



Klimaatadaptatie in het rivierengebied

Een geo-ecologisch perspectief

Door klimaatverandering verandert het afvoerregime van onze grote rivieren. Hoogwaters worden hoger en frequenter, laagwaters lager en langduriger. Hoe we daarop reageren hangt af van hoe we klimaatverandering zien: als opgave, of als kans om onvolkomenheden aan te pakken. In dit artikel presenteren we aanzetten voor een meer geo-ecologisch gefundeerde inrichting, of – naar McHarg – voor *design with nature*.

Inmiddels wordt alom erkend dat we de antropogene klimaatverandering niet kunnen voorkomen. We zullen ons aan de gevolgen moeten aanpassen. Voor onze grote rivieren betekent dit dat we ons moeten voorbereiden op frequentere en hogere hoogwaters en langduriger laagwaters (Sperna Weiland *et al.*, 2015; Klijn *et al.*, 2015). De consequenties van hogere en frequentere hoogwaters is dat de rivieren nog hoger boven het land achter de dijken zullen uitrijzen, dat water veel vaker tegen de dijk zal staan en dat het overstromingsgevaar zal toenemen. Dat wil zeggen: als we niets doen. De toename van laagwaters betekent dat schepen minder diep kunnen beladen, het transport over water in de knel komt, de uiterwaarden verder zullen verdrogen en de zoutindringing in West-Nederland klemmender zal worden. Ook hier geldt: als we niets doen.

We moeten dus wél iets doen. Klimaatverandering vraagt om adaptatie; ter bescherming tegen overstromingen, om onze landbouw, scheepvaart en andere economische activiteiten te kunnen voortzetten, maar ook om de natuur- en landschapskwaliteit van ons land te beschermen dan wel te vergroten. Maar is dat een opgave of een uitdaging?

In het Deltaprogramma Grote Rivieren (Anonymus, 2014) werd het tot voor kort vooral als een opgave gezien, mede onder druk van een Tweede Kamer die het Deltaprogramma dwong zich te beperken tot wat werd beschouwd als de kerntaken van de waterstaat: overstromingsrisicobeheersing en zoetwatervoorziening.

Intussen is er al van alles mis met onze rivieren, of worden we binnen afzienbare tijd met problemen geconfronteerd. Zoals steeds hoger opslubbende uiterwaarden, waarbij de natte en vochtige milieus verdwijnen en de afvoercapaciteit van de rivier afneemt en uitschuring van het zomerbed, waardoor de lage waterstanden steeds lager worden, de uiterwaarden nog verder verdrogen en waarbij ook allerlei economische activiteiten hinder of schade ondervinden.

De rivieren zijn geoptimaliseerd voor twee belangrijke functies, veilige waterafvoer en scheepvaart. De ecologische achteruitgang die het gevolg hiervan is, hebben we in de afgelopen decennia het hoofd geboden met allerlei effectgerichte maatregelen. Inrichtingsplannen in het kader van de Nadere Uitwerking Rivierengebied (NURG; zie Feddes, 2012), maatregelen ingevolge de Kaderrichtlijn Water (KRW) en rivierversuimingen in het kader van Ruimte voor de Rivier (Klijn *et al.*, 2013; Haviga & Der Nederlanden, 2018) hebben onmiskenbaar kwaliteitsverbeteringen voor natuur en landschap opgeleverd, maar vooral als symptoombestrijding, want de wezenlijke oorzaken van de achteruitgang zijn niet aangepakt. Nu Ruimte voor de Rivier is opgeleverd en aan alle verwachtingen heeft voldaan (Olde Wolbers *et al.*, 2018) zien we op verscheidene plaatsen echter een bezinning op de vraag: hoe nu verder? Rijkswaterstaat bezint zich op een nieuw narratief om richting te geven aan rivierbeleid en -beheer, toegespitst op het eigen beheers-

Rijn
Maas
afvoerregime
sedimentatie
erosie
rivierbeheer

F. (Frans) Klijn
Deltares, Boussinesqweg 1,
2629 HV Delft & TU Delft
frans.klijn@deltares.nl

N.E.M. (Nathalie) Asselman
Deltares

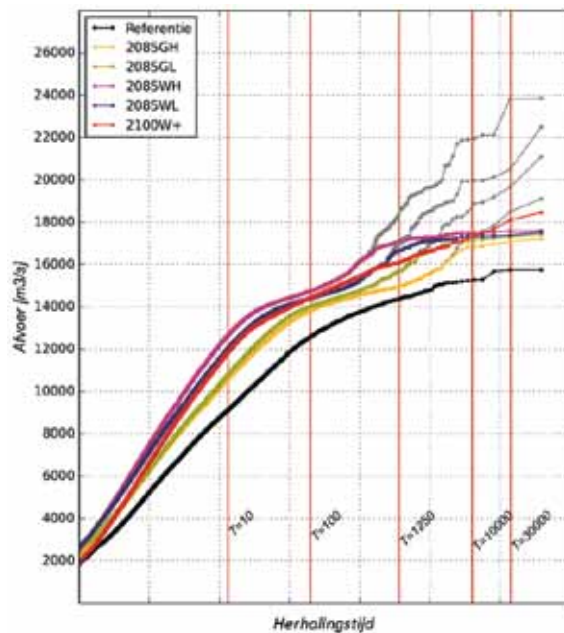
M. (Mark) Hegnauer
Deltares

E. (Erik) Mosselman
Deltares & TU Delft

F. (Frederiek) Sperna Weiland
Deltares

Figuur 1 De relatie tussen overschrijdingsfrequentie (uitgedrukt als gemiddelde herhalingsstijd) en de theoretisch mogelijke aanvoer naar Lobith in de Rijn in 2085 (in grijs) en de werkelijk te verwachten afvoer van de Rijn te Lobith als rekening wordt gehouden met overstromingen in Duitsland (in kleur) voor de vier KNMI'14 scenario's en het KNMI'06 W+-scenario (Klijn *et al.*, 2015).

Figure 1 Development of the relationship between exceedance probability (expressed as average recurrence time) and the discharge of the Rhine at Lobith in 2085 as potentially produced in the catchment (in gray) and the actually expected discharge at Lobith taking if flooding in Germany is taken into account (in colour) for the four KNMI'14 scenarios and the KNMI'06 W+ scenario (Klijn *et al.*, 2015).



gebied. Dat narratief, deels verwoord in Het Verhaal van de Rivier (Klijn *et al.*, 2017), wordt nu nader uitgewerkt voor concrete riviertrajecten (Anonymus, 2019) en moet vervolgens worden geconcretiseerd in het programma Integraal RivierManagement (IRM) dat inmiddels in de steigers staat. Het College van Rijksadviseurs (2018) pleitte, met het oog op de klimaatverandering, al expliciet voor een nieuwe ronde rivierverruiming. En ten behoeve van de Nationale Omgevingsvisie (NOVI) verkent het rijk welke ruimtelijke lange-termijnontwikkelingen te verwachten dan wel gewenst zijn, waarbij het hele rivierengebied object van verkenning is.

In dit artikel laten we eerst zien wat de klimaatverandering voor het afvoerregime van onze rivieren kan betekenen. Daarna beschrijven we kort wat dat betekent voor de functies die onze rivieren hebben voor de mens en voor de natuurwaarden van het buitendijkse gebied.

Vervolgens schetsen we wat een te verwachten respons van de maatschappij zou kunnen betekenen, namelijk aanpassing van de rivier aan de wens tot functiebehoud met technische oplossingen. Daarna verbreden we de scope door een korte analyse van onvolkomenheden en ongewenste ontwikkelingen zoals we die nu in het rivierengebied kunnen waarnemen en schetsen we een meer op geo-ecologisch functioneren gebaseerd perspectief.

Klimaatverandering: wat komt er op ons af?

Uit analyses blijkt het in alle klimaatscenario's (Klein Tank *et al.*, 2014) gemiddeld veel natter te worden, vooral in de winter. In de zomer wordt het in de meeste scenario's iets droger, in een enkel scenario wordt het echt veel droger. In alle scenario's wordt het afvoerregime van de Rijn en de Maas door het jaar heen grilliger: grotere gemiddelde winterafvoeren (januari-februari) en kleinere nazomerafvoeren (augustus-september).

Als we specifiek naar de extremen kijken dan zien we dat de stroomgebieden zeer grote afvoeren kunnen genereren, wel 20-30% groter dan waar ons rivierengebied op is ingericht, maar met nu nog een zeer kleine kans van optreden. In de toekomst wordt die kans significant groter (figuur 1). Voor de Rijn geldt echter dat grootschalige overstromingen tussen Bonn en de Nederlandse grens leiden tot aftopping van extreme afvoeren. In het huidige klimaat en met de huidige bedijkingssituatie in Duitsland wordt de rivierafvoer al enigszins afgetopt vanaf circa 14.000 m³/s, en zijn afvoeren groter dan 16.000 m³/s uiterst onwaarschijnlijk (figuur 1, vergelijk de gekleurde lijnen met de grijze). Maar in de toekomst nemen de extreme afvoeren bij Lobith toch nog fors toe tot ongeveer 17.500 m³/s omdat de bergingscapaciteit van de Duitse beschermde gebieden tussen Bonn en Wesel dan tekortschiet. Nog hogere afvoeren leiden tot het overlopen van de dijken tussen Wesel en Lobith,

dat wil zeggen vlak voor de Nederlandse grens. Dat leidt tot overstromingen in de grensstreek en eventueel zelfs kortsluiting naar het IJsseldal via Doetinchem (Lammersen, 2004). Voor de Maas geldt een vergelijkbaar verhaal als het gaat om de theoretisch maximale afvoeren in de verschillende scenario's (Klijn *et al.*, 2015). Maar bij deze rivier is de kans op grootschalige overstromingen in Wallonië, dus voor onze landsgrens, verwaarloosbaar. Aftopping vindt pas plaats langs de Grensmaas en in het gebied van de Plassenmaas, tenzij we daar de ruimte inperken door nieuwe dijken aan te leggen of bestaande dijken te verhogen.

Voor laagwaters is het veel lastiger goede prognoses van te verwachten afvoeren te genereren. Dat komt omdat er rekening moet worden gehouden met veel meer interacties tussen vegetatie, bodemwaterbalansen en afvoeren, maar ook doordat in de deelstroomgebieden nog veel water voor menselijk gebruik zou kunnen worden onttrokken of vastgehouden met stuwen. En naarmate de mens meer intervieneert, wordt de toekomst ongewisser. Desalniettemin lijkt het erop dat we voor extreme laagwaterperioden voor de Rijn in de meeste scenario's slechts kleine afnames zien van de geringe rivierafvoeren, behalve in het droogste scenario waarin de afvoeren aan het einde van de zomer wel met 20-30% afnemen in respectievelijk 2050 en 2085. Maar omdat de Rijn een groot en gevarieerd stroomgebied kent, met een belangrijke buffer in de vorm van het Bodenmeer, zal er altijd wel water door de Rijn blijven stromen. Voor de Maas, die een veel variabelere afvoerregime kent met nu al zeer lage afvoeren in de (na)zomer, wordt verwacht dat die in de meeste scenario's nog significant verder afnemen.

Consequenties voor mens en milieu

Vaker en hoger hoogwater heeft vooral gevolgen voor onze hoogwaterbescherming en voor de gebruiksmo-

gelijkheden van en milieuomstandigheden in de rivier en uiterwaarden. De rivierdijken zullen vaker en zwaarder op de proef worden gesteld. Als we ze verhogen - en dus toestaan dat de hoogwaters ook significant hoger worden - dan zullen de gevolgen van een nooit helemaal uit te sluiten dijkdoorbraak, in termen van slachtoffers en schade, groter zijn (zie Klijn *et al.*, 2018). Voor de natuur geldt dat de al bestaande overdosis aan hydrodynamiek, in de vorm van te frequente en te diepe langdurige inundaties, nog zal toenemen. Zeker door het al ontbreken van milieugradiënten door opslibbing (Asselman & Middelkoop, 1995) is verlies aan soortendiversiteit te verwachten.

De lagere en langduriger laagwaters zullen vooral grote consequenties hebben voor de scheepvaart, want de vaargeul wordt bij de vastgestelde normaalbreedte te ondiep. Verder blijft, waar het zomerbed sterk is ingesneden, te weinig water staan boven sluisdrempels, zodat kanalen niet kunnen worden bereikt. Inlaatpunten voor zoetwater vallen droog, pontjes gaan uit de vaart, de riviermondingen verzilten en ook in het IJsselmeer lopen de zoutgehalten op, waardoor de drinkwaterinname wordt belemmerd. Ook wordt de algehele verdeling van zoet water over Nederland problematisch, met extra klink van veengebieden en schade aan natte natuurgebieden tot gevolg. Voor de rivieren zelf is de verdere verdroging van de uiterwaarden en het droogvallen van nevengeulen een punt van zorg, evenals het stilvallen van de Grensmaas. Vooral het natte deel van de milieugradiënt zal kunnen verdwijnen, zeker waar de oevers steil zijn en in steen gestort, zoals langs de IJssel. In de gestuwde Maas en Nederrijn zal de waterstand gehandhaafd kunnen worden, maar dat zijn vanuit ecologisch oogpunt meer kanalen dan rivieren, met een onderbroken stroming en zonder natuurlijke waterstandsfluctuaties.

Figuur 2 Opgeslibde uiterwaarden (+1 m NAP) met hoge dijken tussen steeds verder wegzinkend land (-1 m NAP): dwarsdoorsnede door de Merwede ter hoogte van Hardinxveld-Giessendam, met links de Alblasserwaard en het oude veenriviertje de Giessen.

Figure 2 Silted-up floodplains (+1 m NAP) confined by embankments between subsiding land (-1 m NAP): cross section through the Merwede River at Hardinxveld-Giessendam, with the Alblasserwaard polder and the derelict Giessen River on the left.

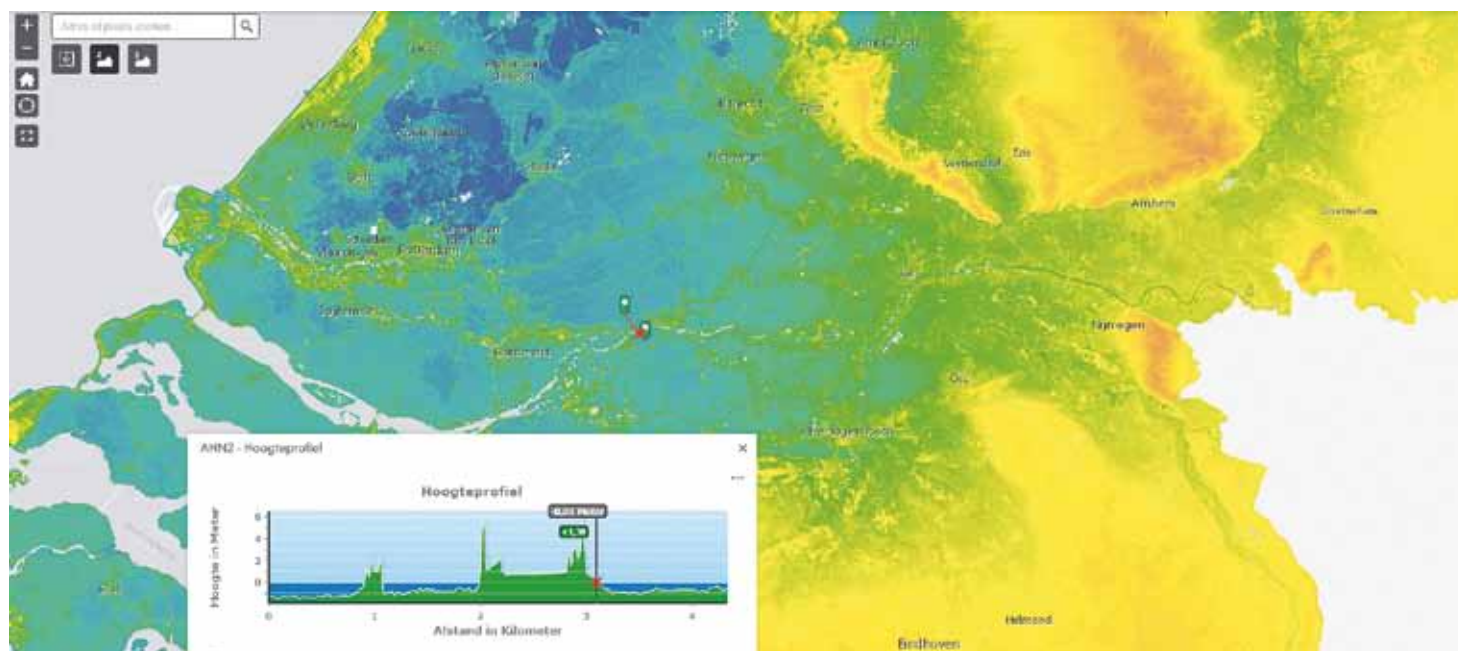
Klimaatadaptatie als opgave: behoud van gebruiksfuncties als uitgangspunt?

Als we de gevolgen van de klimaatverandering voor het afvoeregime van de rivieren als opgave zien, is de kans groot dat we de consequenties met technisch ingrijpen proberen te mitigeren om het natuurlijk systeem, voor elke functie afzonderlijk, verder aan te passen aan de onbegrensde wensen van de gebruikers. Dat is conform het 'oude denken': water volgt functie.

Waarschijnlijke ingrepen zijn dan dijkverhoging om de hogere hoogwaters veilig af te kunnen voeren, eventueel aangevuld met uiterwaardverlaging en aanpassingen aan de vaargeul om de scheepvaart te ondersteunen, bijvoorbeeld met langsdammen en steenbestortingen op de bodem omdat daarmee de vaargeul zowel qua

breedte als diepte beter kan worden gecontroleerd. Op die manier wordt echter voorbijgegaan aan het feit dat een rivier een dynamisch systeem is, waarin geen enkele ingreep zonder respons van het systeem blijft en iedere ingreep onontkoombaar tot erosie of sedimentatie leidt (o.a. Klijn *et al.*, 2017). Als de laagwaters erg klemmend worden voor de scheepvaart zal de roep om stuwen in de IJssel, die toch al nooit helemaal is verdwenen, weer sterker worden; en zal uiteindelijk ook kanalisatie van de Waal met stuwen niet meer onbespreekbaar worden geacht.

Vanuit een landschapsecologisch perspectief vormen deze te verwachten ingrepen natuurlijk een doemsce-nario. Een nog strakkere scheiding tussen binnen- en buitendijks, met buitendijks nauwelijks nog ongeschon-

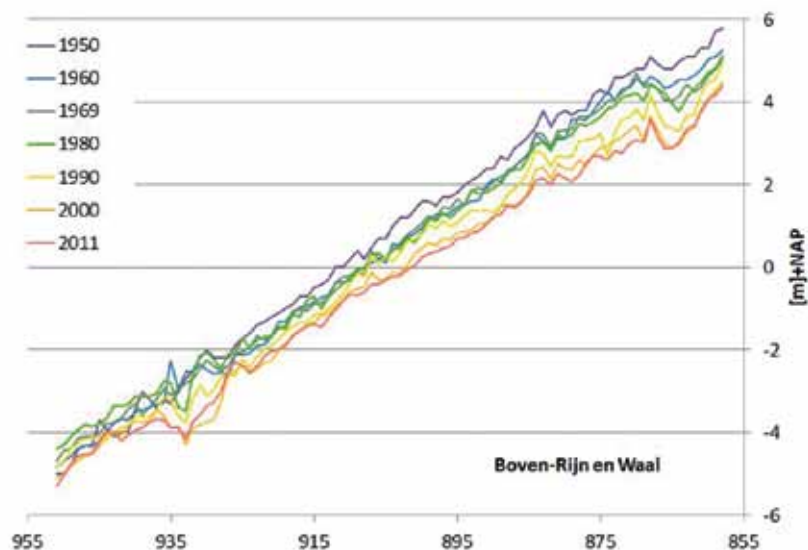


den geomorfologie door vergravingen (De Soet, 1976; Asselman & Klijn, 2003) en veel meer waterpartijen om voldoende afvoercapaciteit te hebben. Ooibos mag nergens meer, want is hydraulisch te ruw. En met een harde grens tussen hoofdvaarweg (snelweg voor vrachtverkeer) en een winterbed met wat nevengeulen en waterpartijen om in te spelen voor recreanten.

Klimaatadaptatie als uitdaging of kans

We kunnen de klimaatverandering ook aangrijpen om een nieuwe balans te zoeken tussen tegenstrijdige wensen en strevingen. Natuurlijk moeten onze rivieren belangrijke maatschappelijke functies kunnen vervullen, maar juist het feit dat die functies nu zelf aanlopen tegen de grenzen van de draagkracht van onze rivieren biedt kansen voor werkelijk integraal rivierbeheer. Of beter: voor een integrale herinrichting. En misschien moeten we vaststellen dat de wensen van sommige functies dan onvervulbaar zijn.

In de context van klimaatveranderingsadaptatie moeten we onzes inziens door een dynamische bril naar onze rivieren kijken, en op een veel langere tijdschaal dan we gewoon zijn. Dat betekent 'Design with nature' (McHarg, 1969) en 'nature-based solutions' (Van Weesenbeeck et al., 2014), waarbij we vooral moeten denken aan de natuurlijke processen en ontwikkelingsneigingen van rivieren en niet alleen aan gesleep met zand en klei waar 'building with nature' nu nog te vaak op neerkomt. We moeten dan dus de geomorfologische processen en ontwikkelingen en de bijbehorende zeer lange tijdschalen beschouwen. Het riviersysteem is door de mens al eeuwen naar diens hand gezet, met als gevolg dat uiterwaarden steeds hoger worden (Asselman & Middelkoop, 1995) en dat het achterland daalt door inklinking en oxidatie, terwijl daar ook geen sediment meer wordt aangevoerd (figuur 2). Bovendien gaan de vrij afstromende rivie-



ren zich steeds verder insnijden (figuur 3; Blom, 2016) door de verminderde aanvoer van sediment uit het achterland, maar meer nog door de vastlegging van het zomerbed.

De fixatie van winterbed en zomerbed plus het ontbreken van een natuurlijke sedimentaanvoer uit het stroomgebied leidt tot een onbalans in de sedimentverdeling tussen zomer- en winterbed, en tussen winterbed en bedijkt gebied. Onderzoek is nodig om te kijken hoe dit proces te keren is, maar intussen kunnen we wel vaststellen dat we in onze laaglandrivieren en delta niet alleen een waterprobleem hebben, maar ook - of misschien wel meer - een sedimentprobleem (Mulder et al., 2010; Frings & Ten Brinke, 2017). De uitdaging wordt dan het aanpakken van ongewenste ontwikkelingen die het gevolg zijn van de bedijkingen en de normalisaties te combineren met klimaatveranderingsadaptatie. Als we dan terugkijken naar het veranderende afvoerregi-

Figuur 3 De ontwikkeling van het zomerbed sedert 1950 (op basis van gegevens van Arjen Sieben, Rijkswaterstaat): voortschrijdende insnijding en kanteling van het rivierlangsprofiel in respons op interventies in het stroomgebied en de normalisaties.

Figure 3 Development of the river bed profile of the Netherlands' Rhine and Waal River since 1950 (based on data from Arjen Sieben, Rijkswaterstaat): progressive incision and tilting in response to upstream river regulation and river training.

me, kunnen we vaststellen dat de natte doorsnee van het huidige winterbed eigenlijk nu al aan de krappe kant is en dus zeker niet meer voldoet als de hoge rivierafvoeren nog verder gaan toenemen, maar ook dat de natte doorsnee van het zomerbed te ruim is om in een vrij afstromende rivier op termijn voldoende vaardiepte te garanderen.

Een geo-ecologisch perspectief?

Wat betreft klimaatadaptatie staan we voor de volgende opgaven:

- voor een veilige hoogwaterafvoer is een veel grotere afvoercapaciteit nodig;
- voor de scheepvaart moet een vaargeul van voldoende dimensies (diepte en breedte) worden geboden;
- voor de zoetwatervoorziening is voldoende aanvoer naar grote delen van het land nodig en moeten tevens voldoende hoge rivier- en grondwaterstanden worden gehandhaafd;
- voor de natuur is een natuurlijker waterstandsfluctuatie- en overstromingsregime (hydrodynamiek) in de uiterwaarden gewenst, vergroting van de diversiteit aan milieutypen (milieugradiënten) met ook ruimte voor ooibos en andere hydraulisch ruwe ecotootypen, en vergroting van de samenhang tussen kerngebieden door verbindingen in de vorm van corridors (blauwgroene netwerken).

Daarbij is het gewenst:

- de mogelijke gevolgen van overstromingen in de verre toekomst niet te laten toenemen;
- de insnijding van de vrij afstromende rivieren, met name de Waal en IJssel, te stoppen.

Over deze laatste twee doelstellingen zijn overigens nog geen bindende beleidsuitspraken gedaan. Over de eerste 2 zijn die er wel. Voor 3 en 4 kan wel aan beleidsuit-

spraken worden gerefereerd, maar die zijn ambigu en weinig hard.

Alles bij elkaar staan we niet voor een eenvoudige en eenduidige opgave en er is geen pasklare oplossing. We doen hier enkele proposities die berusten op een geo-ecologisch perspectief, ofwel het principe van 'design with nature', omdat we menen dat we het in die richting moeten zoeken. Dit geo-ecologische perspectief gaat uit van de manier waarop de rivier zich zou ontwikkelen als de mens niet steeds zou ingrijpen. We hebben dit, voor wat betreft het abiotische deel, uitgebreid beschreven in het rapport 'Wat wil de rivier zelf eigenlijk?' (Kleinmans *et al.*, 2013).

Op het schaalniveau van de zich in een delta vertakken- de rivier vond in het verleden gemiddeld iedere 125 jaar wel ergens een rivierverlegging plaats, en in natuurlijke delta's is dat nog steeds zo. Vanuit geo-ecologisch perspectief zouden we rivierverleggingen, of op zijn minst een andere afvoerverdeling ten tijde van extreem hoogwater, moeten toestaan dan wel bevorderen.

Op het schaalniveau van de uiterwaarden en het zomerbed stellen we vast dat laterale erosie en aanzanding natuurlijke processen zijn die horen bij zich verplaatsende meanders en geulenstelsels. Dat zou betekenen dat we de oevers niet langer beschermen en de rivier zich weer laten ontwikkelen naar een natuurlijke verhouding tussen breedte en diepte.

Voor deze beide schaalniveaus is evident dat volledig met de natuur meewerken niet kan: dan is het rivierengebied nauwelijks meer bewoonbaar en blijft de rivier niet langer bevaarbaar. Maar we kunnen wel gebruik maken van deze kennis om de rivier wat minder strak aan de teugel te houden (Ten Brinke, 2005). We kunnen veel meer met de natuurlijke neigingen mee ontwerpen. Geef de rivieren weer een veel groter winterbed ter beschikking, waarbij de Waal door de Betuwe zou mogen

stromen of bij Heerwaarden naar de Maas zou mogen overlopen; stuur de door klimaatverandering toenemende Rijnafvoer langs de kortste weg naar zee en dus door het IJsseldal naar het noorden, waarbij de Bovenrijn al vanaf de Duitse grens de bocht naar het noorden zou mogen afsnijden. En ook: probeer de morfologische interactie tussen zomerbed en winterbed te herstellen, waar dat maar even mogelijk is.

Met een forse vergroting van het winterbed kan de toename van de extreme rivierafvoeren goed het hoofd worden geboden en ontstaan er ook goede kansen voor de natuur. Dit laatste aspect hebben we uitgebreid verkend met Alterra, waarbij we de rivierecologische concepten *Flood Pulse* en *River Continuum* als ontwerprichtlijnen hebben geïnterpreteerd (Klijn et al., 2004). Dit mondde uit in een ruimtelijk beeld van twee verschillende typen kleinschalige en grootschalige rivierverruiming: ‘stromende kommen’ voor het natte deel van de gradiënt en ‘natuurlijk rivierdal’ voor de gradiënt naar de hoge gronden, gecompleteerd met een verwachting van wat dat betekent voor de toekomstige potentiële natuurwaarden. (Voor referentiebeelden: denk bij stromende kommen aan hoe de Ruimte voor de Rivierprojecten Munnikenland, Noordwaard en bypass Kampen erbij liggen en bij natuurlijk rivierdal aan de dijkverleggingen Cortenoever en Voorster Klei.)

Waar synergie tussen een veilige hoogwaterafvoer en herstel van natuur en landschap nog relatief gemakkelijk lijkt te realiseren, is bij de opgaven die voortvloeien uit de toename van laagwaters mogelijk sprake van onverenigbare wensen of eisen, vanuit verschillende functies en waarden. Als we vrij afstromende rivieren willen, omdat we in internationaal verband hebben afgesproken vistrek mogelijk te maken en de ecologische toestand van onze rivieren te verbeteren, kan dat bot-

sen met de wens een betrouwbaar vaarwegennetwerk te hebben en dus de rivieren vrijwel voortdurend bevaarbaar te houden.

Nederland streeft naar een vaargeul in de Waal (tot Zaltbommel) die 150 m breed en 2,80 m diep is (bij Overeengekomen Lage Rivierstand (OLR)). Maar we willen ook nog varen op de vrij afstromende IJssel, waarvoor we gewenste dimensies van 150 m breed bij 2,50 m diep (tot Zutphen) hebben vastgesteld. Als we de gewenste dimensies van de Waal en IJssel bij elkaar optellen (we mogen de Nederrijn verwaarlozen, want die is gestuwd), vragen we dus misschien wel om een dwarsprofiel dat te groot is voor wat de Rijn bij Lobith kan aanvoeren; nu al, maar helemaal voor de toekomstige lage rivierafvoeren. Gaan we nu de IJssel en Waal verder versmallen met verlengde kribben, over grote lengten van langsdammen voorzien, of volledig kanaliseren?

Als we bevaarbare rivieren willen en tegelijk het probleem van de voortschrijdende uitschuring en insnijding van het zomerbed willen aanpakken, zijn er misschien betere mogelijkheden die wel passen bij een geo-ecologisch perspectief. Daarbij zou weleens een sleutelrol kunnen zijn weggelegd voor sedimentbeheer. Maar of dat mogelijk is door alleen beïnvloeding van de erosie en sedimentatieprocessen, of dat met sediment van de juiste samenstelling gesleept zal moeten gaan worden (suppleties), zoals in Duitsland gebeurt, moet nog blijken. Op dit moment wordt concreet onderzocht of de uitschuring van het zomerbed kan worden afgeremd of zelfs gestopt door beïnvloeding van de verhouding tussen afvoer door het zomerbed en afvoer door het winterbed. Dat zou kunnen door zomerkades te verwijderen of uiterwaarden sterk te verlagen, zodat vaker meer water door de uiterwaarden stroomt en dus evenredig

minder door het zomerbed. Het is mogelijk dat zo synergie kan worden bereikt tussen het bieden van een veilige hoogwaterafvoer door rivierverruiming en het stoppen van bodemdaling, terwijl het ook weer perspectief zou kunnen bieden voor het idee van cyclische verjonging: een vorm van beheer die de natuurlijke verjonging door morfologische processen nabootst (Baptist *et al.*, 2004; Peters *et al.*, 2006).

Tot besluit

Het is verheugend dat er recentelijk weer aandacht is voor de vraag: waarheen met het rivierengebied? Rijkswaterstaat heeft het programma Integraal Riviermanagement (IRM) in de steigers staan, waarin wordt

geprobeerd een nieuwe balans te vinden tussen de hoofdfuncties van de rivieren. Wij menen echter dat bij het zoeken naar oplossingen voor de lange termijn niet alleen de tijdschaal ruim moet worden genomen, maar ook de ruimteschaal moet worden opgerekt tot het hele rivierengebied. Want juist het ruimtelijk vastleggen van het zomerbed en de insnoering van het winterbed heeft ongewenste ontwikkelingen versneld en problemen veroorzaakt.

Summary

Adapting the Netherlands' large rivers to climate change: a geo-ecological perspective

Frans Klijn, Nathalie Asselman, Mark Hegnauer, Erik Mosselman & Frederiek Sperna Weiland

Rhine River, Meuse River, discharge regime, morphological changes, river management

Climate change is expected to significantly influence the discharge regime of the Rhine and Meuse rivers. Floods may increase in magnitude and occur more frequently; low discharges are likely to become even smaller and last longer. How to respond to those changes? Can all river functions be fulfilled into the future and which interventions are then needed to keep the country safe and the rivers navigable? The answer to these questions depends on whether climate change is primarily considered as a challenge, or rather as an opportunity to, at the same time, redress a few deficiencies and detrimental geo-ecological developments that are

being provoked by how we straightjacketed our floodplains and engineered our rivers in behalf of navigation but negatively impact biodiversity. We propose a more geo-ecologically grounded approach to our rivers' spatial design and management – inspired by McHarg's design with nature –, which encompasses making available much more room for safe flood discharge and reduced hydrodynamics for ecosystem development in the floodplains, as well as more nature-based river training to allow for morphological developments and natural rejuvenation.

Literatuur

- Anonymus, 2014.** Deltaprogramma | Rivieren, Synthesedocument DPR bij DP2015. Den Haag. Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Ministerie van Economische Zaken
- Anonymus (red. R. Postma), 2019.** Het Verhaal van de Maas. De Maas uit balans? Gidsprincipes voor beleid, inrichting en beheer. Lelystad. Rijkswaterstaat-WVL.
- Asselman, N.E.M. & H. Middelkoop, 1995.** Floodplain sedimentation: Quantities, patterns and processes. *Earth Surface Processes and Landforms* 20/6: 481-499.
- Asselman, N.E.M. & F. Klijn, 2003.** Geschiktheid van uiterwaarden voor aanleg van nevengeulen. Delft, WL| Delft Hydraulics, rapport Q3244.50.
- Baptist, M.J., W.E. Penning, H. Duel et al., 2004.** Assessment of the effects of cyclic floodplain rejuvenation on flood levels and biodiversity along the Rhine River. *River Research and Applications* 20/3: 285-297.
- Blom, A., 2016.** Bodemerosie in de Rijn. Flows online platform, Delft University of Technology, www.waterviewer.tudelft.nl/#/bodemerosie-in-de-rijn-1476873029138
- College van Rijksadviseurs, 2018.** Naar een breder en gezamenlijk toekomstperspectief voor de rivieren. Ruimte voor de Rivier 2.0. Advies Lange-termijnambitie Rivieren. Den Haag, College van Rijksadviseurs.
- Havinga, R. & H. der Nederlanden, 2018.** Ruimte voor de Rivier, oogst ruimtelijke kwaliteit. Programmabureau Ruimte voor de Rivier, Rijkswaterstaat.
- Feddes, Y., 2012.** Met de stroom mee. De landschappelijke betekenissen van NURG-projecten. Den Haag, College van Rijksadviseurs.
- Frings, R.M. & W.B.M. ten Brinke, 2017.** Ten reasons to set up sediment budgets for river management. *International Journal of River Basin Management*, doi: 10.1080/15715124.2017.1345916
- Kleinhans, M. G., F. Klijn, K.M. Cohen et al., 2013.** Wat wil de rivier zelf eigenlijk? Utrecht. Universiteit Utrecht & Deltares, Deltares-rapport 1207829.
- Kljin, F., J.D. Karssemeijer & S.A.M. van Rooij, 2004.** Welke ruimte biedt ruimte voor de rivier aan de natuur? *Landschap* 21/1: 29-45
- Kljin, F., M. Hegnauer, J. Beersma et al., 2015.** Wat betekenen de nieuwe klimaatscenario's voor de rivierafvoeren van Rijn en Maas? Samenvatting van onderzoek met GRADE naar implicaties van nieuwe klimaatprojecties voor rivierafvoeren. Delft. Deltares-rapport 1220042. doi: 10.13140/RG.2.1.4399.5601
- Kljin, F., W. ten Brinke, N. Asselman & E. Mosselman, 2017.** Het verhaal van de rivier. Een eerste versie. Delft. Deltares, in opdracht van Rijkswaterstaat-WVL.
- Kljin, F., N.E.M. Asselman & D. Wagenaar, 2018.** Room for Rivers: risk reduction by enhancing the flood conveyance capacity of the Netherlands' large rivers. *Geosciences* 8/224 (20 pp). doi: 10.3390/geosciences8060224
- Lammersen, R. 2004.** Grensoverschrijdende effecten van extreem hoogwater op de Nederrijn. Arnhem. RIZA.
- McHarg, I., 1969.** Design with nature. 1995: 25th Anniversary Edition, Wiley.
- Mulder, J.P.M., J. Cleveringa, M.D. Taal et al., 2010.** Sedimentperspectief op de Zuidwestelijke Delta. Delft. Deltares-rapport 1203404.
- Olde Wolbers, M., L. Das, J. Wiltink et al., 2018.** Eindevaluatie Ruimte voor de Rivier. Sturen en ruimte geven. Berenschot, in opdracht van Rijkswaterstaat.
- Peters, B., E. Kater & G. Geerling, 2006.** Cyclisch beheer in uiterwaarden. Natuur en veiligheid in de praktijk. Nijmegen. Centrum voor Water en Samenleving, Radboud Universiteit.
- Soet, F. de (red.), 1976.** De waarden van de uiterwaarden: een milieukartering en -waardering van de uiterwaarden van IJssel, Rijn, Waal en Maas. Wageningen. PUDOC.
- Sperna Weiland, F., J. Beersma, M. Hegnauer et al., 2015.** Implications of the KNMI'14 climate scenarios on the future discharge of the Rhine and the Meuse; comparison with earlier scenarios. Deltares report 1220042.
- Van Rooij, S.A.M., F. Kljin & L.W.G. Higler, 2000.** Ruimte voor de rivier, ruimte voor de natuur? Fase 1: Verkenning. Wageningen. Alterra-rapport 190.
- Van Wesenbeeck, B.K., J.P.M. Mulder, M. Marchand et al., 2014.** Damming deltas: A practice of the past? Towards nature-based flood defenses. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 140/1: 1-6.