

DE ALLIER ALS MORFOLOGISCH VOORBEELD VOOR DE GRENSMAAS

DEEL III: SEDIMENTTRANSPORT EN AFPLEISTERING

Maarten Kleinhans ¹⁾, Janrik van den Berg ¹⁾, Antoine Wilbers ¹⁾ & Jurgen de Kramer ²⁾

¹⁾ Universiteit Utrecht, afdeling Fysische Geografie, Postbus 80115, 3508 TC Utrecht

²⁾ Dienst Landelijk Gebied Gelderland, Postbus 9079, 6800 ED Arnhem

Als voorbeeld voor de natuurontwikkeling langs de Grensmaas wordt vaak de Allier gebruikt, een zijrivier van de Loire in Midden-Frankrijk (figuur 1). Dit artikel is het laatste deel van een drietal, waarin de morfologische processen in de Allier worden beschreven en vergeleken met die in de Grensmaas. In het eerste artikel werd de vraag behandeld in hoeverre de rivierpatronen van Allier en Grensmaas met elkaar te vergelijken zijn (VAN DEN BERG *et al.*, 2000). In de tweede bijdrage is ingegaan op de wijze en snelheid van oevererosie en bochtverplaatsing (DE KRAMER *et al.*, 2000).

Belangrijke elementen in de renaturalisatie van een rivier zijn het gedrag en transport van zand en grind, omdat deze mede de dynamiek van de rivier bepalen. In dit artikel worden aspecten van het sedimenttransport over de bedding van de rivier beschreven die te maken hebben met het soort sediment dat in beide rivieren ligt: een mengsel van zand en grind. Dat zand en grind door elkaar liggen heeft een paar speciale effecten op het sedimenttransport en de morfologie als gevolg. De Allier en de Grensmaas (ook de toekomstige) ondervinden deze speciale effecten in verschillende mate, met als gevolg dat de dynamiek van de Grensmaas kleiner is dan die in de Allier.

EROSIE, TRANSPORT EN AFZETTING VAN ZAND-GRIND MENGSELS

Wanneer men een schop in een droog stuk bedding van de rivier de Allier of de Grensmaas steekt, komt men al veel te weten over de samenstelling van de bedding. De toplaag is hard en grindig, en daaronder ligt een mengsel van zand en grind. De toplaag is echter zo dun, dat men hem meestal indrukt bij het lopen. Deze grindrijke toplaag noemt men de afpleisteringslaag, kortweg pleisterlaag. Plaatselijk ligt een decimeters dik zandig pakket op deze grindlaag, waaronder na wat graafwerk de grindige toplaag door blijkt te lopen.

Deze eenvoudige waarnemingen werpen meteen een viertal belangrijke vragen op. Hoe zijn die afzettingen daar terecht gekomen? Welke mechanismen zorgden voor het ontstaan van de pleisterlaag? En wat zal daarmee gebeuren zodra dit stuk bedding weer overstroomt? Welke invloed heeft dit op de ecologie?

LABORATORIUMEXPERIMENTEN

De vorming van pleisterlagen kan aan de hand van experimenten in een stroomgoot worden onderzocht. De bodem van de goot wordt dan



FIGUUR 1

Ligging van de Grensmaas en de Allier.

bedekt met een zand-grind-mengsel waarover men water laat stromen. Hiermee kan de rivierstroming over een deel van de bedding worden nagebootst. Het boeiende is nu dat door de glazen zijwanden precies kan worden gevolgd wat er in de bovenste laag van het sediment gebeurt, iets dat in een echte rivier onmogelijk is. Daarnaast kunnen natuurlijk metingen worden verricht van het sedimenttransport en lokale stroomsnelheden.

In de winter van 1997-98 was de eerste auteur van dit artikel betrokken bij een serie proeven die zijn uitgevoerd in de 50 meter lange Zandgoot van het Waterloopkundig Laboratorium met een zand-grind-mengsel dat was gebaggerd uit de Waal bij de Pannerdense Kop. Dit sediment is een stuk fijner en bevat een hoger percentage zand dan het sediment van de Allier. Een kwalitatieve vergelijking tussen de Allier en de stroomgoot-experimenten is toch mogelijk, als situaties met ongeveer dezelfde mate van beweging van het sediment worden beschouwd. Aangezien grof grind bij hogere snelheden dan fijn grind in beweging komt, betekent dit dat voor vergelijkbare condities het water in de goot minder hard moet stromen dan in de Allier.

In één van de experimenten werd een goed gemengd mengsel van zand en grind in een vlakke laag op de bodem van de goot aangebracht. Daarna werd bij een waterdiepte van circa 0,17 meter een stroomsnelheid afgeregeld van 0,60 meter per seconde. Deze stroomsnelheid is gedurende 80 uur constant gehouden, daarna werd de proef gestopt.

Figuur 2 is een foto van de bedding nadat het water uit de goot was weggestroomd. Er is duidelijk een zandige beddingvorm te zien, die zich voortbewoog over een grindrijke laag. De beddingvorm heeft de sikkelvorm van een barchaan, zoals die ook als windduin in woestijnen voorkomt. Barchanen zijn duinen die ontstaan als zand zich voortbeweegt over een vlakte waaruit bij de gegeven omstandigheden geen extra sediment (zand) kan worden opgenomen, omdat de wind- of stroomsnelheid niet voldoende sterk is om dat zwaardere sediment (grind) in transport te krijgen. Dat is hier inderdaad het geval: de zandige barchaan bewoog zich voort over een pleisterlaag, waarin geen zand meer aan de oppervlakte voorkwam.

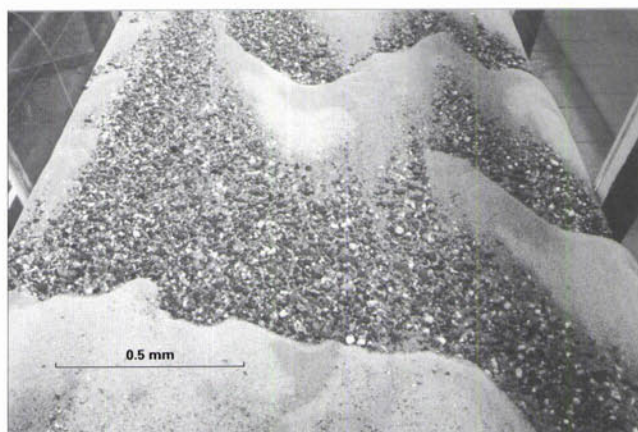
De resultaten kunnen als volgt worden verklaard (figuur 3). Stromend water oefent een sleepkracht uit op de bedding, evenredig aan de wortel van de stroomsnelheid. Voor het transporteren van zand is een kleinere sleepkracht nodig dan voor grind. Daardoor zal vooral het zand worden opgenomen en getransporteerd, terwijl het grind blijft liggen. Door wervelingen in de stroming kan ook zand worden weggezogen uit de luwte van de poriën tussen de grindkorrels. Hierdoor zakt het grind langzaam naar onderen, terwijl het zand zich verzamelt in barchanen die over de grindlaag heenlopen. De opname van zand uit de bedding komt geleidelijk tot stilstand zodra het oppervlak zo grof is geworden dat de wervelingen in de stroom de nog aanwezige zandkorrels tussen en onder het grind niet meer kunnen bereiken. Hierdoor wordt verdere ontwikkeling van de barchanen tot een aaneengesloten patroon van duinen tegengehouden. Een pleisterlaag is dus in beginsel een erosief verschijnsel. De dikte van de pleisterlaag blijkt in de praktijk niet groter te zijn dan de diameter van de grootste korrels die in het sediment aanwezig zijn.

TERUG NAAR DE RIVIER

Ook in de Allier zorgt het verschil in gemak waarmee de stroming zand of grind kan opne-

FIGUUR 2

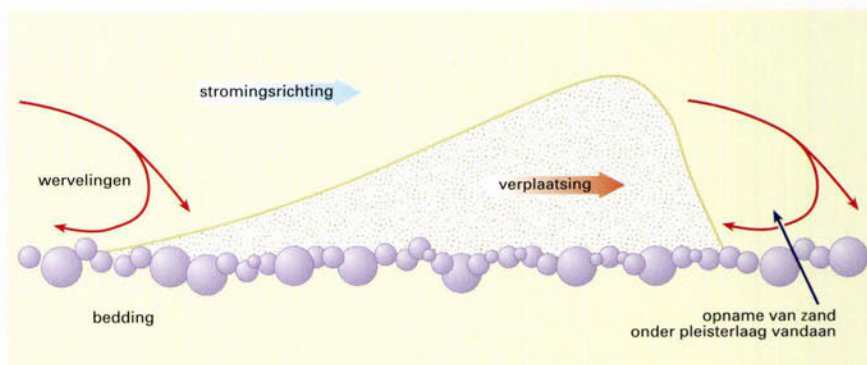
Foto van de bedding van de Zandgoot na een experiment van een paar dagen. Er is een zandige beddingvorm te zien op een grindrijke laag. De stroming was van onder naar boven (foto: Maarten Kleinhans).



men ervoor dat het zand en grind deels van elkaar gescheiden worden. Tijdens laagwater zorgt de aanwezigheid van de pleisterlaag ervoor dat er nauwelijks of geen sediment uit de bedding kan worden opgenomen. Over de pleisterlaag kan nog enig transport plaatsvinden van zand, vaak in de vorm van barchanen (zie figuur 4). Afgezien van deze bodemvormen en de vorming van een enkele zandbank op luwe plaatsen in het stroombed, is de morfologie dan volledig vastgelegd. Er zijn twee mogelijkheden voor wat er tijdens een hoogwater in een rivier gebeurt met de pleisterlaag. Ten eerste, de stroming is niet krachtig genoeg om het grind dat de pleisterlaag vormt in beweging te brengen. De laag blijft intact als *statische pleisterlaag*. Dit betekent dat er geen uitwisseling van sediment bestaat tussen de onderliggende bedding en het over de pleisterlaag voortbewegende transportmateriaal. Bij elk hoogwater dat groter is dan het voorgaande, wordt de pleisterlaag steeds grover en sterker. Een statische pleisterlaag wordt alleen opgebroken, als de sleepkracht nog hoger wordt dan die van het grootste hoogwater uit de recente geschiedenis. Bij een dalende af-

voer na extreem hoogwater wordt de pleisterlaag opnieuw gevormd op een lager niveau door het achterblijven van grof grind, terwijl het fijnere sediment in transport blijft. Voor de volgende opbraak van de pleisterlaag is een nog extremer hoogwater nodig. Een statische pleisterlaag is karakteristiek voor grindrivieren waarvan de bovenaanvoer van grind is afgesneden, zoals stroomafwaarts van een stuwdam. Ook in de Grensmaas ligt op veel plaatsen een statische pleisterlaag.

De tweede mogelijkheid is dat de stroming zo krachtig is dat het grind dat de pleisterlaag vormt in beweging komt. Er is dan sprake van een *dynamische pleisterlaag*. Tijdens een hoogwater wordt grof grind uitgewisseld tussen transportmateriaal en de pleisterlaag. Door de tijdelijke gaten in de pleisterlaag en door turbulente stroming tussen de schokkende maar min of meer stabiele korrels van de pleisterlaag, wordt fijn sediment opgenomen uit de onderliggende bedding. Een dynamische pleisterlaag blijft bestaan tijdens een hoogwater. Tijdens laagwater, als de grove korrels uit de pleisterlaag niet in beweging zijn, vindt er weinig of geen uitwisseling



FIGUUR 3

De vorming van een pleisterlaag in aanwezigheid van beddingvormen. Door de turbulentie aan de stroomafwaartse zijde van de beddingvorm wordt zand onder de pleisterlaag vandaan gezogen. Tegelijkertijd wordt het opgenomen sedimentmengsel in de diepte van de beddingvorm gesorteerd, waarbij het grove sediment laag en het fijne hoog in de beddingvorm wordt afgezet (naar KLEINHANS, 2000).



FIGUUR 4
Foto van barchanen in de Allier tijdens laagwater, augustus 1999. De stroming was van linksboven naar rechtsonder (foto: Maarten Kleinhans).

plaats. In tegenstelling tot statische pleisterlagen wordt een dynamische pleisterlaag niet grover in de loop der tijd, maar vertonen eerder een grote ruimtelijke variatie, die bij ieder hoogwater verandert. Een dynamische pleisterlaag is karakteristiek voor trajecten in grindrivieren met een behoorlijke bovenaanvoer van grof sediment zoals in de Allier.

EFFECT OP DE DYNAMIEK

Eerder in deze artikelenreeks (VAN DEN BERG *et al.*, 2000, DE KRAMER *et al.*, 2000) bleek al dat er tijdens een hoogwater in de Allier grote morfologische veranderingen kunnen optreden, met name in meanderbochten maar ook bij de banken in het vlechtende deel. Hierbij treedt op sommige plaatsen erosie op, en op andere plaatsen sedimentatie. Op de plaatsen waar geërodeerd werd, lag daarvoor een pleisterlaag, en na het hoogwater ligt die er weer. De kritieke stroomsnelheid waarboven het grind in de pleisterlaag kan worden getransporteerd, moet zijn overschreden, anders kan er nooit erosie plaats-

gevonden hebben. In de Allier gebeurt dit ieder jaar en er is dan ook sprake van een dynamische pleisterlaag.

Erosie en sedimentatie hebben een directe invloed op de vegetatie. Op delen die een deel van het jaar droog liggen zullen de eerste pioniersoorten proberen vaste voet aan de grond te krijgen. Bij een hoogwater waarbij het droogliggende deel wordt overstroomd, zullen de meeste planten worden weggespoeld als ze nog niet sterk genoeg zijn. Erosie kan de bedding plaatselijk doen dalen, zodat de wortels van oudere planten worden uitgegraven. Sedimentatie doet de planten begraven. Bomen die sterk genoeg zijn om deze aanvallen te weerstaan, reageren hierop door wortels bij te maken. In een sedimentair milieu leidt dat dan tot een rij nieuwe wortels die hoger uit de begraven stam komen.

In de Allier kan men soms in de uitbouwende binnenbochten een opeenvolging tegenkomen van verschillende plantensoorten, waarbij de snelle pioniers aan de kant van de rivier staan, en de soorten die een relatief rustiger milieu nodig hebben verder weg van de rivier. Met name de Zwarte populier (*Populus nigra*) komt in alle delen voor, waarbij de ouderdom

zelfs met het blote oog kan worden afgeleid uit de hoogte van de boom. In het patroon van de bomen is de onderliggende morfologie en de bijbehorende dynamiek weerspiegeld. De jongste bomen groeien in een baan parallel en op relatief korte afstand van de rivier, waar het misschien nog eenmaal per jaar overstroomt. Verder weg van de rivier zijn dan banen te herkennen met bomen die steeds een jaar ouder zijn. In snel uitgroeiende bochten zijn deze banen breder. In bochten die minder snel uitbouwen, bijvoorbeeld omdat ze tegen een oever met hard gesteente aanduwen, is de vegetatie veel minder goed ontwikkeld. Tijdens een hoogwater wordt de stroming als het ware naar de binnenbocht toe gedwongen, omdat de buitenbocht geen plaats maakt. Ook kan de weg over de binnenbocht korter zijn voor het water, en bij bepaalde waterstanden dus afsnijden van de bocht als gevolg hebben. Op deze binnenbochten is de dynamiek te groot voor vestiging van meerjarige soorten, zodat alleen wat eenjarige kruipende en laag-groeiende soorten en slechts een enkel boom-pje worden aangetroffen.

VOORSPELLING VAN PLEISTERLAAGINSTABILITEIT

PLEISTERLAAGINSTABILITEIT IN THEORIE

Het is nu de vraag of op de een of andere manier voorspeld had kunnen worden of de Allier een dynamische pleisterlaag heeft. Door ingenieur A.F. Shields is in 1936 met behulp van vele proeven in een stroomgoot een relatie afgeleid waarmee kan worden voorspeld bij welke sleepkracht het begin van beweging van korrels in een zand- of grindbed optreedt. De relatie van Shields is later vele malen geverifieerd en moest alleen voor situaties met een zandbodem worden aangepast. Wel kunnen er belangrijke afwijkingen optreden in het begin van beweging als er geen sprake is van min of meer ronde korrels of als er een brede spreiding van korrelgroottes in het bodemsediment vertegenwoordigd is.

Zo blijkt dat de toplaag van de bedding een stuk stabiel is dan met de Shields-kromme wordt voorspeld als er sprake is van imbricatie (zie figuur 5). Imbricatie ontstaat als asymmetrische korrels in stroming van water worden afgezet. De afgeplatte stenen komen dan dakpansgewijs gestapeld te liggen, hetgeen de sterkte van de toplaag vergroot. De curve van Shields gaat alleen op als het se-

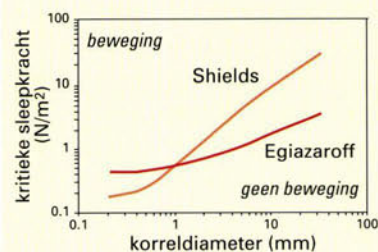


FIGUUR 5
Stereofoto van imbricatie van asymmetrische korrels. De stroming was van links naar rechts. De grootste korrels liggen dakpansgewijs gestapeld, waarbij ze in stroomafwaartse richting omhoog wijzen. In de luwte van de grootste korrels liggen de fijnere, terwijl de grote uitsteken boven de locale bedding. Gebruik een zakstereoscoop of kijk door twee wc-rollen om de ogen te dwingen elk op een plaatje te kijken (foto's: Maarten Kleinhans).

diment uniform is, dus alleen uit goed gesorteerd zand of grind bestaat. In het geval van een slechte sortering steken de grootste korrels uit boven de kleinere, en liggen daardoor zodanig geëxposeerd op de stroming dat ze gemakkelijker in beweging komen dan volgens Shields het geval is. De kleinere korrels daarentegen liggen in de luwte van de grotere, en komen dus moeilijker in beweging. Het gecombineerde effect is dus dat de kritieke sleepkrachten waarop zand en grind in beweging komen, dicht bij elkaar komen te liggen. P.I. Egiazaroff beschreef in 1965 een curve waarin dit effect min of meer theoretisch is afgeleid. In figuur 6 staan de curven van Shields en Egiazaroff samen weergegeven. In dit artikel wordt de curve van Egiazaroff gebruikt, omdat deze een vorm heeft die vergelijkbaar is met vele experimenteel bepaalde curven voor zand-grind mengsels uit de literatuur. Het onderzoek aan deze curven is echter nog in volle gang, en is met behoorlijke grote onzekerheid omgeven, niet alleen over de absolute hoogte maar ook over hun vorm.

PLEISTERLAAGINSTABILITEIT IN DE PRAKTIJK

Nu kan voor zowel de Grensmaas als de Allier worden uitgerekend bij welke sleepkrachten het sediment in beweging komt. Deze kritieke sleepkrachten kunnen dan worden vergeleken met sleepkrachten die voorkomen bij hoogwaters in de Grensmaas en de Allier. Voor de berekening daarvan in de Allier is gebruik gemaakt van een gedetailleerd waterbewegingsmodel. In een afstudeerproject van de Technische Universiteit Delft is hiermee door Pieter-Jeroen Bart een aantal berekeningen gedaan voor een dubbele meanderbocht bovenstrooms van Mou-



FIGUUR 6

De experimentele kromme van Shields en de theoretische kromme van Egiazaroff voor het begin van beweging van korrels voor uniform sediment (Shields) en mengsels (Egiazaroff). Shields voorspelt dat het moeilijker is om grotere korrels in beweging te krijgen, wat te verwachten valt. Egiazaroff voorspelt dat de grotere korrels relatief makkelijker en de kleinere korrels moeilijker in beweging komen.

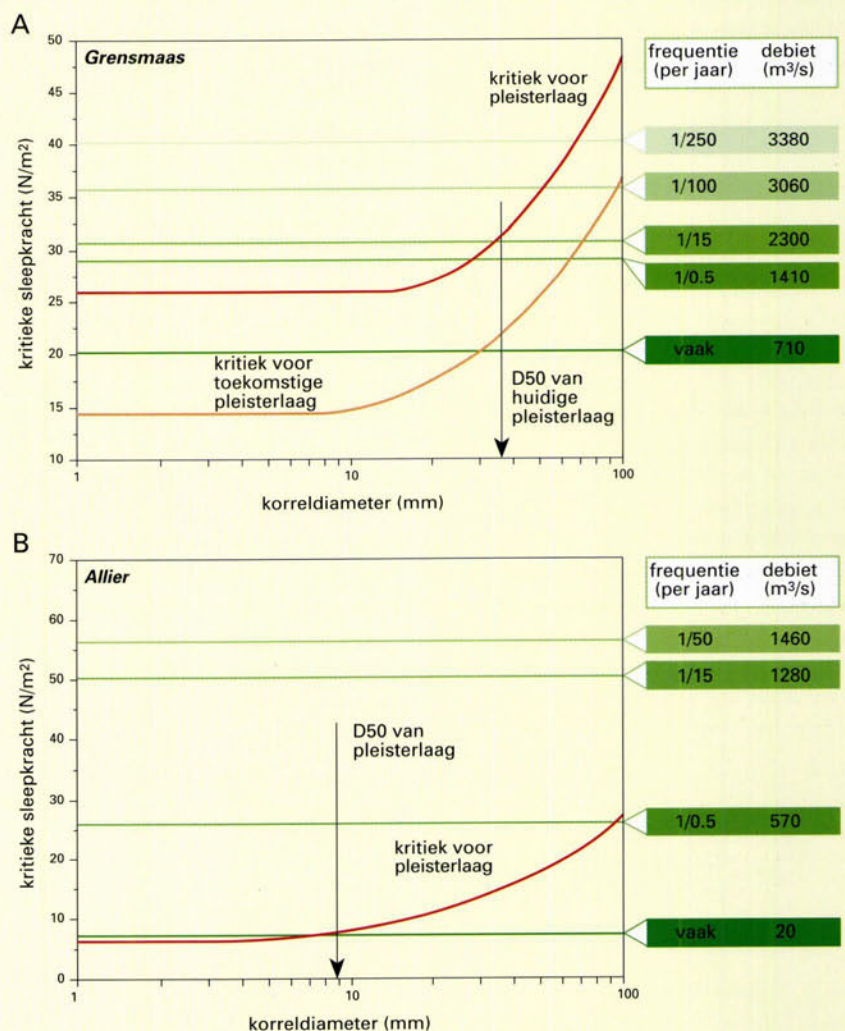
lins. Daarbij is gebruik gemaakt van meetgegevens van de bodemligging, sediment-samenstelling en stroomsnelheid, die voortkwamen uit afstudeeropdrachten van Albert Driesprong en Caroline Neessen, twee studenten Fysische Geografie. Voor de huidige en toekomstige situatie in de Grensmaas is uitgegaan van gemiddelde waarden van de sleepkracht bij hoogwater, zoals die kunnen worden afgeleid uit gegevens van het MER (IWACO/CSO/WL, 1998).

In figuur 7 staan zowel de kritieke sleepkrachten voor het begin van beweging van het grind als de werkelijk optredende sleepkrachten in de rivieren Grensmaas en Allier. De werkelijk voorkomende sleepkrachten zijn gekoppeld aan een herhalingsfrequentie van het bijbehorende debiet. Deze liggen voor de Allier met een gemiddelde frequentie van meer dan 2 maal per jaar boven de kritieke waarde. Bij de

Grensmaas wordt de huidige pleisterlaag gemiddeld slechts eenmaal per 15 tot 100 jaar doorbroken. Hieruit blijkt dat de pleisterlaag in de Grensmaas op dit moment statisch van karakter is, en in de Allier dynamisch. Het gedrag van de twee rivieren tijdens hoogwaters is dan ook moeilijk te vergelijken.

PLEISTERLAAGINSTABILITEIT IN DE GRENSMAAS NA DE RENATURALISATIE

Na de 'renaturalisatie' van de Grensmaas wordt de statische pleisterlaag niet onmiddellijk opnieuw gevormd, omdat er uit het nieuw aangelegde rivierbed en de oevers wellicht geruime tijd zoveel grind door erosie vrijkomt dat een dynamische pleisterlaag zich kan handhaven. Voor die situatie mogen we dus uitgaan van de samenstelling van het



FIGUUR 7A.

Kritieke sleepkracht in de huidige en toekomstige Grensmaas. Met D50 wordt de mediane korrel diameter aangegeven.

FIGUUR B.

(Kritieke) sleepkracht in de Allier.



FIGUUR 8

Een stapel dood hout heeft in de pleisterlaag een spoor getrokken (tussen de fles en Antoine). De stromingsrichting is van ons af (foto: Jurgen de Kramer, 1996).

sediment dat onder de pleisterlaag ligt. De berekening van de kritieke sleepkracht is daarom nog een keer gedaan voor het sediment onder de huidige pleisterlaag (figuur 7). Met dit uitgangspunt blijkt het sediment in de Grensmaas bijna net zo frequent in beweging te komen als in de Allier.

De hier gevolgde redenering wekt de suggestie dat ook de morfologische dynamiek van weleer in de Grensmaas zou kunnen terugkeren. Dit is echter om verschillende redenen niet te verwachten.

Ten eerste is het zo, dat er door het plaatselijk wel en op ander plaatsen niet verruimen van de Maas een rivier zal ontstaan, waarin tijdens hoogwater grote verschillen zullen optreden in de stroomsnelheden, veel groter dan nu het geval is. Uit stromingsberekeningen die in het kader van het MER werden uitgevoerd (IWACO/CSO/WL, 1998) blijkt duidelijk dat in de verbrede trajecten de stroomsnelheid aanzienlijk lager zal worden dan thans het geval is, terwijl in de 'flessenhalzen' waar de oorspronkelijke breedte -vanwege bebouwing- gehandhaafd blijft, de stroomsnelheden sterk toenemen. Om hier ongewenste erosie tegen te gaan zal de bodem van deze relatief nauwe delen moeten worden voorzien van een kunstmatige bescherming. Het komt er dus op neer, dat op plaatsen waar het de rivier is toe-

gestaan te eroderen bij hoogwater de stroomsnelheid in het algemeen lager zal zijn dan thans. Met andere woorden, op de trajecten waar de rivier sediment kan eroderen zal de sleepkracht minder groot zijn, vaak zelfs kleiner dan de kritieke waarde voor het minder grove grind. Van morfologische dynamiek in de toekomstige Grensmaas moet men zich om deze reden dus niet al te veel voorstellen. Daar komt nog bij, dat een werkelijk dynamisch gedrag van geulen en banken pas zal ontstaan, als rivierbochten zich verplaatsen kunnen, zoals in de vorige aflevering van deze artikelenserie duidelijk werd gemaakt.

BOMEN TE WATER!

De oevererosie (zie deel 2 van deze artikelen-serie, DE KRAMER *et al.*, 2000) is niet alleen van belang, omdat tijdens de erosie sediment uit de oevers beschikbaar komt voor transport, maar ook omdat het uitbouwen van een meanderbocht vaak met sedimentatie in de binnenbocht gepaard gaat. De nieuwe bedding in zowel buiten- als binnenbocht moet nog afgepleisterd worden. Dit maakt dat de variatie in pleisterlaagsterkte in de rivier groot is, zodat ook het sedimenttransport grote ruimtelijke

en temporele variatie vertoont. De Grensmaas krijgt echter in de toekomst nauwelijks vrije oevers, zodat deze factor in de morfodynamiek ook onbelangrijk zal zijn.

Een andere belangrijke factor op kleinere schaal is het in de rivier storten van bomen uit ondergraven oevers. De bomen blijven wel min of meer drijven, maar de uitstekende takken en wortels kunnen de pleisterlaag omwoelen en zo opbreken. Te water geraakte bomen trekken in de Allier grote sleepsporen waarbij de pleisterlaag opgebroken wordt (figuur 8). Veel bomen blijven na een hoogwater ergens steken in de bedding. De turbulentie die deze bomen veroorzaken, voorkomt dat op die locatie een pleisterlaag ontstaat (figuur 9). Het zachte hout is na een seizoen in het water zo doorweekt dat het ook niet meer blijft drijven. In de luwte van dood hout kunnen zandpluimen worden afgezet, en voor het hout ontstaat een hoefijzervormige erosiekuil (figuur 10). Bomen kunnen ook een rol spelen in de stabilisatie van eilanden doordat ze op de stroomopwaartse zijde als bolwerken worden opgestapeld.

DE SCHAAL VAN DYNAMIEK

Het is van belang om bij morfologische dynamiek de schaal van deze dynamiek in het oog te houden. In deze reeks artikelen is steeds gesproken over dynamiek op het ruimtelijk schaalniveau van banken, eilanden en complete meanderbochten. Op kleinere schaal zal zelfs in een kanaal enige dynamiek blijven optreden, maar dit zal nauwelijks tot geen effecten hebben op de grootschaliger dynamiek en op de vegetatie. In de rivier de Rijn bij Millingen bijvoorbeeld kan men na hoogwaters nog wel eens een vers pakket grind op de verdedigde oever vinden, al dan niet afgepleisterd. Lokaal wordt de vegetatie even onder druk gezet en komen wellicht tijdelijk enkele pioniers voor, maar op de schaal van het natuurgebied is dit nauwelijks relevant.

CONCLUSIES

De combinatie van de sleepkracht van de stroming tijdens een hoogwater en samenstelling van het sediment in de rivierbedding bepaalt het gedrag van de rivierbedding tijdens hoogwater. In de Grensmaas komen tijdens hoogwaters weliswaar hoge sleepkrachten voor, maar is het sediment erg grof



FIGUUR 9

Bomen in de geul zorgen dat de afpleistering wordt bemoeilijkt en het sedimenttransport door kan gaan (foto: Jurgen de Kramer, 1996).

en moeilijk te transporteren. Daarom is de pleisterlaag er sterk en statisch en wordt alleen opgebroken bij zeer grote hoogwaters. In de Allier zijn de sleepkrachten minder hoog maar is het sediment fijner. Netto is het sediment makkelijker te vervoeren dan in de Grensmaas. De pleisterlaag is dynamisch en wordt tijdens de meeste hoogwaters doorbroken. De sedimenttransporten en daarmee de veranderingen in de morfologie zijn groter dan in de huidige Grensmaas.

In de toekomstige gerenaturaliseerde Grensmaas zal het sediment in het begin veel fijner zijn dan nu, zodat het ook makkelijker in beweging kan komen. De rivier ligt dan echter ingeklemd tussen de verdedigde flessenhalzen, terwijl de oevers in de 'vrijere' delen ook nog min of meer vastgelegd zijn. In de brede riviertrajecten tussen de flessenhalzen zal de sleepkracht op de bodem niet sterk genoeg zijn om de pleisterlaag dynamisch te maken, zodat de morfodynamiek in het systeem uiteindelijk nauwelijks groter zal zijn dan in de huidige Grensmaas.

Zodra de oevers verdedigd zijn en de banken een stabiele pleisterlaag hebben gekregen in de toekomstige Grensmaas, zal de pioniervegetatie verdwijnen. Erosie en afzetting van sediment op droogvallende delen zal waarschijnlijk beperkt plaatsvinden, en alleen op deze locaties is de dynamiek tijdelijk zo groot dat pioniervegetatie nog een kans heeft. De geringe dynamiek die overblijft, wordt vooral veroorzaakt door verschillende waterstanden.

De algemene conclusie van deze artikelenserie (VAN DEN BERG *et al.*, 2000, DE KRAMER *et al.*, 2000, dit artikel) is dat de morfodynamiek van de Allier niet goed vergelijkbaar is met die van de (toekomstige) Grensmaas. De sleepkracht tijdens hoogwaters in combinatie met de grootte van het sediment zal ertoe leiden dat het sedimenttransport relatief lager is dan in de Allier en de afpleistering sterker. De oorspronkelijke Grensmaas liet weliswaar morfologische

processen zien die vergelijkbaar zijn met wat men nu in de Allier kan zien, maar de snelheid van die processen in de Allier is veel groter dan deze in de Grensmaas ooit geweest is. Bovendien zullen in de toekomstige "renaturalisatie" van de Grensmaas de flessenhalzen en vastgelegde oevers de dynamiek sterk beperken.

RÉSUMÉ

L'ALLIER, UN EXEMPLE MORPHOLOGIQUE POUR LA MEUSE MITOYENNE TRANSPORT DE SÉDIMENTS ET PAVAGE DU LIT

En cas d'écoulement important la stabilité du lit d'une rivière est déterminée par deux facteurs: la tension de frottement de l'eau sur le lit et la composition et dimension des sédiments. Les sédiments de l'Allier sont relativement plus fins que ceux de la Meuse mitoyenne et sa tension de frottement est plus importante que celle de la Meuse mitoyenne, de sorte que son lit manifeste une plus grande dynamique. Pour les lits composé d'un mélange de sable et de gravillon, comme la Meuse mitoyenne et l'Allier, les petites particules sont emportées plus facilement que les grandes, si bien que une accumulation résiduelle peut se former sur le lit. Ce pavage du lit protège le granulat primitif sous-jacent et par conséquent freine le transport par charriage. Il peut donc arriver qu'il ne se produise plus d'érosion si le lit est pavé de galets, lorsque les petites sont érodées, et le tension de frottement reste au dessous de la valeur critique pour le mouvement des galets. Dans la Meuse mitoyenne ce pavage du lit est rarement rompu et peut être considéré comme stable. Ce qui n'est pas le cas de l'Allier, dont le pavage du lit est rompu environ tous les ans, et dont la dyna-

mique est donc beaucoup plus grande que pour la Meuse mitoyenne. Le pavage du lit sera, certes, moins fortes dans la Meuse mitoyenne future mais la structure du fleuve artificiellement imposée, composée de pertuis consolidés à proximité des terrains construits ('goulots de bouteille') et d'élargissements entre les terrains construits, aboutira aux tensions de frottement tellement basses dans les élargissements que le pavage de lit ne pourra toujours pas être rompu. De plus, les rives resteront la plupart du temps consolidées. La dynamique de la Meuse mitoyenne sera ainsi bien inférieure à celle de l'Allier.

LITERATUUR

- BART, P.J., in prep. Afstudeeronderzoek modellering stroming tijdens laag- en hoogwater in de Allier. Technische Universiteit Delft, Civiele Techniek.
- BERG, J.H. VAN DEN, J. DE KRAMER, M. KLEINHANS & A. WILBERS, 2000. De Allier als morfologisch voorbeeld voor de Grensmaas. Deel I: vergelijkbaarheid en rivierpatroon. *Natuurhistorisch Maandblad* 89: 118-122.
- BLOM, A. & KLEINHANS, M.G., 1999. Non-uniform sediment in morphological equilibrium situations, Data Report Sand Flume Experiments 97/98. University of Twente, Rijkswaterstaat RIZA, WL | Delft Hydraulics. University of Twente, Civil Engineering and Management.
- DRIESPRONG, A., in prep. Afstudeeronderzoek hydraulische ruwheid tijdens laagwater in de Allier. Universiteit Utrecht, Fysische Geografie.
- EGIAZAROFF, P.I., 1965. Calculation of non-uniform sediment concentration. *J. of Hydr. Div. ASCE*, no. 44.
- IWACO/CSO/WL, 1998. MER Grensmaas, deelrapport 2: Rivierkunde.
- KLEINHANS, M.G., 2000. The relation between bedform type, vertical sorting in bedforms and bedload transport during subsequent discharge waves in large sand gravel bed rivers with fixed banks. *Gravel Bed Rivers 2000 conference*, New Zealand.
- KRAMER, J. DE, A. WILBERS, J.H. VAN DEN BERG & M. KLEINHANS, 2000. De Allier als morfologisch voorbeeld voor de Grensmaas. Deel II: oevererosie en meandermigratie. *Natuurhistorisch Maandblad* 89: 189-198.
- NEESSEN, C., in prep. Afstudeeronderzoek bochtstroming tijdens laagwater in de Allier. Universiteit Utrecht, Fysische Geografie.
- SHIELDS, A., 1936. Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik und der Turbulenz Forschung auf die Geschiebebewegung. *Mitteilungen der Preuss. Versuchsanst. für Wasserbau und Schiffbau*, Heft 26, Berlin, Deutschland.

FIGUUR 10

Achter dood hout wordt door sterk turbulente stromingen een kolkgat gevormd. Hierbij wordt de pleisterlaag lokaal opgebroken. Bij lagere afvoeren zijn de zandpluimen gevormd in de luwte van het hout. De rivier stroomt naar links (foto: Jurgen de Kramer, 1999).



Wie meer te weten wil komen over het aan de artikelenserie ten grondslag liggend onderzoek, kan de volgende internetpagina's raadplegen. Pagina over stroomgootonderzoek en veldonderzoek naar pleisterlagen en sedimenttransport in zand-grindmengsels: <http://www.geog.uu.nl/fg/mkleinhans/> Pagina over Allier-onderzoek en toeristische informatie: <http://globis.geog.uu.nl/users/wilbers/> Pagina over fysisch geografisch onderzoek (o.a. rivieren) in Utrecht: <http://www.geog.uu.nl/fg/>