Werklijn van de Rijn bij Lobith vóór en na de hoogwaters van 1993 en 1995.

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 opgenomen de recente hoogwaters 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. Wordt de periode daarentegen verlengd met de reeks 1974-1987 en het jaar 1992 – deze 15 jaren geven een gemiddeld beeld van piekafvoeren te zien – dan komt de ontwerpafvoer op 15.700 m³/s te liggen.



Werklijn van de Oder in Polen en het hoogwater van 1997



Hoogwater van 1997 op de Oder

Over onzekerheden en het omgaan met onzekerheden

Nu weten we dus dat het mogelijk is 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 vele 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 ruwheid van de vegetatie in de uiterwaarden langs de drie takken;
- 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.

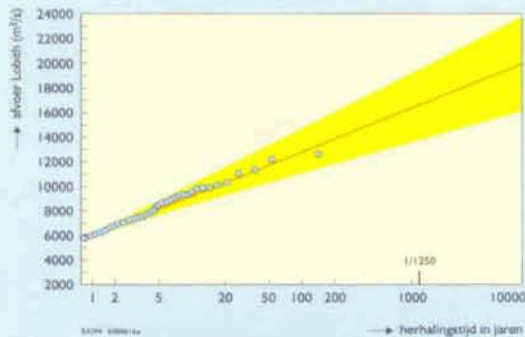
Met al deze onzekerheden moeten we (leren) omgaan.

Nou, dat is nogal wat. Dan lijkt toch wel het belangrijkste hoe groot de onzekerheid is over de maatgevende afvoer? Daar hangt immers alles van af. Hoe zit dat – om maar eens ergens te beginnen – met de huidige maatgevende afvoer?

De 'oude' maatgevende afvoer voor de Rijn is vastgesteld op 15.000 m³/s bij Lobith. Deze was gebaseerd op een extrapolatie van meetgegevens uit het verleden, meer specifiek van de periode 1901-1991. Wordt deze periode verlengd tot 1996 dan komen er twee jaren met hoge afvoeren bij, namelijk 1993 en 1995. Daardoor verandert de hellingshoek van de grafiek iets en wordt de 'nieuwe' maatgevende afvoer ongeveer 16.000 m³/s. Daaruit blijkt dat enkele hoogwaters als gevolg van relatief natte jaren de maatgevende afvoer fors kunnen beïnvloeden. Een reeks droge jaren kan een vergelijkbaar effect veroorzaken.

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 geëxtrapoleerd ver buiten de gemeten reeks. Dat kan raar uitpakken, zoals valt te illustreren aan de meetreeks 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. Het zou volgens de 'oude' lijn een 1/25.000 afvoer kunnen zijn geweest, maar dat weten we pas als we nog 24.900 jaar kunnen meten en er in die tijd niets verandert (overigens is het voor statistisch verantwoorde uitspraken nodig om nog 4 maal zolang te meten). Intussen leidt dat ene hoogwater ertoe dat de 'nieuwe' extrapolatielijne de 1/1250 afvoer doet stijgen van 2500 naar 2600 m³/sec. Dat is nog steeds ver onder de opgetreden 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



Het 90 % betrouwbaarheidsinterval van de werkdijk van de Rijn bij Lobith

Natuur en afvoer van ijs

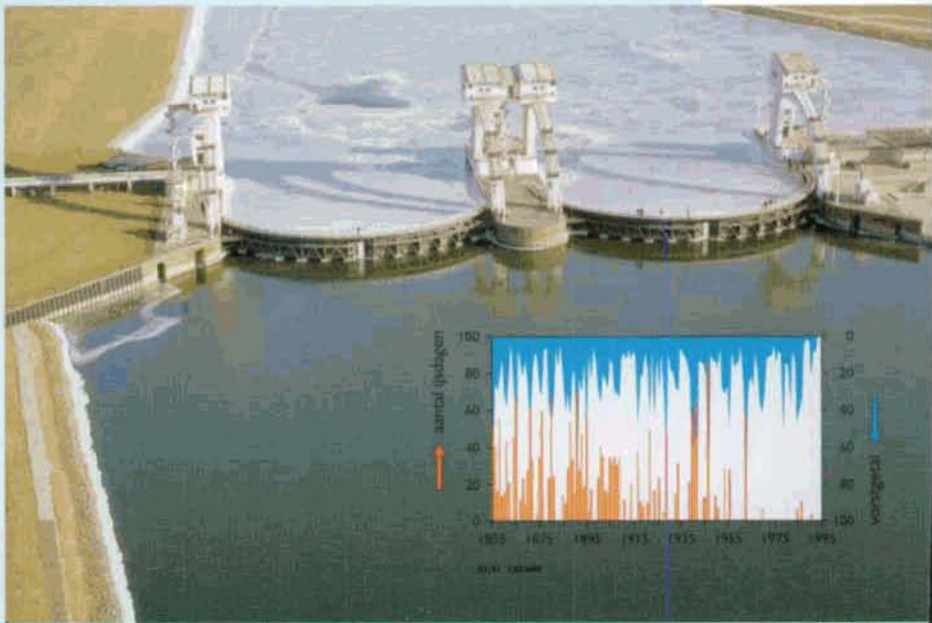
De invloed van nevengeulen op ijsgang en het gevaar van de vorming van ijsdammen bij hoge afvoeren lijkt klein te zijn. Wel vraagt de vormgeving van de uitlaat enige aandacht om het ijs aan het eind van een vorstperiode gemakkelijk te kunnen afvoeren.

Ooibosontwikkeling in uiterwaarden leidt niet tot problemen zolang het in stroomluwten gebeurt. In uiterwaarden waar de bandijken relatief dicht op elkaar liggen, wordt ooibosontwikkeling ontraden in verband met ijsgang. Gelet op de desastreuze gevolgen in het verleden verdient de keuze van de locaties voor ooibosontwikkeling de nodige aandacht.



Ijsdammen in de toekomst?

Veel overstromingen in het verleden zijn ontstaan door ijsdammen in de rivier. Door normalisatiewerken en lozingen van koel- en afvalwater is de kans op ijsdammen sterk gedaald. Koude winters (hoog vorstgetal) 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.



dus 1/1250 ligt tussen 13.000 en 18.500 m³/s. Daar zit niet alleen de nieuwe 16.000, maar ook de oude 15.000 m³/s tussen. Tegelijkertijd is er 5 % kans dat het 1/1250 jaar minder is dan 13.000 en 5 % kans dat het 1/1250 jaar meer is dan 18.500 m³/s.

Bij dit soort statistische grootheden kan een gewoon mens zich maar weinig voorstellen. Is er niet gewoon een fysiek maximum aan de afvoer waar we vanuit kunnen gaan? Er zit vast een maximum aan de hoeveelheid regen in een neerslagfront en het oppervlak van het Rijnstroomgebied is immers constant.

Indedaad zou er sprake kunnen zijn van een fysiek maximum, zoals al eerder besproken. Zo'n fysiek maximum wordt voor de Rijn vooral bepaald door de dijkhoogten langs alle zijrivieren en langs het Duitse deel van de Rijn. Als de afvoeren immers hoger worden dan waar de dijken – vooral in Duitsland – op zijn berekend, zullen daar grootschalige overstromingen optreden. Een deel van het water verlaat dan de rivier, waardoor de piekafvoer tussen de dijken lager wordt. Het water dat de overstromingen heeft veroorzaakt komt dan pas later de Rijn af.

Als we deze 'praktisch maximale afvoeren' van alle zijrivieren van de Rijn in Zwitserland, Frankrijk en Duitsland bij elkaar optellen, levert dat bijna 23.000 m³/s bij Lobith. Als we alle ooit opgetreden hoogste afvoeren bij elkaar optellen, komen we op 17.000 m³/s. In beide optelsommen is er sprake van een zogenaamde 'worst case' – een slechtste geval – waarbij werkelijk alles tegen zit en niets mee. Het is dan ook nog nooit voorgekomen dat alle 13 zijrivieren gelijktijdig een hoogste afvoer opleverden.

Een laatste relevante gegeven in verband met een eventueel 'fysiek maximum' is de dijkhoogte in Nordrhein-Westfalen, het deel van Duitsland dat aan Nederland grenst. Hier zijn de dijken gedimensioneerd op een maatgevende afvoer van tenminste 1/500 of hoger, overeenkomend met 14.500 m³/s, maar met 1 m waakhoopte. Dat betekent dat de kruin van de dijken pas overstroomt bij een afvoer ergens tussen 17.500 en 18.000 m³/s. Als er in Duitsland geen maatregelen meer worden genomen is die afvoer voor de Rijn bij Lobith een zeer waarschijnlijke fysieke bovengrens. Overigens zullen die overstromingen ook delen van Nederland bereiken, omdat de dijkkring aan de linkeroever tot en met de Oijpolder bij Nijmegen doorloopt, en de dijkkring aan de rechteroever via de Oude IJssel (langs Doetinchem) naar de IJssel zal overlopen. Dat is weer een onzekerheid van een heel ander soort.

Dit zijn dus gestalten voor de huidige situatie? Maar hoe zit het nou met die klimaatverandering?

Er zijn diverse klimaatscenario's met elk boven- en onderschattingen. Uitgaande van een boven-scenario met 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 19.200 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 maatregelen, dan blijft 18.000 m³/s de relevante bovengrens aan de afvoer bij Lobith. Dat geldt als in Nordrhein-Westfalen wordt afgezien van maatregelen, maar ook als alleen in Zuid-Duitsland (Baden-Württemberg) van maatregelen wordt afgezien. In het laatste geval wordt de afvoer van de Oberrhein namelijk fysiek beperkt, zoals al eerder toegeelicht.

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

Splitsingspunten, gevoelige punten

De maatgevende hoogwaterstanden op de Rijntakken en de afvoerverdeling op de splitsingspunten zijn, ongeacht de hoogte van de maatgevende afvoer bij Lobith, onlosmakelijk met elkaar verbonden. Een kleine verandering in de afvoerverdeling heeft grote gevolgen voor de hoogwaterstanden.

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

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

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



Is de golfvorm eigenlijk ook met onzekerheden omgeven?

Ja nou, maar dat is vooral relevant voor maatregelen in Nederland die beogen de golf af te toppen, dus voor retentie. Bij de berekeningen hiervoor wordt veelal uitgegaan van een soort 'gemiddelde afvoergolf', eentje met een mooie sinusvorm. In de praktijk komen er echter afgeplatte, scherpe en tweetoppige afvoergolven ook voor. Dat heeft te maken met de wijze waarop ze ontstaan en vooral met de fasering van afvoergolven uit zijrivieren. Als alle toppen de hoofdstroom precies bereiken op het moment dat de golf in de hoofdstroom passeert, ontstaat een steile golfvorm. Als ze voor of achterlopen wordt de golf platter of tweetoppig. Daarbij speelt ook een rol dat lage golven die in het zomerbed blijven meestal snel lopen, middelhoge golven lopen langzaam, omdat de uiterwaarden vollopen waardoor topvervlakking optreedt en omdat de vegetatie in de uiterwaarden ook nog eens vertragend werkt, en hoge afvoergolven lopen weer sneller, omdat de vegetatieruwheid van lage vegetaties er bij grotere waterdiepten minder toe doet. Ook de lengte van een afvoergolf is van belang. Een korte golf van enkele dagen is veel sterker onderhevig aan topvervlakking dan een lange golf. Dat betekent dat bij eenzelfde afvoer bij Lobith de waterstanden verder langs de Rijn takken toch iets kunnen verschillen in afhankelijkheid van de lengte van de afvoergolf.

In 1993 was er sprake van een zeer steil oplopende golf met een maximum van $11.100 \text{ m}^3/\text{s}$. De golf van 1995 liep veel langzamer op tot $12.060 \text{ m}^3/\text{s}$, maar het hoogwater hield anderhalf keer zo lang aan. Daardoor raakten de dijken met water verzadigd en leek er een gevaarlijke situatie te ontstaan, waarop tot evacuatie werd overgegaan. Op de Maas was bij Borgharen in 1993 ook sprake van een steile afvoergolf; die in 1995 was iets lager maar wel tweetoppig en zeer langdurig. De golfvorm is dus van grote betekenis, vooral als men retentie als maatregel overweegt, maar ook voor de stabiliteit van waterkeringen die verzadigd kunnen raken als het water er lang hoog tegenaan staat. Uit de voorbeelden blijkt dat de golfvorm een onzekere factor is en blijft. Iets om, vooral bij retentiemaatregelen, terdege rekening mee te houden.

En de afvoerverdeling bij de splitsingspunten: die is toch wel zeker?

Nou, dat is te zeggen. De afvoerverdeling waar vanuit wordt gegaan berust op berekeningen, waarbij de geometrie van het rivierbed (vorm van zomerbed en uiterwaarden) en de hydraulische ruwheid van het zomerbed en van de vegetatie in de uiterwaarden belangrijke factoren zijn. Omdat echter nog nooit in het verleden een afvoer van $15.000 \text{ m}^3/\text{s}$ is opgetreden, is het niet mogelijk geweest deze berekeningen te verifiëren. Omdat de procentuele verdeling van het water bij ieder afvoer verschilt, is het nog maar de vraag of de berekende waterverdeling wel precies zo zal optreden. Bovendien is bekend dat de golfvorm van invloed is op de verdeling over de takken. Bij een steile afvoergolf gaan enkele tientallen m^3/s meer water over de Waal, bij een bredere iets meer over het Pannerdensch Kanaal en daarna over IJssel en Neder-Rijn. Een tweede onzekerheid hangt samen met de snelle veranderingen in de bodemligging van het zomerbed tijdens het passeren van een hoogwater. Uit verkennend modelonderzoek is gebleken dat ook hierdoor de afvoerverdeling nog iets kan verschuiven.

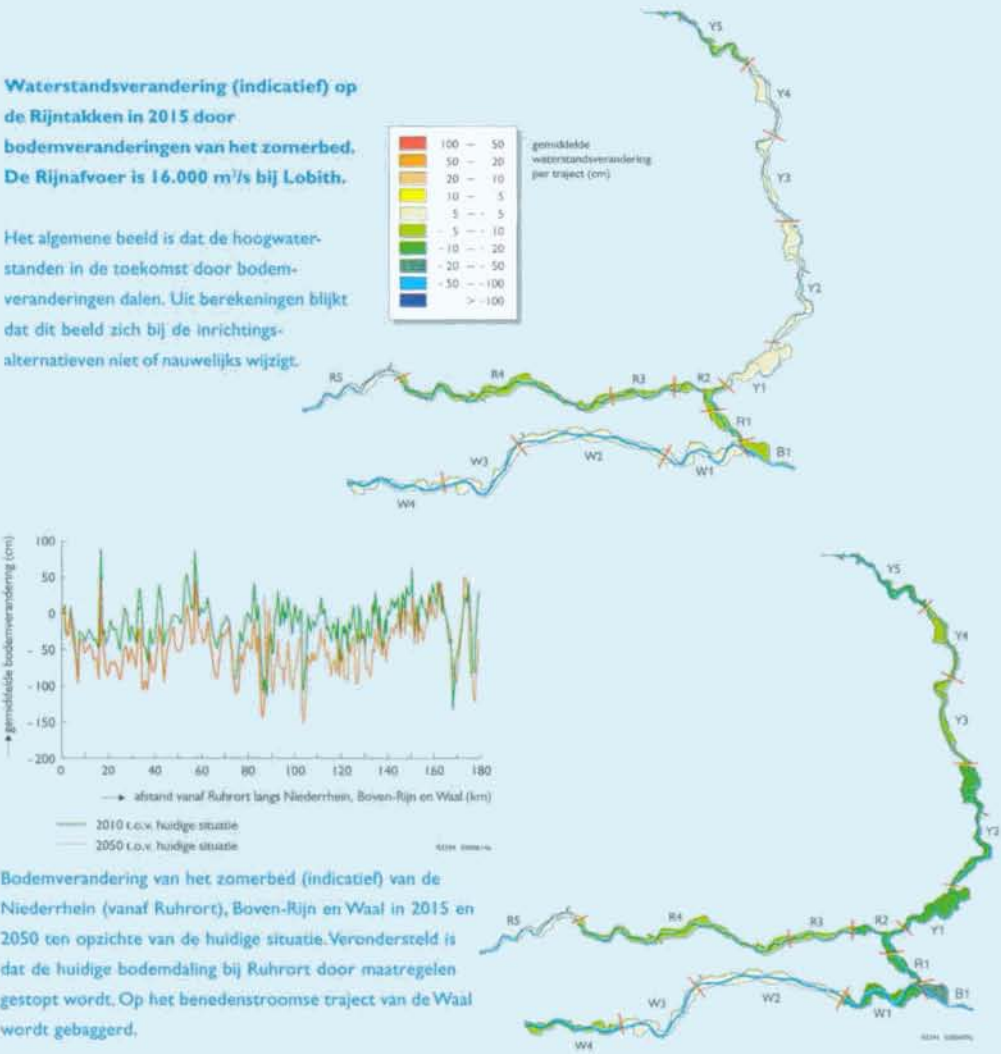
Nu is het gevolg van een kleine afwijking voor een relatief grote rivier als de Waal mogelijk niet zo heel groot, maar $100 \text{ m}^3/\text{s}$ extra naar een kleine rivier als de Neder-Rijn of IJssel betekent een verhoging van de waterstanden met zo'n 10 cm. Helaas is de afvoerverdeling dus wel degelijk ook met onzekerheden omgeven.

En hoe zit het dan met de onzekerheid rond de berekende waterhoogten, want die hangen toch weer af van de afvoer en de afvoerverdeling?

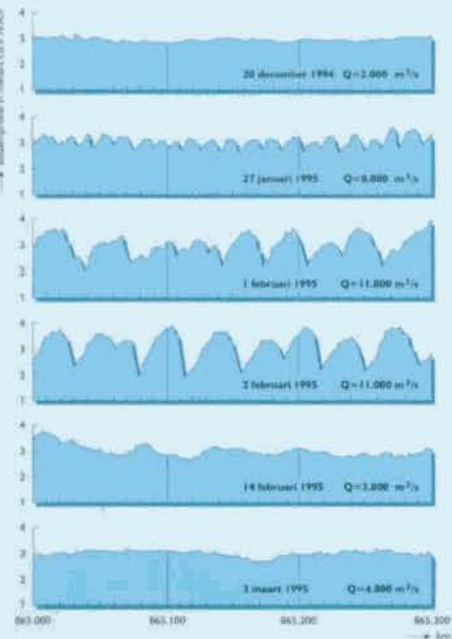
Die hangen inderdaad af van de afvoer en de afvoerverdeling, maar ook van allerlei eigenschappen van zomerbed en uiterwaarden, zoals diepte, hydraulische ruwheid, e.d. Voor RvR is tot op dit moment het meest gebruik gemaakt van een 1-dimensionaal stromingsmodel. Dit houdt in dat de rivier wordt versimpeld tot een lijn zonder breedte. Dit 1-dimensionale model is goed geijkt aan de werkelijk waargenomen waterstanden. De resultaten van dit 1-dimensionale model zijn voor een aantal deelgebieden en maatregelen vergeleken met die van een 2-dimensionaal model.

Waterstandsverandering (indicatief) op de Rijntakken in 2015 door bodemveranderingen van het zomerbed. De Rijnaafvoer is 16.000 m³/s bij Lobith.

Het algemene beeld is dat de hoogwaterstanden in de toekomst door bodemveranderingen dalen. Uit berekeningen blijkt dat dit beeld zich bij de inrichtingsalternatieven niet of nauwelijks wijzigt.



Bodemverandering van het zomerbed (indicatief) van de Nederrijn (vanaf Ruhrort), Boven-Rijn en Waal in 2015 en 2050 ten opzichte van de huidige situatie. Verondersteld is dat de huidige bodemdaling bij Ruhrort door maatregelen gestopt wordt. Op het benedenstroomse traject van de Waal wordt gebaggerd.



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

Als hierboven, maar dan in 2050

De resultaten van deze vergelijking hebben het vertrouwen in het model vergroot. Vervolgens wordt bij de interpretatie uitsluitend uitgegaan van zogenaamde verschilberekeningen. Dat betekent dat de uitkomsten van het model waarmee de waterstanden worden berekend niet als absoluut juiste waterstanden mogen worden geïnterpreteerd, maar dat de berekende verschillen – dus waterstandsverhoging en/of verlaging – wel redelijk betrouwbaar zijn.

Maar heel bepalend zijn dus de bodemligging van de rivier en de ruwheid van de vegetatie? Zijn die eigenlijk wel goed bekend?

Dat zijn inderdaad onzekere elementen, vooral doordat er in de tijd snel veranderingen kunnen optreden. Al eerder is vermeld dat in de afgelopen decennia de bodem van het zomerbed door onder meer normalisatie en baggerwerk met gemiddeld enkele centimeters per jaar is gedaald. Hoe lang deze bodemdaling – ondanks maatregelen deze tegen te gaan – nog zal doorzetten is onzeker, evenals de snelheid van de bodemdaling. Tegelijkertijd zijn de uiterwaarden door opslibbing geleidelijk steeds hoger komen te liggen. Na een hoogwater worden soms forse hoeveelheden zand in de uiterwaarden aangetroffen. Dergelijke processen van uitschuring en opslibbing gaan steeds door. Daarom wordt de bodemligging door de rivierbeheerder herhaaldelijk opnieuw gemeten.

Een extra complicerend verschijnsel is het ontstaan van grote stroomribbels bij hoge afvoeren. Deze 'onderwaterduinen' of 'megaribbels' kunnen in enkele dagen tijd ontstaan en wel meters hoog worden, zonder dat de gemiddelde bodemligging verandert. Ze vergroten de hydraulische weerstand tijdelijk flink, maar slijten in de loop van het jaar weer grotendeels weg. Hoe groot deze megaribbels onder maatgevende omstandigheden precies worden en hoe sterk hun invloed is op de ruwheid is moeilijk vast te stellen.

En de hydraulische ruwheid van de vegetatie?

Daar wordt momenteel veel onderzoek aan verricht. Ten eerste omdat er zeer veel verschillende vegetatietypen zijn die ruimtelijk mozaïeken kunnen vormen van bosjes in grasland met daartussen weer rietlanden en plassen. Ten tweede ontwikkelt de vegetatie zich ook zeer snel in de tijd, met name in gebieden waar natuurontwikkeling plaatsvindt. Zo kunnen zich in een bepaald jaar wilgen vestigen, waarna een wilgenbos met meer dan een meter per jaar kan opschieten op een plek waar eerst kale grond, bijvoorbeeld een zandplaat, lag. Daardoor neemt de ruwheid plaatstelijk sterk toe. Als de bomen hoger worden neemt de stamdichtheid vaak weer af, omdat niet alle bomen overleven. Bovendien vallen de onderste takken vaak af. Zo ontstaat weer een geheel andere situatie en dat alles binnen enkele tientallen jaren.

In hoeverre aannames over de ruwheid van verschillende vegetaties doorwerken in de waterstanden is onderzocht in een gevoeligheidsonderzoek. Bij extreme aannames konden de waterstanden zo'n 5 tot maximaal 10 cm hoger uitvallen. Dat geeft aan dat kennis over ruwheid en vegetatie-ontwikkeling dus wel heel relevant is voor de voorspelling van absolute waterhoogten maar ook voor verschilberekeningen in geval van grootschalige natuurontwikkeling.

Is dat alles nou niet erg?

Tja, dat zou men denken. Maar allereerst moet bedacht worden dat in het RvR-onderzoek op dit moment alleen maar sprake is van een verkenning. Het gaat nog niet om kant-en-klare bestekken. Die komen in een latere fase pas aan de orde en dan wordt gebruik gemaakt van 2-dimensionale modellen, waarmee nauwer bij de werkelijkheid kan worden aangesloten en met een groter ruimtelijk detail. Zelfs dat neemt niet weg dat voortdurend waakzaamheid geboden is.



Ontgronden: een belangrijke kostenpost bij rivierverruiming

Even genoeg over onzekerheden rond afvoeren en waterstanden voor het moment. Over hoe daar mee om te gaan straks graag meer. Maar eerst nog even de vraag hoe het nu zit met de gevolgen van al die voorgenomen ingrepen; hoe zeker zijn bijvoorbeeld de kostenschattingen per alternatief?

Inderdaad zijn er rond de gevolgen van de ingrepen en zeker rond die van de alternatieven de nodige onzekerheden. Deels hangen die samen met het feit dat er in het RvR-project tot nu toe nadrukkelijk sprake is van een verkennende studie: het gaat om grote lijnen en (nog) niet om gedetailleerde inrichtingen van individuele uiterwaarden. Voor een ander deel komen de onzekerheden voort uit noodzakelijke aannamen, zoals over de kosten van grondaankoop (onteigening) of schadevergoeding, de kosten van afgraven per grondsoort, de hoeveelheid verontreinigde grond, de kosten van het veranderen van bruggehoofden, veerstoepen e.d., de kosten van huizen en bedrijfspanden die misschien moeten wijken, de kosten van dijkverhoging enzovoorts, enzovoorts. Daarvoor zijn steeds 'eenheidskostprijzen' gebruikt, soms verschillend per riviervak of zelfs per traject. Daardoor zijn de kostenschattingen globaal. Ze moeten vooral worden beschouwd als een middel om te kunnen vergelijken tussen alternatieven of varianten. In absolute zin kan het op het niveau van individuele maatregelen zo'n 25 % schelen voor bijvoorbeeld onteigening, via 50 % voor schadevergoeding tot wel een factor 2 voor bruikbare grond, omdat daar marktontwikkelingen zeer bepalend zijn.

Op het niveau van alternatieven wordt de onzekerheid geschat op 25 % bij bergen van verontreinigde grond tot 30 % bij omputten. Met de laatste methode is immers nog geen ervaring opgedaan en de hoeveelheid bruikbare delfstoffen die vrijkomt bij het maken van bergingsputten is onzeker. De volgorde van de alternatieven naar kosten gerangschikt zal naar verwachting niet wijzigen. Wat de kostenschattingen wel heel goed in beeld brengen is waar nu feitelijk de grootste kosten mee gemoeid zijn. Dat geeft een indruk van wat voor soort maatregelen relatief goedkoop en welke relatief duur zijn. Zo blijkt dat:

- de kosten van afgraven, afvoeren en bergen veruit het grootst zijn;
- de kosten van grondaankoop en schadevergoeding zo'n 10 % van de totale kosten bedragen, maar bijna 20 % in alternatief 5 met veel binnendijkse maatregelen;
- overige uitvoering en inrichting kan variëren van 5 tot 20 % van de totale kosten, afhankelijk van het alternatief (met veel of weinig uiterwaardverlaging).

En hoe zit 't met de overige effecten?

De meeste gevolgen hangen direct samen met het oppervlak dat wordt aangepakt. Dat is in zoverre onzeker dat pas bij gedetailleerde inrichtingsplannen daarover meer zekerheid ontstaat. Daar is in deze verkennende fase van het RvR-project nog geen sprake van.

Voor natuurontwikkeling geldt echter dat er nog een ander soort onzekerheid is. Namelijk de onzekerheid over de natuur die kan ontstaan bij verlaging van de uiterwaarden. Er zijn aannamen gedaan over welke ecosysteemttypen tot ontwikkeling kunnen komen, gebaseerd op de mate waarin verschillende vegetaties tegen overstroming en hoge (grond)waterstanden kunnen. Dat is volgens de laatste stand van de ecologische kennis op dit punt, maar een flinke onzekerheid blijft bestaan ten aanzien van de relevante waterstand.

In het gebruikte ecologische model is uitgegaan van de mediane rivierwaterstand. Uit onzekerheidsanalyses is gebleken dat de mediane afvoer van de rivier gedurende 10 jaars-perioden kan variëren tussen 1600 en 2300 m³/s, dat is significant hoger of lager dan de 2000 m³/s waar vanuit is gegaan. Dat zou kunnen betekenen dat als uiterwaarden erg 'op het scherp van de snede' worden verlaagd een deel van de verwachte natuur niet tot ontwikkeling komt, maar kans loopt te 'verdrinken'. Dan ontstaat er natuurlijk wel een ander soort natuur, maar het klopt niet meer met de eerdere verwachtingen.



Variatie in bodemligging; een belangrijke voorwaarde voor natuurontwikkeling

Het is dan ook aan te raden om deze onzekerheid het hoofd te bieden door bij uiterwaardverlaging veel variatie aan te brengen, zodat er altijd droge en natte plekken overblijven. Hoe meer gradiënten en hoe meer verschillendsoortige milieus, des te groter de kans dat er wel ergens een populatie van de gewenste soorten overleeft. Daarom wordt bij natuurontwikkeling ook altijd voor een grootschalige aanpak gepleit; en voor het verbinden van natuurkerngebieden door 'corridors' of via 'stepping stones'. De idee is dat er dan altijd wel ergens een restpopulatie is die overleeft. Zo wordt als het ware 'ecologische veerkracht' ingebouwd.



Omgaan met onzekerheden

Dan nu graag over 'het omgaan met onzekerheden': 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. Deze begrippen doen recentelijk veel opgeld, juist in deze tijden waarin anticiperend beleid moet worden geformuleerd voor een onzekere toekomst.

Wat is het verschil tussen flexibiliteit en veerkracht?

Flexibiliteit is een begrip dat samenhangt met *aanpassing* aan geleidelijke trendmatige veranderingen. Dat wil zeggen dat flexibiliteit gewenst is om geleidelijke veranderingen in bijvoorbeeld de afvoeren aan te kunnen tegen een achtergrond van veranderende maatschappelijke behoeften, zonder dat men achteraf spijt krijgt van te snel en te ingrijpend handelen of juist van laksheid en een gebrek aan vooruitzien.

De term *veerkracht* heeft daarentegen vooral betrekking op herstel na het wegvallen van een belasting, zoals een hoogwater. Veerkracht is vooral gewenst om *onzekerheden* – bijvoorbeeld over piekafvoeren, de golfvorm en de verdeling over de drie takken – het hoofd te kunnen bieden.

Waar moet men bij flexibiliteit nou zoal aan denken?

Bij flexibiliteit gaat het om twee zaken. Ten eerste moet het mogelijk zijn ontwikkelingen in de tijd bij te houden. Als de maatgevende afvoer sneller toeneemt dan was voorzien, moet deze toch veilig worden afgevoerd. Dat kan door maatregelen wat te overdimensioneren: dijken extra zwaar uitvoeren of – conform Ruimte voor Rijntakken – dijkverleggingen of afgravingen van uiterwaarden maar meteen wat rigoureuzer aanpakken. Daar kun je echter soms weer spijt van krijgen als de afvoertoeename niet blijkt op te treden of ineens stagneert. Dat is het tweede aspect van flexibiliteit: maximaal flexibel is minimale toekomstige spijt.

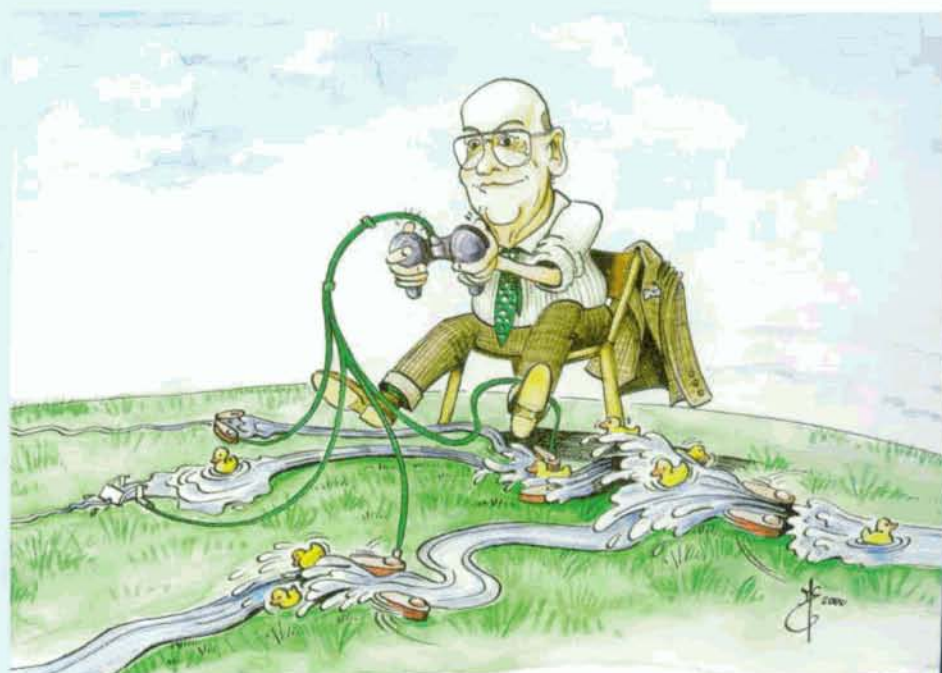
In plaats van over te dimensioneren is het dan ook flexibeler als maatregelen successievelijk kunnen worden ingezet en allemaal afzonderlijk bijdragen aan het bereiken van de doelstelling. Dat betekent dat een tijdspad moet worden uitgestippeld, volgens hetwelk maatregelen één voor één worden toegevoegd en waarbij de ontwikkeling van de maatgevende afvoer zo precies mogelijk wordt gevolgd. Niet teveel, maar ook niet te weinig: precies van pas dus.

Dat klinkt wel mooi, maar spijt? Waar kun je dan allemaal spijt van krijgen?

Je kunt spijt krijgen van maatregelen die later niet nodig blijken. Zo is het denkbaar dat klimaatveranderingen een onvoorziene keer nemen of dat aanpassingen aan de rivier in het buitenland maatregelen bij ons op den duur (weer) overbodig maken. Maar ook kunnen de wetenschappelijke inzichten veranderen of de wensen in de maatschappij.

Essentieel bij het voorkomen van spijt is dan het voorkomen van afwenteling op toekomstige generaties, bijvoorbeeld door een overmatige schuldenlast (staatsschuld) die had kunnen worden voorkomen, door hoge onderhoudskosten, door onomkeerbare schade aan onvervangbare natuur- en cultuurwaarden (ethisch aspect) of niet-compenseerbare schade aan economische gebruiksfuncties, door een groot exclusief ruimtebeslag (geen medegebruik) of door het beperken van de keuzevrijheid van die toekomstige generaties.

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



En 'de ontwikkelingen bijhouden': je kan toch niet overal langs alle drie Rijntakken maar bezig blijven? Of vertaalt zich dat in een volgorde van ingrijpen?

Dit raakt het belangrijke punt van de fasering van maatregelen. Dat heeft veel te maken met de effectiviteit van maatregelen, maar ook met zaken als de ontwikkeling op de bouwstoffenmarkt, met name voor zand en klei.

Voor wat betreft de effectiviteit van maatregelen geldt dat bijvoorbeeld retentie het hoogwaterprobleem voor 1 of zelfs drie Rijntakken in één keer 'oplost', omdat daarmee de maatgevende afvoer wordt verkleind. Daar tegenover staan dan weer bezwaren betreffende de betrouwbaarheid van zo'n maatregel onder alle omstandigheden en de bestuurlijk-juridische implicaties zijn groot. Bovendien is de capaciteit van de bestudeerde retentiegebieden eindig.

Rivierverruimende maatregelen zijn betrouwbaarder en daarmee in een structurele oplossing mogelijk te verkiezen. Maar dat vereist aanpassing van riviertakken over de gehele lengte en misschien wel van alle drie takken gelijktijdig. Uiterwaardverlaging langs drie Rijntakken over de gehele lengte is krap aan te realiseren voor 2015. En als de verruiming moet worden doorgezet voor een hogere afvoer in 2050 betekent het dat tot 2050 in uiterwaarden langs alle drie takken vrijwel voortdurend gegraven wordt. Dat heeft ook zo z'n bezwaren, waaronder overspoeling van de bouwstoffenmarkt (met effecten op de prijzen en de rentabiliteit van de hele onderneming) en een voortdurende rustverstoring in een heel uitgestrekt gebied.

Dergelijke argumenten zijn door de rivierbeheerder in beschouwing genomen bij de voorbereiding van het advies aan de staatssecretaris. Daarbij zou men kunnen denken aan toepassing van retentie als structurele maatregel om tijd te winnen. Intussen kan dan de afvoercapaciteit van één of meer takken zorgvuldig en zonder overhaasting worden aangepast. Later kunnen de retentiegebieden dan het karakter krijgen van een noodmaatregel voor onvoorziene omstandigheden (afvoeren met een herhalingstijd kleiner dan 1/1250).

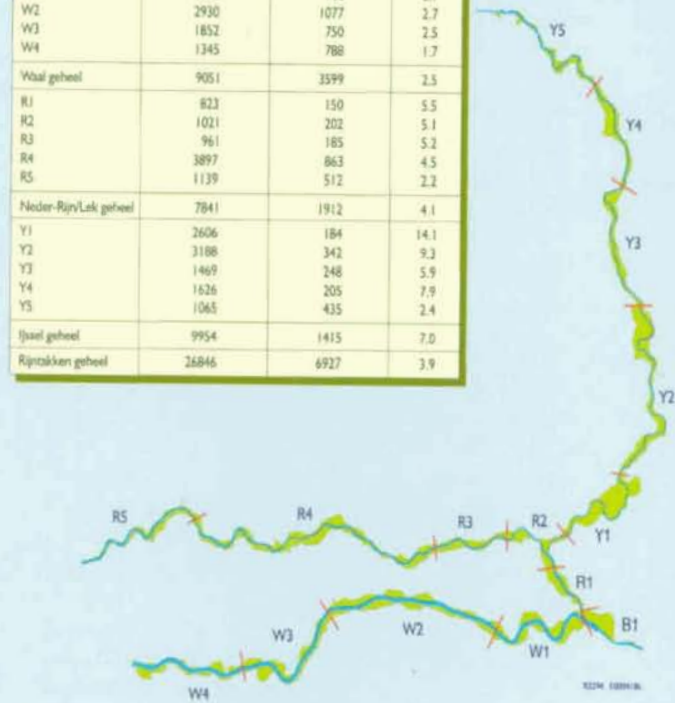
Het onderzoek kan voor dit soort afwegingsdilemma's slechts argumenten voor en tegen benoemen en de gevolgen van keuzen waar mogelijk kwantificeren.

Betekent dit niet dat voor een goede fasering van maatregelen de afvoerverdeling op de splitsingspunten moet (kunnen) worden aangepast?

Jazeker. Omdat het haast onmogelijk is de afvoercapaciteit van één riviertak te vergroten zonder de afvoerverdeling te beïnvloeden, is het gewenst dat met compenserende maatregelen of een regelwerk de afvoerverdeling kan worden 'gestuurd'. Vooral maatregelen nabij een splitsingspunt beïnvloeden de afvoerverdeling sterk. Dat betekent dat onder meer vanuit een oogpunt van fasering – bijvoorbeeld door eerst de afvoercapaciteit van één tak te vergroten – een 'flexibele' vorm van sturing van de afvoerverdeling zeer gewenst is. Dit vereist dat de afvoerverdeling tijdelijk kan worden gewijzigd, opdat deze overeenkomt met de gewenste afvoerverdeling. Nu is uit een verkenning van de 'stuurbaarheid' van de afvoerverdeling gebleken dat deze inderdaad kan worden gewijzigd binnen bepaalde grenzen. Het 'regelbereik' bij Pannerdense Kop is ongeveer 1000 m³/s, dat bij IJsselkop veel kleiner zonder aanpassingen aan de breedte van het winterbed. Daar staat tegenover dat aanpassing op dit moment wel enige jaren vergt, omdat er nieuwe (harde) civieltechnische constructies rond de splitsingspunten moeten worden aangelegd of er (zachte) rivierverruimende maatregelen in de uiterwaarden moeten worden genomen.

Los van aanpassing van de afvoerverdeling op middellange en/of lange termijn kan het wenselijk zijn de afvoerverdeling tijdens een hoogwater te kunnen beïnvloeden, bijvoorbeeld als de afvoerverdeling niet blijkt overeen te stemmen met de berekende – een onzekerheid die hiervoor is besproken –, in verband met een veranderende afvoerverdeling tijdens passage van een hoogwater, of om te bewerkstelligen dat een onverwacht hoge afvoer – boven de maatgevende afvoer – gericht langs één tak wordt afgevoerd, in plaats van ongericht langs drie takken met alle problemen van dien. Daarom wordt in de komende tijd verder onderzoek verricht naar 'flexibel' sturen.

Traject/tak	Opp. uiterwaarden (ha)	Opp. Zomerbed (ha)	Veerkracht
B1	1032	281	3.7
W1	1892	703	2.7
W2	2930	1077	2.7
W3	1852	750	2.5
W4	1345	788	1.7
Waal geheel	9051	3599	2.5
R1	823	150	5.5
R2	1021	202	5.1
R3	961	185	5.2
R4	3897	863	4.5
R5	1139	512	2.2
Neder-Rijn/Lek geheel	7841	1912	4.1
Y1	2606	184	14.1
Y2	3188	342	9.3
Y3	1469	248	5.9
Y4	1626	205	7.9
Y5	1065	435	2.4
IJssel geheel	9954	1415	7.0
Rijnzakken geheel	26846	6927	3.9



Veerkracht van RvR-trajecten



En veerkracht, wat wordt daar mee bedoeld in relatie tot veiligheid?

Met *veerkracht* wordt in het algemeen bedoeld dat een systeem weer terugkeert naar de uitgangstoestand na het wegvallen van een belasting die eerder een verandering van de toestand had veroorzaakt. Dat betekent dat het begrip *veerkracht* slaat op herstelvermogen. Het betekent ook dat gevolgen – bijvoorbeeld van een hoogwater – niet onherstelbaar zijn, maar beperkt blijven en gemakkelijk hersteld kunnen worden.

Rond rivieren, dus ook in het RvR-project, zou 'hydrologische *veerkracht*' kunnen betekenen dat buiten het bereik tot waar de dijken veilig zijn (bij afvoeren hoger dan de 1/1250-afvoer) geen ongecontroleerde overstromingen optreden – met mogelijk zeer grote schade of zelfs maatschappelijke ontwrichting – maar juist het tegendeel: *gecontroleerde overstroming*, daar waar dat de minste schade veroorzaakt. Zo zou *veerkracht* kunnen worden 'ingebouwd' in ons hoogwaterbeveiligingssysteem door calamiteitenvoorzieningen aan te leggen, bijvoorbeeld:

- door *tweede waterkeringen* een stuk achter de eerste, waardoor er extra bergings- of afvoercapaciteit ontstaat (daar moet dan worden afgezien van grote investeringen in bebouwing e.d.);
- in de vorm van *calamiteitenpolders* die bewust en in een van te voren vastgestelde volgorde onder water worden gezet en als retentie of komberging fungeren;
- door grote dijkringen in kleinere stukjes op te delen (te *compartimenteren*) ter beperking van overstromingsschade – waar mogelijk met differentiatie van de veiligheidsnormen.

De *veerkracht* van (de maatschappij in) het rivierengebied wordt vooral bepaald door de mogelijke overstromingsschade en de snelheid waarmee de maatschappij zich weer herstelt na een overstroming. Om daar iets over te kunnen zeggen is een geïntegreerde overstromingsrisico-schademodellering nodig, maar een dergelijk onderzoek is zeer complex en omvangrijk. Daarom is in het RvR-project gezocht naar een eenvoudige 'schatte' voor *veerkracht*. Die is gebaseerd op de oppervlakteverhouding winterbed/zomerbed. De achterliggende gedachte is: hoe meer uiterwaard er ter beschikking staat, des te minder snel zal de waterstand bij toenemende afvoer stijgen en des te langzamer neemt de kans toe dat een dijk het begeeft of overloopt. Met deze eenvoudige maat kan worden vastgesteld dat de IJssel de meeste *veerkracht* heeft – want deze rivier heeft hele brede uiterwaarden – en de Waal de geringste. Met deze maat voor *veerkracht* ligt het ook voor de hand dat rivierverruiming door dijkeruglegging en groene rivieren de *veerkracht* doet toenemen, terwijl dat voor uiterwaardverlaging niet het geval is.

Wat betekenen flexibiliteit en veerkracht nou voor een te ontwikkelen strategie?

Een hele moeilijke vraag, waar het RvR-onderzoek 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 een strategie te ontwikkelen waarmee toekomstige spijt wordt voorkomen – en die in die zin flexibel is –, 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 – en die in die zin *veerkrachtig* is. Eens per 1250 jaar gemiddeld lijkt wel weinig, maar het kan volgend jaar optreden, en ook dan willen we de gevolgen graag 'binnen de perken' houden. Dat betekent dat honderd procent zekerheid dat geen overstromingen optreden niet kan worden gegeven en dat gecontroleerde overstroming beter is dan ongecontroleerde. *Veerkracht* dus.

Bovendien ligt het op grond van fysische wetmatigheden voor de hand dat de afvoeren van de Rijn zullen toenemen, maar we weten niet hoe snel dat zal gebeuren noch precies waar een fysische bovengrens zit. Reden om flexibiliteit te betrachten.

Wat de maatschappelijke implicaties van zo'n strategische keuze zijn is nog niet aan een ieder volstrekt duidelijk, en evenmin is duidelijk of de maatschappij bereid is die implicaties te aanvaarden. Dat alles zal in het vervolg van RvR moeten blijken. Het valt in ieder geval buiten het bestek van het onderzoek waar dit rapport over gaat.



Geraadpleegde literatuur

- Asselman, N.E.M., 1999a. Slibmodellering in RvR-fase 1. WL rapport R3337, Delft.
- Asselman, N.E.M., 1999a. Slibmodellering in RvR-fase 2. WL rapport R3337, Delft.
- Baan, P.J.A. & F. Klijn, 1998. De Rijn op Termijn; een veerkrachtstrategie. WL rapport R3124.10, Delft.
- Bundesministerium für Verkehr (Arbeitsgruppe 'Rheinsohlenerosion'), 1997. Sohlengleichgewicht am Rhein, Bestandsaufnahme und Maßnahmenprogramm. Münster/Mainz.
- Claessen, F.A.M. & J.P.M. Dijkman, 1999. Uitgangspunten recente studies waterbeheer. RIZA/ WL, rapport R3413, Delft.
- Dienst Landelijk Gebied et al., 1999. Ruimte voor Gelders water; Bestrijding hoogwaterproblematiek Gelderse rivieren.
- Heynert, K., 1999. Hydraulische effecten RvR Bouwsteen Natuur. WL rapport R3294.77, Delft.
- HKV RIJN IN WATER, 1997a. Hydraulische knelpunten Nederlandse Rijntakken: een inventarisatie. HKV, Lelystad.
- HKV RIJN IN WATER, 1997b. Ruimte voor Rijntakken, Verkenning verwijdering van hydraulische knelpunten. HKV, Lelystad.
- Internationale Commissie ter bescherming van de Rijn, 1997. Bestandsaufnahme Hochwasserschutz am Rhein.
- Internationale Commissie ter bescherming van de Rijn, 1998a. Actieplan Hoogwater.
- Internationale Commissie ter bescherming van de Rijn, 1998b. Wirkungsabschätzung von Wasserrückhalt im Einzugsgebiet des Rheins. Stand 11 September 1998.
- Middelkoop, H. & C.O.G. van Haselen (eds.), 1998. Twee rivieren: Rijn en Maas in Nederland. Rapport 98.041, RIZA, Arnhem/ Lelystad.
- Ministerie LNV (Landbouw, Natuurbeheer en Visserij), 1990. Natuurbeleidsplan. Sdu, Den Haag.
- Ministerium für Umwelt Baden Württemberg, 1988. Hochwasserschutz und Ökologie. Ein 'Integriertes Rheinprogramm' schützt vor Hochwasser und erhält naturnahe Flußauen. Stuttgart.
- Ministerie van V&W (Verkeer en Waterstaat), 1996. Watersysteemverkenningen (wsv); Achtergrondnota Toekomst voor Water. RIZA nota 96.058, Lelystad/ rapport RIKZ 96.030, Den Haag.
- Ministeries VROM & V&W (Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer & Verkeer en Waterstaat), 1997. Beleidslijn Ruimte voor de Rivier. Den Haag.
- Ministerie V&W (Verkeer en Waterstaat), 1999. Vierde nota waterhuishouding. Regeringsbeslissing, februari 1999, Den Haag.
- Netherlands Hydrological Society (NHV), 1998. Water in the Netherlands. Delft.
- Parmet, B.W.A.H., W. van de Langemheen, H. Chabab, J.C.J. Kwadijk, F. Diermanse & D. Klopstra, 1999. De maatgevende afvoer van de Rijn te Lobith, Onderzoek in het kader van het randvoorwaardenboek 2000. RIZA, Arnhem/ WL, Delft.
- Petersen, J.W. van, 1978. De Waterplaag. Dijkdoorbraken en overstromingen achter de Rijn en IJssel. De Walburgers, Zutphen.
- Ploeger, B., 1992. Bouwen aan de Rijn; menselijke ingrepen op de Rijn en zijn takken. Rijkswaterstaat nota 53, Den Haag.
- Schropp, M., 1999. Regelbereik afvoerverdeling Rijntakken, een verkenning bij Maatgevend Hoogwater. RIZA rapport 99.022, Arnhem.
- Silva, W. & J. Hartman, 1993. Maatgevende hoogwaterstanden langs de Rijn en zijn takken op basis van het advies van de commissie Boertien. RIZA, Arnhem/ Lelystad.
- Silva, W. & M. Kok, 1996. Integrale Verkenning inrichting Rijntakken. Hoofdrapport "Een weegschaal voor rivierbeheer". IVR-rapport nr. 1, RIZA, Arnhem/ WL, Emmeloord.
- Silva, W. & J.P.M. Dijkman, 2000. Maatregelen in het stroomgebied van de Rijn, Een verkenning van mogelijkheden en effecten op hoogwaterstanden in Nederland. RIZA-werkdocument 2000.052X, Arnhem/ WL rapport T2331.51, Delft.
- Technische Adviescommissie Waterkeringen (TAW), 1998. Grondslagen voor waterkeren. Delft.
- Ubbels, A., G. Blom, A.W. Dollee, W. Silva & R. Westphal, 1999. Afvoerverdeling Rijntakken, Een verkenning van de mogelijkheden en effecten van een andere afvoerverdeling onder maatgevende omstandigheden. RIZA-rapport 99.062, Lelystad.
- Waterloopkundig Laboratorium & EAC/RAND, 1993. Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterkingen; Eindrapport. Emmeloord.
- WL, 1998. De Rijn op Termijn. WL-brochure, Delft.

Verantwoording van foto's

bladzijde

46	Archiv Rodenstein W. Beuerle und E. Schäfer (Frankisch-Crumbach)
54, 96	Claus van den Brink
138	Tom Buijse
50	Bundesministerium für Verkehr / Mainz)
116, 120	Bureau voor Stroming, Natuur- en Landschapsontwikkeling (Laag Keppel)
44, 84, 96, 104, 116, 120, 148	Annemiek Demon
90	Dienst Landelijk Gebied
38, 80	Klaas Jan Douben
40	Don Duizendstra
46	DPA (Frankfort)
74	Gewässerdirektion Südlicher Oberrhein/Hochrhein (Lahr)
136	Institut Meteorologii i Geopodarki Wodnej
130	Luc Jans
12	Henk de Jong luchtfotografie (Zeist)
64, 70, 72, 80, 82, 96, 106, 112, 116, 148, 152	Frans Klijn
114	Frank Kok
38	Joost Koikman
118	Franz Kovacs (Foto Natura)
120	Rene Krekels
48	Nederlandse Hydrologische Vereniging
118	Flip de Nooyer (Foto Natura)
132	Eppo W. Notenboom (Lekkerkerk)
omslag, 92, 124, 132	Bas Pedrolli
116	Polderdistrict Groot Maas en Waal
8, 14, 52, 130	P. Rey (Constance)
46	Rijkswaterstaat / dienst Veg- en Waterbouwkunde
32	Rijkswaterstaat / directie Oost-Nederland
28, 34, 132	Rijkswaterstaat / Meekundige Dienst
18, 20, 22, 42, 44, 46, 68, 72	
114, 122, 126, 128, 130, 134, 140	
16, 18, 26, 46, 48, 50, 58, 104, 116, 138, 144, 146	
112, 120, 124, 144	
144, 148	
60	Arjan Sieben
14	Jennie Simons
118	Wim Weenink (Foto Natura)
20, 30, 104, 118	WL Delft Hydraulics

Verantwoording van illustraties

	bladzijde
Dratex (Lelystad)	8, 10, 14, 22, 44, 52, 54, 56, 68, 70, 80, 82, 84, 90, 94, 100, 102, 130, 142
Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (Düsseldorf)	26, 66
K. Nuijten (Leuth)	40, 44, 86, 88, 102, 108, 110, 150
Rijkswaterstaat / directie Oost-Nederland	16, 60, 114
Rijkswaterstaat / directie Zuid-Holland	126
Rijkswaterstaat / RIZA	24, 34, 48, 136
WL Delft Hydraulics	4, 10, 12, 16, 18, 20, 24, 30, 32, 34, 38, 40, 46, 48, 50, 52, 54, 58, 60, 62, 64, 66, 70, 72, 76, 78, 80, 82, 86, 88, 92, 94, 96, 98, 104, 106, 108, 112, 116, 118, 122, 124, 132, 134, 136, 138, 142, 152, 154

Colofon

Betrokken onderzoeksinstituten	Alterra (voorheen IBN-DLO en SC-DLO), Arcadis Heidemij, Dienst Landelijk Gebied, Geodan, Grontmij, Haskoning, HKV LIJN IN WATER Landbouw Economisch Instituut, RIZA, Stichting RAAP, VISTA, WL Delft Hydraulics
Lay-out	Ruud Ridderhof en Engelbert Vennix (WL)
Lithografie	Joost Kolkman (Leiden)
Drukwerk	JB&A Grafische Communicatie (Wateringen)
Inhoudelijke informatie	Wim Silva (RWS/RIZA), 026-4430939 W.Silva@riza.rws.minvenw.nl Jos Dijkman (WL), 015-2858457 jos.dijkman@wldelft.nl Frans Klijn (WL), 015-2858824 frans.klijn@wldelft.nl
Algemene informatie	Secretariaat Ruimte voor Rijntakken M. van Voorst (RWS/directie Oost-Nederland) 026-3688601
RIZA-nota	2000.026
WL-rapport	R3294
ISBN	9036953235

