

The river connection

Rede uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van
hoogleraar Fysische Geografie, in het bijzonder de Geomorfologie
aan de Faculteit Geowetenschappen
van de Universiteit Utrecht
op donderdag 20 mei 2010
door
Hans Middelkoop



COLOFON

ISBN

978 90 6266 274 6

Uitgave

Universiteit Utrecht, 2010

Grafische verzorging

Geomedia - Faculteit Geowetenschappen - Universiteit Utrecht

Foto voorzijde

Satellietbeeld van de riviervlakte van de beneden Wolga, Rusland

Druk

Bergdrukkerij, Amersfoort

Mevrouw de voorzitter, mijnheer de Rector, geachte collega's en studenten, lieve familie en vrienden, gewaardeerde aanwezigen,

Verbonden met de rivier

De mooiste rivier is de IJssel tussen Zutphen en Deventer, in de dagen rond de Kerst (figuur 1). Het is er dan stil, en in een vage streep waterig zonlicht zie je ganzen grazen in de uiterwaarden. Als het gevroren heeft liggen er korsten ijs in het weiland, en zit er rijp op de knotwilgen. Veel grootser dan de IJssel is de beneden Wolga, breed en gestaag, omzoomd door zandbanken, populieren en wilgen. Indrukwekkender is toch weer de Yangtze; ik voer op een overvolle passagiersboot mee over de bruine kolkende watermassa tussen de steile rotsen van de Drie Kloven. Ik heb wel wat met rivieren.

Rivieren roepen bij ons, bewoners van een delta, vele beelden op. De oneindigheid van Marsman, of het melancholieke van Martinus Nijhoff die naar Bommel ging om de brug te zien. Zwaarmoediger is het beeld van Nescio's uitvreter, die op een zondagmorgen van de Waalbrug is gestapt. Rivieren kunnen ook minder poëtisch zijn. Bedreigend, zoals in 1993 en 1995 toen Nederland



Figuur 1 - De IJssel bij Gorssel (foto: D. Middelkoop)

opschrok door uitzonderlijk hoge waterstanden, zandzakken vulde en de Betuwe evacueerde. Ook rivieren elders kwamen in het nieuws door onverwacht grote overstromingen, zoals de Mississippi in 1993, en de Elbe in de zomer van 2002. Natuur die getemd leek, kwam even melden wie er de baas is.

Mooi of bedreigend, rivieren zijn voor de mens altijd al belangrijk geweest als bron van zoet water, voedsel, energie, en als verbindingroute. Oude beschavingen als in Egypte en Mesopotamië ontstonden in de riviervlakten vanwege de overvloedig vruchtbare landbouwgrond. Delta's omvatten slechts 5% van het landoppervlak op aarde, maar er wonen nu meer dan een half miljard mensen. Riviervlakten nemen een nog kleiner oppervlak in, maar alleen al in de riviervlakten van de Indus en Ganges wonen bij elkaar ruim 900 miljoen mensen. We zijn in grote mate afhankelijk geworden van rivieren. We proberen er met allerlei maatregelen voor te zorgen dat ze de voor ons zo essentiële functies blijven vervullen.

Perspectief op een delta

Ons eigen land is zo'n product van die maatregelen. Al sinds mensenheugenis zijn de bewoners van de Lage Landen in de weer om de zompige Rijndelta als leefgebied te benutten. Het heeft een hele *watercanon* opgeleverd, met daarin systematische ontginningen (daar dank ik mijn achternaam aan), verveningen, droogmakerijen, windmolens en gemalen. De reeks vervolgt met de rivierdijken, kribben, het Pannerdens Kanaal, riviernormalisaties en nieuwe waterwegen. De canon eindigt voorlopig bij het project Ruimte voor de River, de hedendaagse aanpak om de rivieren te verruimen en de 'ruimtelijke kwaliteit' van de uiterwaarden te vergroten. De canon lijkt wel een reclamefolder vol technische hoogstandjes, met innovatief en adaptief waterbeheer.

Vanuit het perspectief van de delta ontstaat een ander beeld. In onze ontginningsdrift hebben we de natuurlijke ontwikkeling van de Rijndelta, een wetland dat hoog op de Natura 2000 lijst zou staan, dramatisch verstoord. Van nature had de delta door veengroei en sedimentatie van rivierslib de zeespiegelstijging gemakkelijk bij kunnen houden. De ontginning en ontwatering veroorzaakten echter een onomkeerbaar proces van veenoxidatie en inklinking van de ondergrond. We hebben grote stukken veenbodems zelfs

afgegraven en thuis in de kachel verbrand. Door de bedijking kon alleen op de uiterwaarden langs de rivier nog klei afgezet worden. Zo kwam het met moeite ontgonnen landoppervlak van de delta steeds lager te liggen. Doordat rond 1900 de rivierbedding was vastgelegd slibden de uiterwaarden steeds hoger op. Het gevolg daarvan is dat de rivieren anno 2010 als vertopte aderen het water bij hoge afvoer niet goed meer kunnen verwerken. Daarom gaan we nu zelf de uiterwaarden uitgraven. Dat helpt op de korte termijn, maar door hernieuwde sedimentatie zullen we over enkele decennia opnieuw moeten graven. De reactie van de delta op al die ingrepen heeft ons steeds voor nieuwe, onvoorziene problemen gesteld. Zo bezien is het een canon van verkeerde ingrepen in een natuurlijk systeem. De Rijn-Maas delta ligt nu op de intensive care, haar aders moeten regelmatig gedotterd worden, en de eerste bypassoperatie is al gepland. En dokter Veerman heeft onlangs gewaarschuwd dat de patiënt nog lang niet voorbereid is op de komende pandemie die klimaatverandering heet.

Rivieren en global change

Vele grote rivieren op aarde zijn sterk door de mens beïnvloed, met als doel zoveel mogelijk van de rivier te profiteren. Nederland is daarbij slechts een poldervoorbeeld van waterwerken op het formaat van een dure postzegel. Door de aanleg van stuwwerken en irrigatiesystemen heeft de mens wereldwijd water aan de rivieren onttrokken en meren drooggelegd. Onbedoeld hebben we ook diep ingegrepen in de sedimentstromen door de rivieren. Landbouw leidde tot erosie van de bodems en een grotere sedimentlast in rivieren, terwijl stuwwerken juist weer grote hoeveelheden riviersediment invangen (Overeem & Syvitski, 2008). Zo heeft de Mississippi delta door het gebrek aan sediment al 25% van haar kostbare wetlands aan de zee verloren, en ziet de toekomst voor de delta er somber uit. Ook een overmaat aan nutriënten, afval en verontreinigende stoffen, afkomstig van steden, industrie en intensieve landbouw bedreigt de rivier- en kustecosystemen. Door al die activiteiten kampen rivier en mens met teveel, te weinig of te vuil water én sediment.

Wat gaat daar dan verkeerd? De mens wil op korte termijn en in eigen achtertuin oogsten, terwijl de rivier de kosten pas veel later en op grotere schaal presenteert. Als maatschappij willen we duurzaam gebruik blijven maken van de rijkdommen die de rivieren bieden. We kunnen dan niet volstaan met technische oplossingen

zonder rekening te houden met de effecten die elders langs de rivier en op de lange termijn optreden. We moeten daarvoor de ruimtelijke verbanden en de tijdschalen van de rivieren kennen om werkelijk te begrijpen hoe riviersystemen werken.

Hiermee kom ik bij het centrale thema van mijn leerstoel: Ik wil begrijpen hoe stroomgebieden, rivieren en delta's reageren op veranderingen in klimaat, bodembeweging, vegetatie, landgebruik en directe menselijke ingrepen. Ik wil kunnen voorspellen wat de gevolgen dan zijn voor de ontwikkeling en morfologie van rivieren, voor de stofstromen door rivieren, en wat dit betekent voor de mens als gebruiker van de rivier. Daarvoor moeten we kennis van rivieren over verschillende tijd- en ruimteschalen met elkaar verbinden. Aan de hand van een eenvoudig model van het riviersysteem zal ik deze connecties schetsen.

Rivieren als mondiale transportbanden

Ik begin op hele grote schaal; het beeld dat je krijgt als je Google Earth opstart. Dan zijn de rivieren de grote transportbanen van de continenten naar de oceanen. Jaarlijks stroomt ongeveer 40,000 km³ zoet water via de rivieren in de oceanen. Dat is maar 0.07 promille van de totale hoeveelheid water op aarde, maar voldoende om de zeespiegel 10 cm te laten stijgen. Deze waterstroom transporteert een grote hoeveelheid stoffen naar de oceanen. In de eerste plaats is dat sediment, in de orde van 12–20 Gigaton per jaar (Syvitski et al., 2005; Walling, 2008). Ter vergelijking: dat is een hoeveelheid die in 5 miljoen flinke Rijnaken past. Het grootste deel van het sediment in rivieren bestaat uit zogeheten 'washload': fijn materiaal dat in suspensie ('zwevend stof') over grote afstand door de rivier wordt meegevoerd, en pas bezinkt als het water bijna stilstaat. Het grove materiaal, stenen, grind en zand wordt door de waterstroom rollend en stuitend over de rivierbodem meegesleurd. Het totale transport van dit beddingmateriaal is niet precies bekend, maar wordt op 10% van het washload transport geschat.

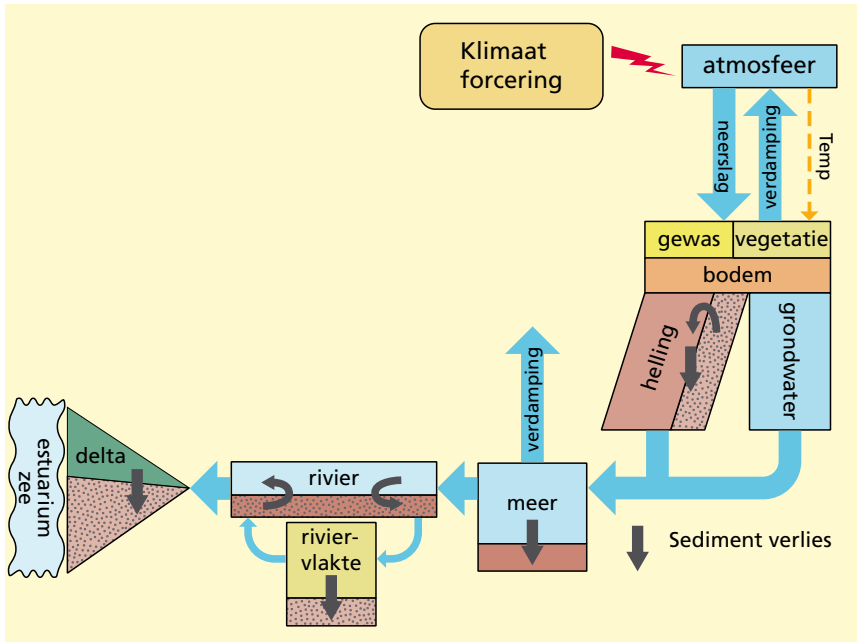
Opgelost in het water of gebonden aan het sediment voeren rivieren ook grote hoeveelheden andere stoffen mee. Hieronder vallen de producten van chemische verwerking van gesteenten, koolstof, nutriënten (N en P), en een scala aan verontreinigingen. Ten opzichte van de totale voorraden op aarde zijn

deze jaarlijkse stromen klein. Maar voor de chemische processen en ecologische kwaliteit in de estuaria en kustzones zijn ze van groot belang. Die nutriënten bijvoorbeeld vormen een belangrijke voedingsbron voor algen, en op de lange termijn bepalen ze zelfs de CO₂ opname door de oceanen.

Een groot deel van het riviersediment bereikt de oceanen niet, maar blijft ergens onderweg steken. Deze verliespost voor de oceanen is winst voor het land: het onderweg achtergelaten sediment vormt het bouwmetaal waaruit riviervlakten en delta's ontstaan. Dat maakt rivieren voor ons geomorfologen pas echt interessant. Langs veel rivieren zie je nog resten van oude riviervlakten, verlaten beddingen, of sedimentpakketten. Het landschap laat daar zien wat er in het verleden gebeurd is, dat waterafvoer en sedimenttransport anders geweest zijn dan nu. Ze reflecteren veranderingen in klimaat, vegetatie of zeespiegel. In de toekomst zal global change evenzo effect hebben op de rivieren. Om te kunnen voorspellen hoe rivieren hierop reageren moeten we 'onder de motorkap' van het riviersysteem kijken.

Een keten van filters tussen de bergen en de zee

Onder die denkbeeldige motorkap zien we drie grote onderdelen: een brongebied bovenstrooms, vervolgens een transportzone en tenslotte een depositiezone vlak voor de kust. Het brongebied vangt neerslag op, dat vervolgens bodemmateriaal en andere stoffen van de hellingen opneemt. De rivier voert dit alles via de delta, waar een groot deel achterblijft, richting zee. We kunnen dit als een procesketen zien (figuur 2). Wat er van boven in komt is het invoersignaal, of *forcing* van het systeem door het klimaat. Langs de route naar zee kunnen we ons het landschap voorstellen als een keten van filters (Meybeck & Vörösmarty, 2005) die de water- en stofstroom die van boven komt elk een beetje veranderen en doorgeven naar beneden. Die filters kunnen materiaal invangen, afbreken, of sorteren. Ze kunnen ook nieuw materiaal toevoegen, of eerder opgevangen materiaal weer teruggeven aan de rivier. Wat de rivier uiteindelijk bij zee aflevert hangt dus niet alleen af van het klimaatsignaal in het brongebied, maar ook van het effect van de filters onderweg. Laten we die filters maar eens openschroeven en kijken wat daarbinnen gebeurt.



Figuur 2 - Stroomgebied als keten van filters voor water en stoffen

Brongebied

Het bovenstroomse filter bestaat uit drie onderdelen. Het eerste is de combinatie van vegetatiedek dat de bodem beschermt tegen inslaande regendruppels, en bodemeigenschappen die bepalen welk deel van het water de bodem indringt, en hoe gemakkelijk sediment losgemaakt wordt. Het tweede onderdeel is de helling, waarover het sediment naar de rivier getransporteerd wordt. Waar veel vegetatie groeit of de helling te flauw is blijft het sediment al op de helling steken. Een groot deel van het door regen losgemaakte sediment bereikt de rivier dan ook niet. Het derde onderdeel is de bodem waarin een deel van het neerslagwater infiltreert, en zich voegt bij het grondwater. Het grondwater vormt een buffer en transporteert met grote vertraging het water met hierin opgeloste stoffen naar de rivier. Verscheidene stoffen in het grondwater worden daar geabsorbeerd of afgebroken voor ze in de rivier zijn. Van nature heeft dit filter dus een

sterke dempende werking op het invoersignaal, en houdt het een deel van de gemobiliseerde stoffen tegen.

Meren

Meren vormen een soort low-pass filter voor afvoerfluctuaties van de rivier die erin uitmondt, terwijl een deel van het water door verdamping verloren gaat. Sediment dat via de rivier in het meer terecht komt bezinkt er, en ook veel nutriënten blijven in het meer achter of worden er afgebroken. In de afgelopen eeuw zijn wereldwijd tienduizenden stuwmeren in rivieren aangelegd met een totaal volume van meer dan 10,000 km³, die nu samen een kwart tot tweederde van de totale hoeveelheid sediment onderscheppen die alle rivieren bij elkaar transporteren. Een extreem voorbeeld is het Nassermeer in de Nijl: hierin blijft al het ingekomen sediment van de Nijl achter, terwijl ongeveer 30% van het water verdampt.

Rivier

De hoofdstroom van de rivier is de grote transportband. De bedding van de rivier bestaat uit het zand en grind dat door het water stroomafwaarts beweegt; de washload zweeft in het water mee. De rivier vertoont hier verschillende patronen, die samenhangen met verschillen in debiet, dalhelling en korrelgrootte van het sediment (figuur 3): *vlechtend*, breed en ondiep, met meerdere beweeglijke banken; *meanderend*, met min of meer stabiele banken in de binnenbochten en steile buitenoevers, en *anastomoserend*: een netwerk van smalle diepe geulen met daartussen moerassen. Wanneer een rivier veel en grof sediment te verwerken krijgt en de stroom rivierwater niet krachtig genoeg is om dit te transporteren zal de bedding geleidelijk opvullen met sediment. In het omgekeerde geval zal de rivier zich insnijden en sediment uit de eigen bedding opnemen. De rivier is zodoende steeds bezig om de eigen bedding vorm te geven met het sediment dat het transporteert.

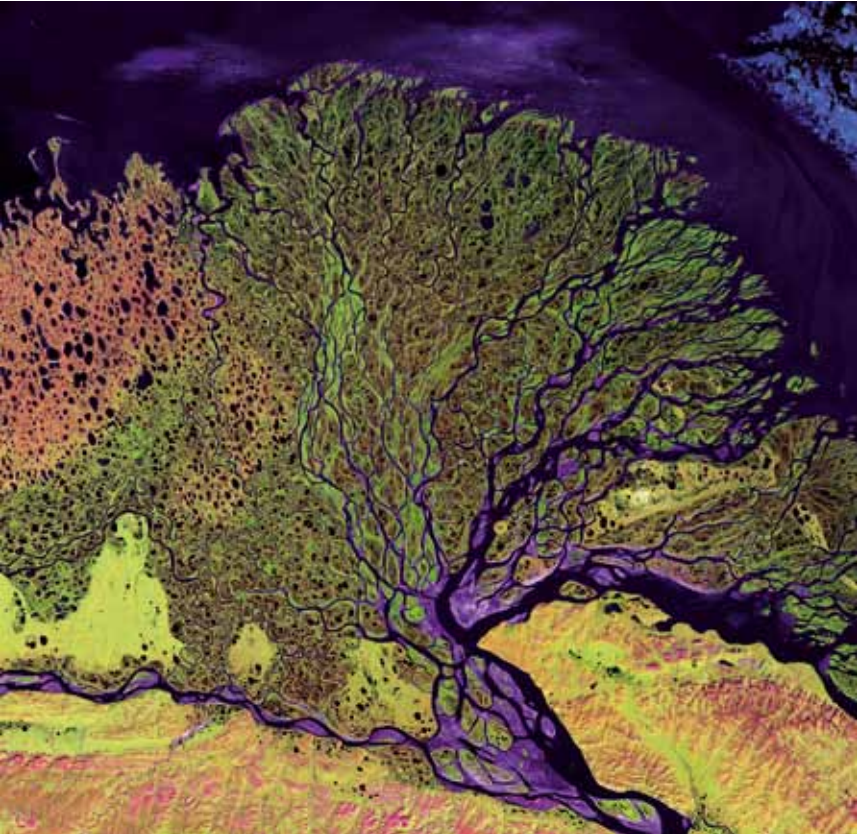
Riviervlakte

De riviervlakte naast de bedding vormt een natuurlijk retentiegebied, dat een hoogwatergolf aanzienlijk kan afvlakken. Het fijne sediment, dat bij hoogwater naar riviervlakte wordt gevoerd, bezinkt daar. Langs een riviertraject filteren de riviervlakten zo als een reusachtig natuurlijk Gulden Vlies 10 tot wel 40% van



Figuur 3 - *Verschillende rivierpatronen: a: vlechtend, b: meanderend, c: anastomoserend*

washload uit de rivier. Met het slib wordt bij hoogwater ook organisch materiaal met koolstof, stikstof en fosfor op de riviervlakte afgezet. Op dezelfde wijze komen ook verontreinigingen in de riviervlakten terecht. Als de rivier decennia



Figuur 4 - *Lena delta*

of eeuwen later de eigen riviervlakte weer erodeert, komen die eerder afgezette sedimenten – inclusief eventuele verontreinigingen – weer terug in de rivier.

Delta

Het laatste grote filter is de delta (figuur 4). Hier splitst de rivier zich in meerdere takken. Deze voeren het zand richting zee, bouwen oeverwallen langs de bedding en zetten bij hoog water fijn slib af op de brede vlakte van de delta. Ver van de

riviertakken komt zo weinig sediment terecht dat er moerassen ontstaan waar veenvorming optreedt. Een sleutelproces in de ontwikkeling van een delta is het verleggen van riviertakken. Met de vorming van een nieuwe rivierloop verplaatst ook de zone met de grootste sedimentatie binnen de delta. De oude loop kwijnt langzamerhand weg, de waterstroom wordt te zwak om er zand doorheen te voeren, de bedding verzandt en raakt opgevuld met slib en veen. In de loop van de tijd ontstaat bij een langzaam stijgende zeespiegel aan de benedenrand een pakket van klei- en veenlagen, doorsneden door de zandbanen van vroegere rivierbeddingen.

Vervormend signaal

Aan de hand van dit filtermodel zou je inderdaad verwachten dat veranderingen in klimaat zich uiten in bijvoorbeeld een serie rivierterrassen, of een afwisseling van sedimentpakketten. En omgekeerd, dat je een dergelijke reeks vormen of afzettingen 1-op-1 kunt koppelen aan klimaatverandering als oorzaak. Maar dat is een te simpele voorstelling van zaken (Vandenbergh, 2005). Klimaatverandering leidt niet alleen tot veranderingen in jaarlijkse neerslag die het bovenstroomse filter ingaat; ook in de *intensiteit* en de *vorm* van de neerslag veranderen: een sneeuwdek met sneeuwmelt in het voorjaar heeft een heel ander eroderend effect dan regen. Maar niet alleen de *invoer* in het systeem verandert. Temperatuurveranderingen beïnvloeden ook de *filters* binnen het riviersysteem. Bij een opwarmend klimaat na een ijstijd zal de permafrost geleidelijk uit de bodem verdwijnen, waardoor er meer water in kan doordringen en het grondwater weer een rol gaat spelen. Vegetatie kan zich weer ontwikkelen, alleen dat vergt meer tijd: pas met enige honderden jaren vertraging is er een voldoende dicht vegetatiedek ontstaan om de hellingen tegen erosie te beschermen en rivieroeveren te versterken. Het kost ook tijd voordat er zoveel beddings sediment stroomafwaarts is verplaatst dat er benedenstrooms rivierterrassen of dikke sedimentpakketten uit ontstaan. De uitstroom van sediment uit een rivierfilter kan echter ook veranderen als de aanvoer van water vanaf boven *constant* blijft. In een modelsimulatie lieten Coulthard en van der Wiel (2007) zien dat een eenvoudig stroomgebied dat van boven een regelmatige dagelijkse afvoerpuls kreeg aan de benedenrand een bijna chaotisch verloop van sedimenttransport vertoonde. Als we alleen de uitvoer uit het model zouden zien, zouden we geneigd zijn deze toe te schrijven aan klimaatveranderingen. Maar

er was helemaal geen klimaatverandering nodig om de uitvoer van sediment te laten variëren. Dat kwam doordat het interne filter langzaam veranderde en de sedimentstroom daardoor beïnvloedde. Ook nauwkeurige ouderdomsbepaling van rivierafzettingen, en computersimulaties van sedimenttransport langs de Rijn en de Maas bevestigen deze complexe reactie van rivieren (Veldkamp & Van Dijke, 2000; Bogaart, 2003; Van Baalen et al., 2010). Ze tonen dat de effecten van de glaciale-interglaciale klimaatcycli soms duizenden jaren vertraagd en gedempt richting de delta doordringen.

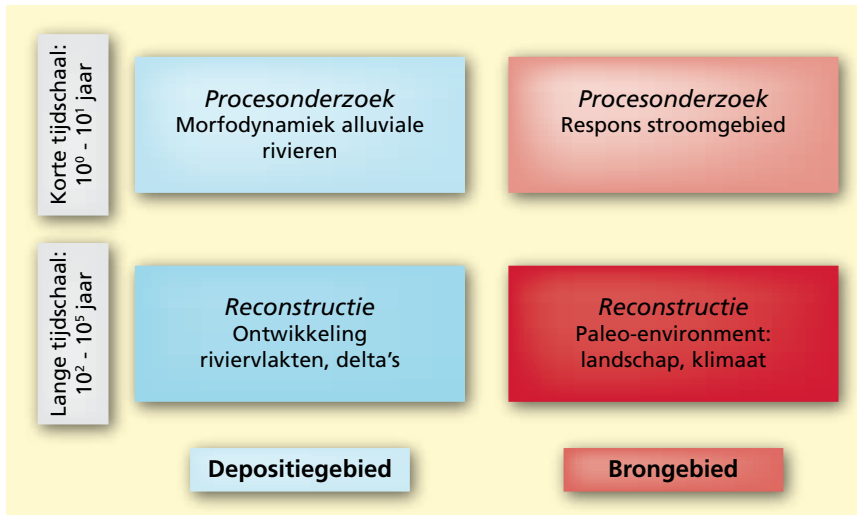
Implicaties

Concluderend kunnen we nu zeggen dat we niet kunnen spreken van ‘het’ effect van global change op de rivier, aangezien dit zich stroomafwaarts vaak op een andere manier, veel later, of zelfs min of meer chaotisch manifesteert. Doordat de filters de effecten sterk vertragen raken veel rivieren nooit in evenwicht met het steeds veranderende klimaat, vegetatie of landgebruik. Bovendien kunnen de filters ook veranderen bij gelijkblijvend klimaat. Rivieren waar de natuurlijke filters door de mens zijn aangetast, bijvoorbeeld door ontbossing of bedijking, zullen sterker reageren op klimaatverandering. Menselijke ingrepen in het systeem kunnen onbedoeld letterlijk verstrekkender gevolgen hebben dan verwacht. We zagen dit in onze Rijndelta, en bij de stuwmeren die de delta’s van hun sediment beroofden.

Global change effecten op rivieren spelen zich op een tijdschaal van eeuwen tot millennia af, terwijl rivieren als de Rijn al meer dan 2000 jaar door de mens beïnvloed zijn. Tijdreeksen van instrumentele waarnemingen aan rivieren zijn veel te kort om deze tijdschaal te omvatten. Voor een duurzaam beheer van onze rivieren en om te kunnen bepalen hoe riviersystemen zullen reageren op toekomstige global change is een lange-termijn, geomorfologische benadering onontbeerlijk (Hoffmann et al., 2010).

Onderzoeksthema’s

Bij het vele onderzoek dat aan rivieren gedaan is valt op dat er steeds vanuit verschillende invalshoeken vooral *onderdelen* uit het riviersysteem bestudeerd worden. Studies naar de mondiale stofstromen door rivieren laten veranderingen van de filters (de rivier, het landschap) zelf en de oorzaken ervan veelal buiten



Figuur 5 - Onderzoeksthema's van de leerstoel, ingedeeld naar tijd- en ruimteschalen van stroomgebieden

beschouwing. Erosiestudies richten zich op de complexe werking van het helling filter, maar eenmaal in de rivier verdwijnt het sediment buiten beeld. Riviermorfologische studies onderzoeken hoe en waarom rivierpatronen veranderen, maar vaak zonder zich te bekommeren om de filterfunctie die het betreffende segment heeft in de hele keten. Paleogeografische studies reconstrueren veranderingen in vegetatie, klimaat of rivierpatroon, en proberen deze onderling te correleren. Ze ontberen vaak het procesmechanisme dat de respons aan de forcering koppelt. Modelleringsstudies naar de reactie van rivieren op de kwartaire cycli in klimaat en vegetatie richtten zich voornamelijk op het beddingmateriaal, en hieruit opgebouwde rivierpatronen en rivierterrassen. Ze besteedden weinig aandacht besteed aan de filterfunctie van de rivier voor de wash load en andere stoffen. De *integratie* van de onderdelen heeft tot dusver nog weinig aandacht gekregen. In mijn leerstoel ga ik deze onderdelen met elkaar verbinden, om zo tot een model te komen waarin we de geomorfologische ontwikkeling van rivieren combineren met de water- en stofstromen naar de oceanen.

Bij het inrichten van de leerstoel heb ik een structurering aangebracht in de onderzoeksthema's naar de ruimte- en tijd dimensies van het riviersysteem (figuur 5). In ruimtelijke zin zijn dat de *brongebieden* bovenstrooms en de *depositiegebieden* van de riviervlakten en de delta benedenstrooms. In beide gebieden richten we ons op twee tijdschalen: 1) de tijdschaal van enkele honderden tot honderdduizenden jaren waarop we de forceringen van het riviersysteem in het verleden en de reactie van het systeem hierop *reconstrueren*; 2) de tijdschaal van dagen tot tientallen jaren, waarop we de *processen* binnen het systeem onderzoeken. Zo komen we op een vierluik van thema's, die ik zal illustreren aan de hand van recent onderzoek binnen de leerstoel:

Stroomgebieden

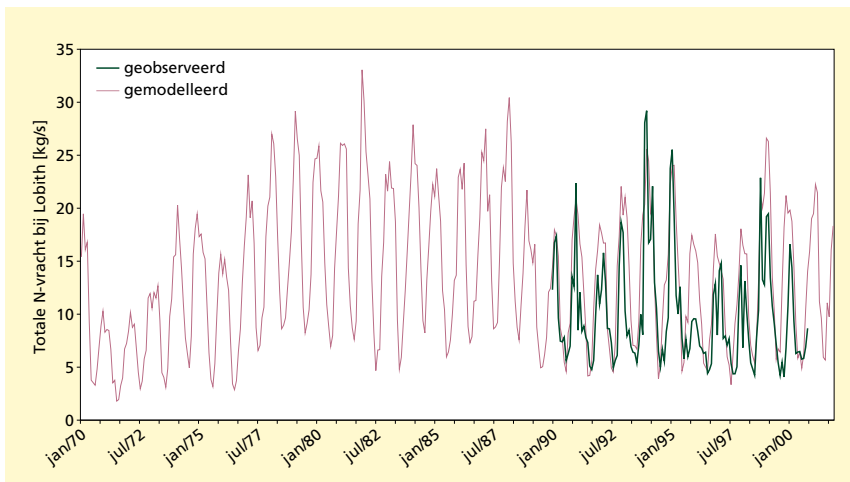
Met het lange tijdschaal onderzoek in de stroomgebieden beogen we te reconstrueren hoe het klimaat (de forcering) en het landschap (de filters) van de stroomgebieden in het verleden veranderd zijn, wat de invloed van de mens op het landschap is geweest, en welke veranderingen de rivieren in de loop van de tijd vertoond hebben. Wim Hoek en Nelleke van Asch reconstrueren langs een transect van Ierland tot in Duitsland de snelle klimaat- en vegetatieveranderingen die zijn opgetreden tussen 15.000 en 10.000 jaar geleden, aan het eind van de laatste ijstijd. Een van hun doelen is te bepalen in welke mate de vegetatie vertraagd reageerde op de klimaatveranderingen, om hieruit conclusies te trekken voor de snelle klimaatverandering die nu gaande is.

Paleo-ecologisch onderzoek laat zien dat het stroomgebied van de Rijn na de laatste ijstijd werd bedekt met bos dat geleidelijk van samenstelling veranderde (Litt et al., 2009). Vanaf 6500 jaar geleden begon de mens zijn invloed op het landschap uit te oefenen, en aan het eind van de Bronstijd rond 2700 jaar geleden begon op grote schaal ontbossing voor de landbouw. Het hellingfilter veranderde dus eerst door het klimaat, en daarna door de mens. De bestaande gegevens bieden echter nog geen gebiedsdekkend plaatje van het vegetatie'filter' op de hellingen in de afgelopen duizenden jaren. We gaan dit plaatje samen met paleo-ecologen en archeologen verder invullen.

Om de resultaten van verschillende sites onderling en binnen het internationale INTIMATE project met de klimaatgegevens uit de Groenlandse ijskernen te

kunnen correleren zijn precieze dateringen nodig. Naast de ^{14}C methode bieden aslaagjes (tephra's) van vroegere vulkaanuitbarstingen op IJsland en in de Eifel hiervoor goede mogelijkheden. Deze tephra's zijn aangetroffen in laatglaciale meertjes in Drenthe, en recentelijk ook in afzettingen van de Rijndelta. We gaan daarom in de nabije toekomst aan de slag om een tephra chronologie voor Nederland op te stellen, om de verschillende records van klimaat, vegetatie en rivierafzettingen nog beter te kunnen correleren. De asdeeltjes van de Eyjafjallajökull hebben we al te pakken.

Om de mogelijke reacties van rivieren op *toekomstige* veranderingen te kunnen voorspellen, moeten we de processen en mechanismen achter de veranderingen begrijpen. Onder mijn voorganger prof. Koster zijn we begonnen om met behulp van hydrologische modellen te onderzoeken wat de impacts van klimaat- en vegetatieverandering zijn op de waterafvoer in grote stroomgebieden. Met zijn Rhineflow model liet Jaap Kwadijk in 1993 al zien dat als gevolg van klimaatverandering de kans op hoge afvoeren in de Rijn in de winter zal toenemen, terwijl in de zomer juist een tekort aan water te verwachten is. De essentie van zijn boodschap vinden we ongewijzigd terug in het recente rapport van de Deltacommissie. We voeren deze hydrologische modellering nu uit in verschillende Europese projecten in Scandinavië en West-Siberië. Behalve de hydrologie onderzoeken we in het GNUX project met collega Caroline Slomp nu ook de stromen van fijn sediment en nutriënten (N en P) door de rivieren naar de oceanen. De bestaande globale modellen voorspellen de nutriëntenlast in de rivieren voornamelijk op basis van empirische relaties tussen eenvoudige stroomgebiedskennmerken en nutriëntenemissies (Seitzinger et al., 2002). Het is twijfelachtig dat deze modellen goed kunnen voorspellen hoe groot deze nutriëntenstromen zijn als klimaat, landgebruik, bevolking en afvallozingen in de stroomgebieden in de toekomst gaan veranderen. Hiervoor hebben we een model nodig dat gebaseerd is op fysische processen en dat ruimtelijke verschillen in landschap en nutriëntenemissies binnen stroomgebieden onderscheidt. De bestaande procesmodellen doen dit wel, maar hebben zo veel invoergegevens nodig dat ze niet meer toe te passen zijn voor grote stroomgebieden. We hebben daarom een nieuw model gebouwd waarin we de filters in de rivierketen representeren met relatief eenvoudige fysische concepten, en we gebruik maken van bestaande mondiale datasets van klimaat- en landschapsgegevens, bevolking,

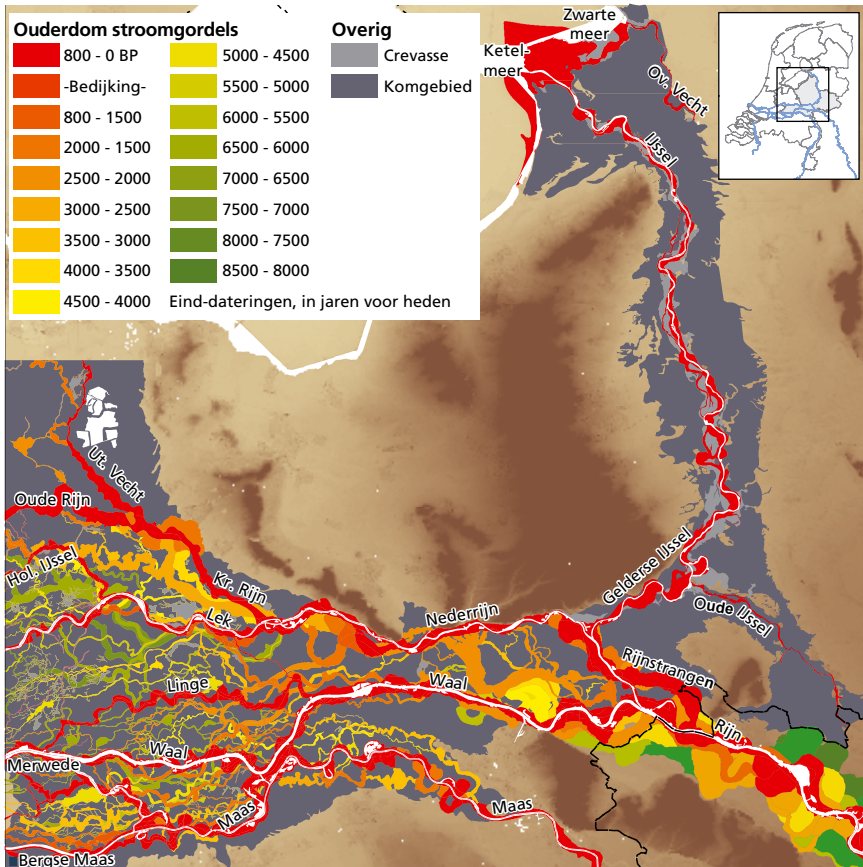


Figuur 6 - Stikstofstroom door de Rijn, gemeten en gesimuleerd met the RiNUX model met data door het Rijnstroomgebied en data uit mondiale databases

en nutriëntenemissies (Loos et al., 2009). We kunnen hiermee op seizoensbasis de sediment- en nutriëntenstromen door de Rijn (figuur 6), Mississippi en Mekong simuleren. De komende tijd gaan we de effecten van global change op deze stromen bepalen. Hiermee verwachten we een belangrijke bijdrage te leveren aan het internationale GLOBAL NEWS project waarin mondiale stofstromen in rivieren centraal staan.

Riviervlakten en Delta's

De delta is het laatste, grote en ingewikkelde filter waar een groot deel van het meegevoerde sediment achterblijft. De Rijn-Maas delta in onze eigen achtertuin bood de uitgelezen kans om de ontwikkeling en de werking van dit filter goed te leren begrijpen (figuur 7). Onder de bezielende leiding van Henk Berendsen en nu van Esther Stouthamer, met Kim Cohen en Wim Hoek, hebben we in de afgelopen decennia de ontwikkeling van de holocene Rijn-Maas delta in een ongeëvenaard detail gereconstrueerd (Berendsen & Stouthamer, 2001). Met mijn eigen promotieonderzoek naar de uiterwaarden hebben we ook de ontwikkeling van het veel jongere buitendijkse gebied aan de reconstructie van de delta



Figuur 7 - Ligging en ouderdom van de vroegere rivierlopen in de Holocene Rijn-Maas delta

toegevoegd (Middelkoop, 1997). In recente jaren hebben we het gekarteerde gebied uitgebreid met de Utrechtse Vecht, het IJsseldal, bovenstrooms de oude Rijnlopen door het huidige Oude IJsseldal en het Niersdal (Kasse et al., 2005), en benedenstrooms het diep gelegen mondingsgebied van de delta (Hijma, 2009). Zo is na vele jaren van onderzoek en studentenveldwerk een database van de

delta opgebouwd, waar de internationale gemeenschap likkebaardend naar staat te kijken. Het stelt ons nu in staat om ons onderzoek boven de case van de Rijn-Maas delta uit te tillen, en ons op meer algemene kenmerken en mechanismen van de ontwikkeling van delta's te richten.

Een van deze onderwerpen is de rol van veencompactie in de ontwikkeling van delta's (Van Asselen, 2010). In de ondergrond van een delta is tussen de rivierafzettingen veen aanwezig dat ontstaan is uit de vegetatie in de moerassen tussen de rivierarmen. Dit veen wordt in de loop van de tijd onder het gewicht van bovenliggend sediment in elkaar gedrukt. De maximale daling van veenlagen die hierdoor in de Rijn-Maas delta is opgetreden blijkt ongeveer 3 m te zijn in een 10 m dikke veenlaag. Door het inklinkende veen ontstaat er meer ruimte voor sedimentdepositie in de delta, en oeverafzettingen op het inklinkende veen worden ongewoon dik. De compacte veenlagen in de ondergrond verhinderen tevens dat een rivier de oevers erodeert of zich diep insnijdt. De rollen zijn dan omgedraaid: het veen dat kon ontstaan op plaatsen met weinig sedimentatie in de delta, en later onder rivierafzettingen werd samengedrukt, is nu de factor die de rivier beïnvloedt. Het inklinken van veen is dus veel belangrijker geweest voor de delta dan de huidige bodemdaling in de veenweidegebieden van Nederland.

Met de vorming van veen wordt ook koolstof vastgelegd in delta's. Ook met het zwevend stof afgezette sediment op de riviervlakten en in de delta wordt koolstof opgeslagen. Het totale effect op de koolstofstromen en – balans is nog niet duidelijk, maar voor de Rijn zijn inmiddels al eerste schattingen bekend. Hoffmann en anderen (2009) schatten dat gedurende het Holoceen op de riviervlakten van de Rijn tussen de Alpen en de delta gemiddeld elk jaar ongeveer 0.65 Mton organische koolstof is afgezet. Dat is ordegrrootte even veel is als de Rijn jaarlijks bij Lobith aan de delta aanlevert. Met Deltares kwantificeren we nu hoeveel koolstof gedurende het Holoceen in de Rijn-Maas delta is opgeslagen. De eerste ramingen die Gilles Erkens maakte komen uit op een totale massa van 2.5 – 3.5 Gton koolstof in de delta, tientallen keer zoveel als er in de Nederlandse bossen en hun bodems is opgeslagen.

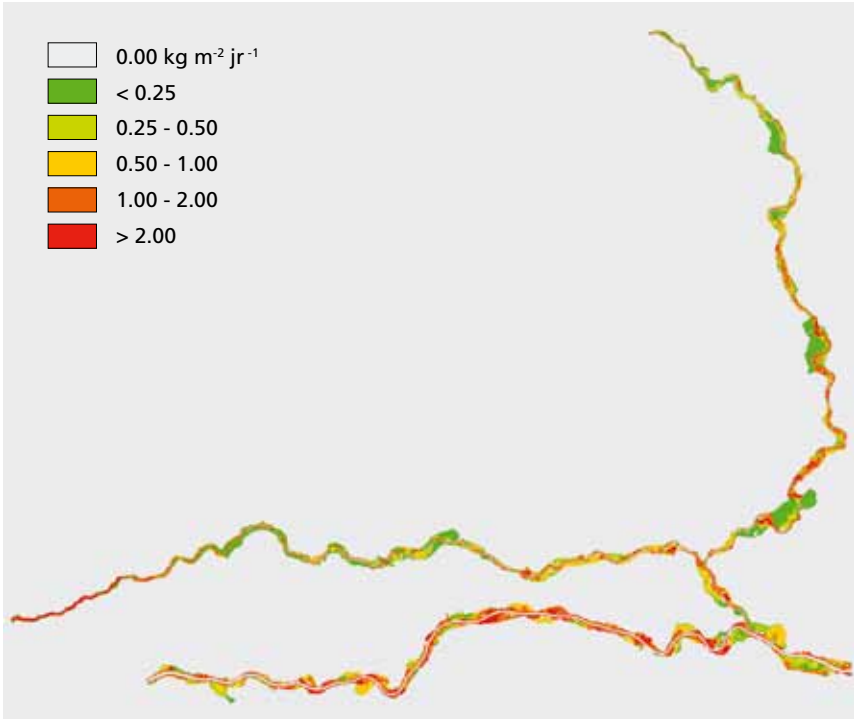
De Rijn-Maas delta is tevens een prachtig voorbeeld van het type afzettingen waaruit de reservoirgesteenten van olie en gas in de diepe ondergrond zijn

gevormd. Onze kennis over de geometrische kenmerken van de zandlichamen in de delta is zeer relevant voor de exploratie van olie en gas.

In een recentelijk gestart project met Statoil, Deltares en TNO onderzoeken we delta afzettingen van de Rijn die afgezet zijn in het Eemien, de vorige interglaciale periode, ongeveer 120.000 jaar geleden. Ook toen was de zeespiegel gestegen, en stond zelfs een paar meter hoger dan nu. We gaan de ontwikkeling en opbouw van deze Eem afzettingen vergelijken met die van de Holocene Rijn-Maas delta. We willen daarbij ook onderzoeken in hoeverre dit soort afzettingen tijdens een daaropvolgende glaciële periode met lage zeespiegelstanden bewaard blijven.

Procesonderzoek

Uit de reconstructies kunnen we weliswaar zien waar en hoeveel sediment de rivier in de delta heeft afgezet, maar het proces zelf waardoor dat gebeurde is niet zichtbaar. Door de bedijking zijn de uiterwaarden het enige stukje delta waar de Rijn en Maas tegenwoordig nog sediment afzetten. In mijn eigen promotieonderzoek heb ik samen met Nathalie Asselman een begin gemaakt met het onderzoek naar de actuele sedimentatieprocessen op riviervlakten (Middelkoop & Asselman 1998). Met eenvoudige matjes van kunstgras hebben we in detail de ruimtelijke patronen in de slibafzetting op de uiterwaarden gemeten. Die patronen blijken sterk bepaald door de waterstroom over de uiterwaard, die weer afhangt van de grootte van de hoogwatergolf en de hoogteverschillen binnen de riviervlakte. Met een depositiemodel kon ik vervolgens de gemiddelde sedimentatiesnelheid berekenen (Middelkoop & Van der Perk, 1998). In vervolprojecten heb ik met Marcel van der Perk de verspreiding van zware metalen in de uiterwaarden onderzocht (Thonon, 2006). Inmiddels hebben we de ruimtelijke patronen in sedimentatie langs alle Rijntakken gemodelleerd (figuur 8). Met het model hebben we berekend dat klimaatverandering kan leiden tot een toename in sedimentatie in de orde van 10-20%. Veel groter is echter het effect van rivierverruimende maatregelen: de sedimentatiesnelheid kan lokaal wel 5-10 keer zo hoog worden als tegenwoordig, en kan gemiddeld over alle uiterwaarden ruim verdubbelen (Straatsma et al., 2009).



Figuur 8 - *Huidige jaarlijkse sedimentdepositie langs de Rijntakken, berekend met het Sediflux model*

Bij het procesonderzoek gaan we ons verder richten op de wisselwerking tussen waterbeweging, sedimenttransport, morfologie en vegetatie. Vegetatie remt de stroming van het water; wortels houden het onderliggende materiaal of de oevers vast, en beschermen deze tegen erosie door de rivier. Omgekeerd bepalen het bodemmateriaal en de dynamiek van de rivier weer waar zich vegetatie kan ontwikkelen. De rivier de Allier in Frankrijk laat prachtig dit samenspel tussen vegetatie, hydraulica en morfologie zien (figuur 9). Op recent afgezette zandbanken langs de bedding ontstaat pioniervegetatie, die binnen een paar jaar tot dichte struwelen van wilgen en populieren kan uitgroeien. Op de oudste



Figuur 9 - *De Allier ten zuiden van Moulins, Frankrijk*

delen van de riviervlakte is voldoende tijd geweest om het successiestadium van hardhoutbossen met eik, acacia en es te bereiken. Door haar oevers te eroderen ruimt de rivier de eigen riviervlakte met vegetatie in alle stadia van successie echter na verloop van tijd weer op. Het resultaat is een ruimtelijk patroon van rivierafzettingen en vegetatie, dat van jaar op jaar verandert.

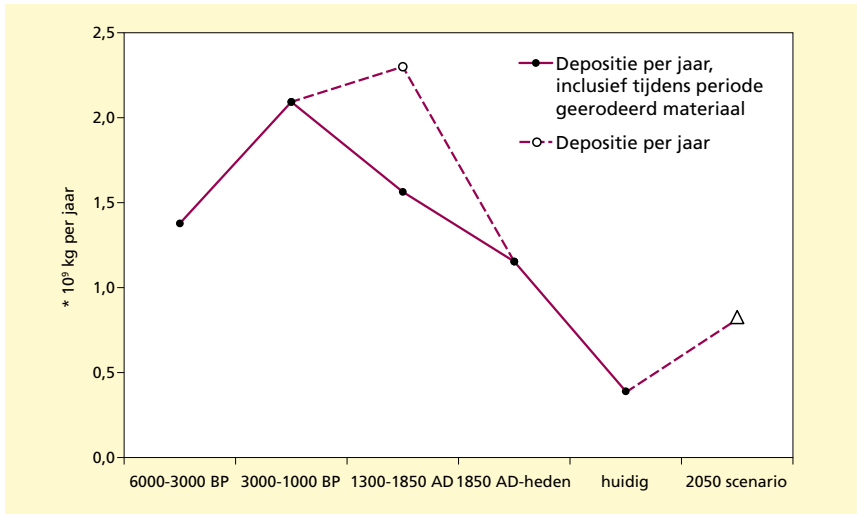
De structuur en ruwheid van de vegetatie is ook van groot belang voor de berekening van de kritische ‘maatgevende’ hoogwaterstanden langs onze rivieren. Dichte, ruwe vegetatie remt de waterstroom en verhoogt daardoor de waterstand. In de praktijk is de ruwheid van vegetatie vaak een sluitpost in de ijking van de modellen waarmee Rijkswaterstaat de kritische hoogwaterstanden voor de dijken berekent. We moeten dan maar hopen dat het voor de huidige waterstanden geijkte model ook de extreem hoge waterstanden goed voorspelt. Dat wordt des te meer relevant als we onze kortbegraste uiterwaarden in ruige natuur willen veranderen. Met de methoden die we de afgelopen jaren ontwikkeld

hebben om uit veldmetingen, remote sensing en hoge-resolutie laserdatta deze vegetatiestructuren en ruwheid beter te bepalen (Straatsma, 2007) kunnen we deze onzekerheid aanzienlijk verkleinen.

Een van de doelen van het procesonderzoek aan de rivieren is te bepalen wat de sturende mechanismen zijn achter veranderingen in rivierpatroon. Ondanks dat sedimentgrootte en stroomvermogen van de rivier goede empirische voorspellers van verschillende rivierpatronen zijn, is een directe verklaring *waarom* dit tot verschillende patronen leidt minder eenvoudig. Het is hierbij nog niet duidelijk in hoeverre van buitenaf gedreven veranderingen (waterafvoer, sedimentlast) en zelforganisatie van de rivier op elkaar inwerken. In zijn 'Riverland' project combineert Maarten Kleinhans modelberekeningen met het Delft3D model met experimenten in stroomgoten in ons eigen lab en in de Eurotank van collega George Postma om het ontstaan van rivierpatronen te bepalen. In de stroomgoot bootste hij het effect van oeverversterking door vegetatie na met rucola plantjes, en heeft hij laten zien hoe een eerst vlechtend patroon daardoor steeds meer meanderende geulen begon te produceren. De komende jaren gaan we met de AIO's in dit project stapsgewijs de universele wetmatigheden achter de rivierpatronen verder ontrafelen.

Dwarsverbanden

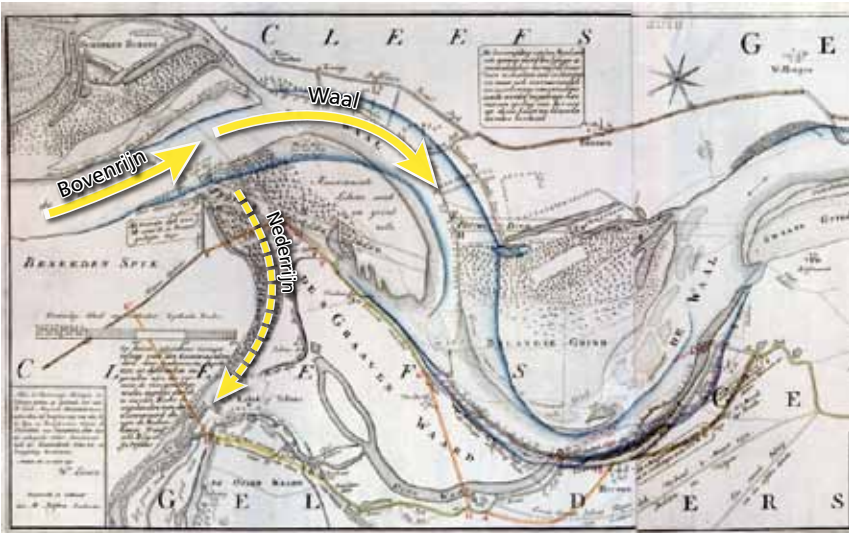
Het sediment dat in de delta afgezet wordt is afkomstig uit het stroomgebied. We kunnen veranderingen in de delta dus niet los zien van de brongebieden. Gilles Erkens liet in zijn promotieonderzoek zien dat de Rijn rond de Romeinse tijd grotere hoeveelheden fijn sediment begon af te zetten in de drie grote depositiezones langs de Rijn: de Rijndalslenk bij Mainz, de Nederrijnse Laagvlakte beneden Keulen, en de Delta (Erkens 2009). Dit moet het gevolg geweest zijn van ontbossing hoger in het Rijnstroomgebied, waardoor meer sediment op de hellingen erodeerde. Dit sediment was nu met vertraging in deze filters terechtgekomen. De delta was van nature een zeer efficiënt filter waar 70% – 90% van het aangevoerde fijne sediment achterbleef (figuur 10). In de afgelopen 800 jaar heeft de mens die natuurlijke filterwerking sterk gereduceerd door de delta met dijken af te schermen van de rivier. Na de bedijking werd elk jaar weliswaar veel slib op de uiterwaarden afgezet, maar een aanzienlijk deel hiervan werd door de rivier later weer geërodeerd en alsnog afgevoerd. De huidige hoge



Figuur 10 - Hoeveelheid door de delta ingevangen sediment uit het Rijnstroomgebied voor verschillende tijdsperiodes voor en na de bedijking

uiterwaarden zijn een zeer inefficiënt filter; het grootste deel van het Rijnslib komt tegenwoordig in de Rotterdamse haven terecht, waar we het voortdurend moeten wegbaggeren. Grootschalige rivierverruiming zal de slibsedimentatie op de uiterwaarden weliswaar verdubbelen, maar de filterwerking van de riviervlakte in de delta blijft ver onder het natuurlijk niveau (Middelkoop et al., 2010).

Het onderzoek op de lange tijdschaal toont ons de veranderingen van rivieren in het verleden, en de mogelijke oorzaken hiervan. Om de mechanismen te begrijpen die de relaties tussen oorzaak en gevolg *verklaren* wil ik binnen de leerstoel nadrukkelijk inzetten op de kruisbestuiving tussen procesonderzoek en de reconstructies. Voor de stroomgebieden is de logische vervolgstap om de modellen voor de stromen van water, sediment en nutriënten die we in het G-NUX project hebben ontwikkeld toe te gaan passen op de langere tijdschaal. We voeden de modellen met de uitkomsten van klimaatmodellen die voor de afgelopen duizenden jaren gedraaid zijn, en met reconstructies van vegetatie, landgebruik en bevolkingsontwikkeling in het verleden. De modelresultaten



Figuur 11 - Kaart van Waal tussen Schenkenschans en Pannerden rond 1750 door W. Leenen

vergelijken we daarna met sedimentaire records. Op deze wijze kunnen we een veel completer beeld krijgen van de reactie van de rivieren op variaties in klimaat, vegetatie en menselijke invloed. Bovendien kunnen we er zo ook achter komen wat de natuurlijke, niet door de mens beïnvloede sediment- en nutriëntenlasten van de rivieren zijn.

Binnen de delta zien we dat er in de frequentie van rivierverleggingen duidelijk pieken en dalen voorkomen (Stouthamer, 2001). Deze zouden we kunnen toeschrijven aan de externe factoren, zoals variaties in de stijging van de zeespiegel, stormvloed en het optreden van zeer extreme rivierafvoeren, die als een soort pacemaker het ritme van de verleggingen in de delta bepaalden. Of zien we hier het inwendige hartritme van de delta zelf? Om die vraag te beantwoorden moeten we begrijpen wat er eigenlijk gebeurt als een rivier zich gaat verleggen. Of een doorbraak van de rivieroever tot een volwaardige afsplitsing kan uitgroeien hangt af van het stromingspatroon dat achter doorbraak

ontstaat. Maar dan is het nog niet zeker of beide takken actief blijven, of dat de nieuwe tak het meteen gaat winnen van de oude (Kleinans et al., 2008). Het al dan niet slagen van zo'n verlegging blijkt mede af te hangen van lokale details, zoals de precieze ligging en vorm van meanderbochten bij het splitsingspunt. Dit effect is te zien op oude rivierkaarten van de het splitsingspunt tussen de Rijn en de Waal bij Lobith in de 18^e eeuw (figuur 11). De ingang van de Nederrijn was in de binnenbocht van de Bovenrijn komen te liggen; de waterstroming in de bocht duwde daar het beddingsediment naar de binnenbocht, en gooide zo deze ingang dicht waardoor de Rijn verzandde. Het voorbeeld laat zien dat lokale, korte-termijn omstandigheden sturend zijn in de lange-termijn ontwikkeling van een delta.

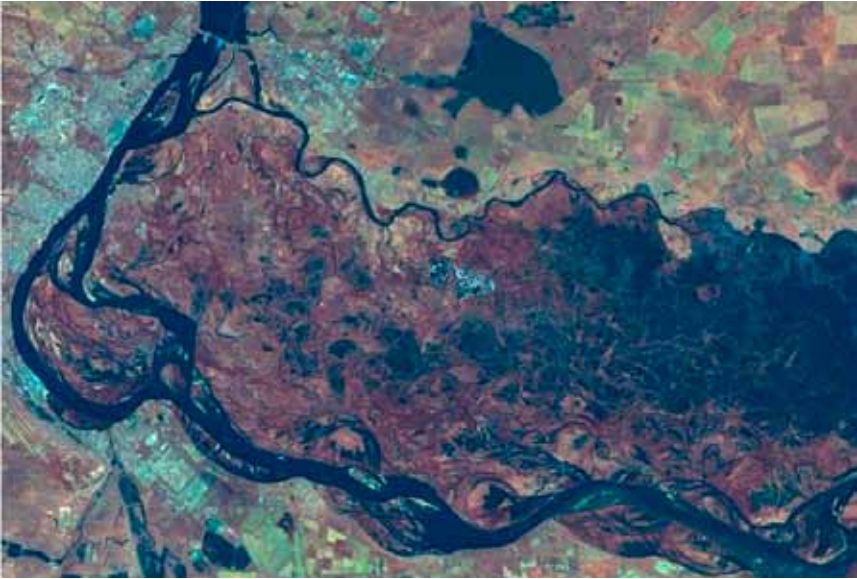
Dit type proceskennis leert ons wat de interne mechanismen binnen de delta zijn die mede bepalen hoe de delta zich opbouwt. De volgende stap is om deze mechanismen in te bouwen in de computermodellen die de opbouw van delta's wereldwijd en op de langere termijn simuleren, zoals het model van Karssenbergen en Bridge (2008).

Raakvlakken met aanpalende vakgebieden

Niet alleen binnen het eigen onderzoek leggen we verbindingen; ons onderzoek heeft verschillende raakvlakken met andere disciplines. Ik wil drie van deze raakvlakken illustreren.

Ecologie

Riviervlakten behoren tot de meest productieve en diverse ecosystemen op aarde. Een belangrijke drijvende kracht achter die productiviteit is de overstromingspuls van de rivier op deze systemen. Samen met de WUR, Deltares, Imares, en instituten uit Rusland onderzoeken we de relatie tussen het overstromingspatroon van de riviervlakte van de beneden Wolga en de reproductie van riviervis. Deze onbedijkte riviervlakte die door tientallen geulen wordt doorsneden, en waarin duizenden meren liggen is zo groot als de Betuwe en overstroomt elk voorjaar (figuur 12). De meren worden dan met de rivier verbonden, wat de vis gelegenheid geeft zich over grote gebieden te verspreiden om te paaien. Met behulp van veldmetingen, satellietbeelden en hydraulische modellen typeren we de jaarlijkse overstromingspulsen, en karakteriseren we de



Figuur 12 - De riviervlakte van de beneden Volga tijdens overstroming in het voorjaar: de donkere gebieden staan onder water

mate van isolatie van de meren. Deze resultaten vergelijken we met visgegevens uit deze meren die door de ecologen verzameld zijn. Met het onderzoek willen we laten zien hoe belangrijk deze overstromingen zijn voor het ecologisch functioneren van de riviervlakte als kraamkamer voor vis, en in hoeverre dit bedreigd wordt door klimaatverandering en de bovenstrooms gelegen stuwdammen. Net als de samenwerking met de ecologen uit Nijmegen bij de Allier leert dit onderzoek ons rivieren en overstromingsvlakten als ecosystemen te zien. Planten zijn meer dan hydraulische sta-in-de-wegs die de door de rivier opgeworpen zandbanken snel inpikken. De biotische en abiotische dynamiek zijn nauw verweven.

Archeologie

In het kader van het Domeinproject werken we samen met collega prof. Jansma en de Gemeente Utrecht aan de reconstructie van de Romeinse limes,

de natuurlijke noordgrens van het Romeinse Rijk, die hier gevormd werd door de oude Rijn tussen Wijk bij Duurstede, langs Utrecht naar de toenmalige monding bij Katwijk. Onze paleogeografische gegevens van de Rijndelta leveren een schat aan informatie over het landschap in de Romeinse tijd. Omgekeerd vormen de archeologische gegevens een venster waardoor we een gedetailleerd beeld krijgen van de morfodynamiek van de Rijn in de Romeinse tijd. We zien de snelheid waarmee riviermeanders zich verplaatsten, de ontwikkeling van de splitsing met de Utrechtse Vecht, en de locatie en activiteit van zijstromen die de omliggende veengebieden ontwateren. Gezamenlijk ontstaat de reconstructie hoe de Romeinen in deze natte delta hun noordgrens beheerden.

Rivierbeheer en maatschappijwetenschappen

Veranderingen in rivierafvoer zullen grote gevolgen hebben voor de delta, maar ook voor het waterbeheer in Nederland. Scenario's om deze gevolgen te onderzoeken moeten méér omvatten dan alleen klimaatverandering. Ook de maatschappij verandert, bijvoorbeeld ten aanzien van risicoacceptatie, landbouwbeleid, bevolkingsgroei, waardering van natuur, of financiële middelen. Dat betekent dat de onzekerheden over de toekomst voor ons en voor de waterbeheerder nog groter zijn, en ook onvermijdelijk. De waterbeheerder ziet zich voor de vraag gesteld wat robuuste strategieën zijn *gegeven* die onzekerheid? Om die vraag te kunnen beantwoorden hebben we de samenwerking met de 'gamma' wetenschappers van het ICIS in Maastricht opgezocht (Middelkoop et al., 2004). In het lopende Perspectieven project met Deltares gaan we nu niet alleen de toekomstsituaties verkennen, maar ook de mogelijke paden die naar die verschillende toekomsten leiden (Haasnoot et al., 2010). Daarmee gaan we laten zien wat robuuste strategieën voor waterbeheer van delta's onder al die onzekerheden zijn.

De connecties met andere dan de puur fysische geografische discipline zijn voor mij essentiële onderdelen in het onderzoek. Het leert ons de eigen resultaten breder te interpreteren en vernieuwende onderzoeksvragen te formuleren. Het levert over en weer verfrissend inzicht en waardering van het onderzoek. Het is interessant en inspirerend: Ik kan net zo genieten van een discussie over de succesfactoren voor visreproductie in de riviervlakte van de Wolga, als van scenario's opstellen voor waterbeheer op basis van Spiral Dynamics.

Toepassing in het Nederlandse rivier- en bodembeheer

Ons onderzoek levert veel praktische kennis en gegevens op die direct toepasbaar zijn voor het duurzaam beheer van de Nederlandse rivieren en de ondergrond. Ik wil hier kort enkele voorbeelden noemen.

De provincies Gelderland en Utrecht gebruiken onze gedetailleerde kaarten van de zandbanen en veenbodems bij hun bodembeheer en beleid. Ook voor de bescherming tegen overstroming heeft onze kennis over de ondergrond van de delta veel te bieden. In het project Paleogeografie en Veiligheid onderzoeken we de fingerprints die extreme Rijnafvoeren in de afgelopen duizenden jaren in de delta hebben achtergelaten. We verwachten hiermee de onzekerheid te verkleinen in de huidige kansberekening over extreem grote afvoerpieken van de Rijn. Ook de ondergrond zelf is van belang bij de veiligheid. Waar een dijk de zandbaan van een oude rivierloop kruist kan bij hoogwater een gevaarlijke kwelstroom onder de dijk door ontstaan. Dit zijn de zwakke plekken waar ook in het verleden vaak de dijken doorgebroken zijn. Met onze gedetailleerde gegevens over de ligging en diepte van de zandbanen kunnen we deze risicoplekken snel in kaart brengen. Recentelijk is het idee geopperd om grote stevige 'klimaatdijken' aan te leggen die nooit door kunnen breken. Geheel los van de vraag of dit planologisch is te realiseren, vormt een dergelijke dijk een zware belasting van de ondergrond. Die mag natuurlijk niet onder het gewicht van de dijk inklinken omdat er veen of slappe kleilagen in de ondergrond aanwezig zijn. Ook hier brengt onze gedetailleerde kennis van de ondiepe ondergrond uitkomst.

Als lid van mer-commissies voor Ruimte voor de Rivier projecten valt mij op we bij de concrete uitwerking vervallen in een polderproces op de schaal van individuele uiterwaarden, met elk een nevengeul, natuur, recreatie, en een ontzanding die een deel van de kosten moet opbrengen. De schaal van riviertrajecten raakt uit beeld. Natuurdoelen lijken vooral in termen van *levende* natuur gedefinieerd en zijn nogal statisch. De morfologie, zoals een nevengeul, dient in de eerste plaats de veiligheid, en biedt daarbij mooie habitats voor planten en beesten. Een aangelegde nevengeul, die met inlaatwerk, sedimentvang en oeverbescherming in toom gehouden wordt is echter net zo min natuur als een lokeend in een vijver. We zagen bij de Allier dat juist de levendige interacties tussen abiotische en biotische natuur het wezen van het rivierecosysteem

vormen. We zullen onze kennis over de dynamiek van natuurlijke riviervlakten nog beter moeten gaan inzetten bij het ecologisch herstel van onze rivieren.

De river connection

Genoeg ideeën, genoeg te doen. Met de huidige staf van de leerstoel hebben we ons onderzoek na de reorganisatie enkele jaren geleden weer goed op de rails staan. Internationaal hebben we in de vele onderzoeksgroepen een uitstekende reputatie. In Nederland werken we bij het fundamentele klimaat- en rivierenonderzoek vruchtbaar samen met de aardwetenschappelijke zusterinstituten, Alterra, het KNMI en het ICIS. De goede samenwerking met Deltares en TNO is inmiddels bezegeld met het gezamenlijke Delta Evolution programma. We gaan het Nederland Centrum voor Rivierkunde de komende jaren weer een sterke ‘river connection’ te maken. Ook recente ontwikkelingen, zoals de samenwerking met Provincies, het nieuw opgezette Utrechtse Centrum voor Aarde en Duurzaamheid, en de recente vorming van het Europese Klimaat-KIC bieden volop kansen voor nieuw onderzoek.

Slot

Mevrouw de voorzitter, mijnheer de rector, dames en heren,

Ik nader het eind van mijn betoog. Ik wil daarin nog enkele persoonlijke noten kwijt. In de eerste plaats is dat aan onze studenten.

Studenten

Geachte studenten. Zonder jullie zou het stil zijn op de Uithof, en zou de universiteit nog maar wankel op één langzaam afstervend been staan. Jullie zijn hard nodig om Nederland straks te beschermen tegen overstroming, om ons land duurzaam in te richten, om zorgvuldig om te gaan met de aarde en verdere vervuiling en versnelde klimaatverandering tegen te gaan. Vanaf deze plek wil ik jullie een paar dingen meegeven. Ten eerste: Ga veldwerk doen! Want pas dan krijg je de aarde echt in je vingers. Ten tweede: Gebruik je eigen verstand! Nederland is de laatste tijd in een post-modernistische vertwijfeling aan het raken. Gezag heeft geen gezag meer. Recentelijk werd het IPCC voor het gemak als een halve maffiaclub weggezet. En dan is de Rijn opeens weer korter dan we dachten. Internet stroomt vol informatie, zin en onzin worden door elkaar getwitterd, en zijn voor velen niet meer van elkaar te onderscheiden. Geachte

studenten: laat zien dat er nuance bestaat tussen klimaatsceptici en – alarmisten, doelsoorten en echte natuur, tussen tulpeilanden voor de kust en strakke dijkverhoging. Weet de weg in deze wereld nog te vinden zonder TomTom. En blijf ook na je studie nog *LinkedIn* met ons.

Dankwoord

Tot slot wil ik een aantal personen bedanken, zonder wie ik hier nu niet gestaan had. In de eerste plaats zijn dat Ward Koster, mijn promotor en voorganger, en Henk Berendsen. Samen hebben ze het fundament gelegd van onze huidige Utrechtse ‘river connection’. Het is ontzettend jammer dat Henk er niet meer is; hij haalde mij in 1999 terug naar Utrecht, en hij had mij wanneer nodig een welgemeend ‘kansloos’ kunnen toeroepen. Mijn promotietijd vormt voor mij de kiem van de positie die ik nu ga bekleden. Ik ben de medepromovendi dankbaar voor de vruchtbare discussies, de samenwerking en lol die we hadden, niet gehinderd door de zuilen van de toenmalige leerstoelen. Nu zijn ze uitgezwermd, maar met velen werk ik nog intensief samen.

Ook in mijn tijd bij het RIZA heb ik een grote groep fijne collega’s leren kennen, van wie ik veel geleerd heb over het beheer van onze rivieren, en met wie het nog steeds goed samenwerken is.

Veel dank ben ik verschuldigd aan mijn collega’s Piet Hoekstra, Steven de Jong en Marc Bierkens voor hun onvoorwaardelijke steun in de aanloop naar het vervullen van deze leerstoel, en voor hun voortgaande grote collegialiteit. Zeer gelukkig prijs ik mij met Esther Stouthamer, Wim Hoek, Marcel van der Perk, Maarten Kleinhans en Kim Cohen als vaste staf binnen de leerstoelgroep. Het zijn ook jullie mooie veren die de leerstoel tooien. Binnen het departement koester ik de collegiale samenwerking en discussies met promovendi, postdocs, staf, het labteam en de secretariële ondersteuning.

Collega’s van instituten om ons heen: met jullie werken is niet alleen inhoudelijk inspirerend, maar ook op het persoonlijke vlak erg plezierig. Ook de collega’s van de internationale IGBP-LUCIFS groep dank ik voor de vele aangename en constructieve meetings. De Russische connectie is een bijzondere en

intrigerende; ik dank de collega's uit Moskou en Volgograd voor de geweldige veldwerken bij de Volga: большое спасибо!

Tot slot dank ik mijn vrienden en familie. Mijn ouders voor hun voortdurende belangstelling in het wel en wee van mijn werk. Waren het de mooie reizen naar de bergen en Scandinavië waar mijn interesse voor de fysische geografie gewekt werd, of kwam het doordat we achtereenvolgens woonden op de Barkstraat, de Fjord en de Veerweg dat ik bij het rivierenonderzoek uitmondde? Jacqueline, Emma en Wisse, ik dank jullie voor de liefde en het plezier dat we samen hebben. *Culture at Home* is een fantastisch bedrijf! Misschien gaan we ooit nog wel eens bij de IJssel wonen. Ik hoop in elk geval dat we daar nog vaak kunnen komen om er steentjes in te gooien.

Ik heb gezegd

Met dank aan Jacqueline Franssens en Iris Pronk voor hun tekstuele adviezen.

Literatuur

- Berendsen, H.J.A. & E. Stouthamer, 2001: *Palaeogeographic development of the Rhine-Meuse delta, The Netherlands*. Assen: Van Gorcum, 268 p. ISBN 90 232 3695 5.
- Bogaart, P.W., 2003: *Process-based modelling of the fluvial response to rapid climate change*. Proefschrift Vrije Universiteit Amsterdam.
- Coulthard, T.J. & M.J. van De Wiel, 2007: Quantifying fluvial non linearity and finding self organized criticality? Insights from simulations of river basin evolution. *Geomorphology* 91, 216–235.
- Erkens, G., 2009: Sediment dynamics in the Rhine catchment. Quantification of fluvial response to climate change and human impact. Proefschrift Universiteit Utrecht. *Nederlandse Geografische Studies* 388.
- Haasnoot, M., H. Middelkoop, E. van Beek & W.P.A. van Deursen, 2010: A method to develop sustainable water management strategies for an uncertain future. *Sustainable Development*. DOI: 10.1002/sd.438.
- Hijma, M.P., 2009: From river valley to estuary: the early-mid Holocene transgression of the Rhine-Meuse valley, The Netherlands. Proefschrift Universiteit Utrecht. *Nederlandse Geografische Studies* 389.
- Hoffmann, T., S. Glatzel & R. Dikau, 2009: A carbon storage perspective on alluvial sediment storage in the Rhine catchment. *Geomorphology* 108, 127–137.
- Hoffmann, T., V.R. Thorndycraft, A.G. Brown, T. Coulthard, B. Damnati, V.S. Kale, H. Middelkoop, B. Notebaert & D.E. Walling, 2010: Human impact on fluvial regimes and sediment flux during the Holocene: Review and future research agenda. *Global and Planetary Change*, doi: 10.1016/j.gloplacha.2010.04.008.
- Karssenberg, D. & J.S. Bridge, 2008: A three-dimensional numerical model of sediment transport, erosion and deposition within a network of channel belts, floodplain and hill slope: extrinsic and intrinsic controls on floodplain dynamics and alluvial architecture. *Sedimentology* 55, 1717–1745.
- Kasse, C., W.Z. Hoek, S.J.P. Bohncke, M. Konert, J.W.H. Weijers, M.L. Cassee & R.M. van der Zee, 2005: Late Glacial fluvial response of the Niers-rhine (western Germany) to climate and vegetation change. *Journal of Quaternary Science*, 204(4), 377–394.
- Kleinhans, M.G., H.R.A. Jagers, E. Mosselman & C.J. Sloff, 2008: Bifurcation dynamics and avulsion duration in meandering rivers by one-dimensional and three-dimensional models. *Water Resources Research* 44, doi:10.1029/2007WR005912.

- Kwadijk, J.C.J. 1993: The impact of climate change on the discharge of the River Rhine. *Nederlandse Geografische Studies* 171
- Litt, T., C., Schölzel, N. Kühl & A. Brauer, 2009: Vegetation and climate history in the Westeifel Volcanic Field (Germany) during the past 11 000 years based on annually laminated lacustrine maar sediments. *Boreas* 38, 679 – 690.
- Loos, S., H. Middelkoop, M. van der Perk & L.P. van Beek, 2009: Large scale nutrient modelling using globally available datasets: A test for the Rhine basin. *Journal of Hydrology* 369, 403-415.
- Meybeck, M. & C. Vörösmarty, 2005: Fluvial filtering of land-to-ocean fluxes: from natural Holocene variations to Anthropocene. *Comptes Rendus Geoscience* 337, 107-123.
- Middelkoop, H., 1997: Embanked floodplains in the Netherlands. Geomorphological evolution over various time scales. Proefschrift Universiteit Utrecht. *Nederlandse Geografische Studies* 224.
- Middelkoop, H. & N.E.M. Asselman, 1998: Spatial variability of floodplain sedimentation at the event scale in the Rhine–Meuse delta, The Netherlands. *Earth Surface Processes and Landforms* 23, 561–573.
- Middelkoop, H., & M. van der Perk, 1998: Modelling spatial patterns of overbank sedimentation on embanked floodplains. *Geografiska Annaler* 80A: 95-109.
- Middelkoop, H., M.B.A. van Asselt, S.A. van 't Klooster, W.P.A. van Deursen, J.C.J. Kwadijk & H. Buiteveld, 2004: Perspectives on flood management in the Rhine and Meuse rivers. *River Research and Applications* 20, 327-342.
- Middelkoop, H., G. Erkens & M. van der Perk, 2010: The Rhine Delta – a record of sediment trapping over time scales from millennia to decades. Special issue *Journal of Soils and Sediments*, doi 10.1007/s11368-010-0237-z.
- Overeem, I. & J.P.M. Syvitski, 2008: Dynamics and Vulnerability of Delta Systems. *LOICZ Reports and Studies* 35.
- Seitzinger, S.P., C. Kroeze, A.F. Bouwman, N. Caraco., F. Dentener & R.V. Styles, 2002: Global patterns of dissolved inorganic and particulate nitrogen inputs to coastal systems: recent conditions and future projections. *Estuaries* 25, 640-655.
- Stouthamer, E., 2001: Holocene avulsions in the Rhine–Meuse delta, The Netherlands. *Nederlandse Geografische Studies* 283.
- Straatsma, M.W., 2007: Hydrodynamic roughness of floodplain vegetation: airborne parameterization and field validation. Utrecht, Universiteit Utrecht, 2007. *Nederlandse Geografische Studies* 358.

- Straatsma, M. W., A. Schipper, M. van der Perk, N. G. M. van den Brink, H. Middelkoop & R. S. E. W. Leuven, 2009: Impact of river management strategies on the biogeomorphology of the lower Rhine floodplains. *Landscape and Urban Planning* 92, 160-174.
- Syvitski, J. P. M., C. J. Vorosmarty, A. J. Kettner & P. Green, 2005: Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science*, 308, 376-380
- Thonon, I., 2006: Deposition of sediment and associated heavy metals on floodplains. Proefschrift Universiteit Utrecht. *Nederlandse Geografische Studies* 337.
- Van Asselen, S., 2010: Peat compaction in deltas. Implications for Holocene delta evolution. Proefschrift Universiteit Utrecht. *Nederlandse Geografische Studies*.
- Van Baalen, R. T., Busschers, F. S. & Tucker, G. T. (2010), Modeling the response of the Rhine-Meuse fluvial system to Late Pleistocene climate change. *Geomorphology* 114, 440-452.
- Vandenberghe, J., 2005: Climate forcing of fluvial system development: an evolution of ideas. *Quaternary Science Reviews* 22, 2053-2060.
- Veldkamp, T. A. & J. J. van Dijke, 2000: Simulating external and internal controls on fluvial terrace stratigraphy: a qualitative comparison with the Maas record. *Geomorphology* 33, 225-236.
- Walling, D. E., 2008: The changing sediment loads of the world's rivers, in: J. Schmidt, T. Cochrane, C. Phillips, S. Elliott, T. Davies & L. Basher (eds). *Sediment Dynamics in Changing Environments*, IAHS Publication 325. IAHS Press: Wallingford, UK, 323 - 338.

