



Het natuurlijke patroon van beken

rivierpatroon
beken
meanderen
geomorfologie
beekherstel

Slingerend of meanderend?

Bij beekherstel wordt vaak gesproken van 'hermeandering', waarmee meestal bedoeld wordt dat een rechtgetrokken beek weer een natuurlijk bochtig patroon krijgt. Hieronder gaan we in op de vraag wat meanderen precies is, welke processen daarbij horen en hoe je kunt voorspellen of die processen op gaan treden. Voor die voorspelling gebruiken we een empirisch diagram en theorieën over patronen van natuurlijke rivieren.

Op grote schaal vindt momenteel in Nederland beekherstel plaats om de ecologische en hydrologische toestand in en rond beken te verbeteren. Belangrijke praktische vragen bij de planning en uitvoering van beekherstel zijn hoeveel ruimte een natuurlijke beek in zal nemen en in welke mate de vorm van de herstelde beek aan verandering onderhevig zal zijn. Deze vragen worden deels ingegeven door het feit dat een natuurlijke beek meer bochten heeft, en dus meer ruimte in zal nemen dan een rechte beek, en door de verwachting dat die bochten zullen bewegen. Om op dergelijke vragen een antwoord te bieden is het *Handboek geomorfologisch beekherstel* (Makaske & Maas, 2015) geschreven. In dit handboek is de informatie samengebracht die nodig is om de vorm van een nieuwe beekloop te kunnen ontwerpen volgens geomorfologische principes en om zijn dynamiek te kunnen inschatten. Omdat beken eigenlijk kleine rivieren zijn, wordt in het handboek veel aandacht besteed aan de theoretische achtergronden van het ontstaan van rivierpatronen. Hieronder vatten we deze theorie kort samen om vervolgens te onderzoeken wat voor activiteit we kunnen verwachten van de bochten van herstelde beken in Nederland.

Rivierpatronen

Rivieren in het laagland maken allerlei patronen. Sommige rivieren vlechten (figuur 1A), waarbij zandbanken en geulen zich bij elk hoogwater verplaatsen.

Andere rivieren meanderen (figuren 1B en 1C), waarbij oevers van buitenbochten afkalven terwijl nieuwe zandbanken ontstaan in de binnenbochten. Veel rivieren liggen echter vast door dichte vegetatie die het oevermateriaal vasthoudt of omdat de oevers bestaan uit stugge klei. Sommige daarvan zijn recht en andere hebben bochten die zich niet verplaatsen, zoals bij meanderende rivieren wel het geval is, en worden aangeduid als slingerende rivieren (figuur 1D).

Het patroon dat een rivier maakt wordt bepaald door de verhouding van rivierbreedte en -diepte, die op haar beurt weer bepaald wordt door de sterkte van de oevers. Als deze uit klei zijn gevormd of dicht zijn begroeid blijft een geul relatief smal en diep, en als deze uit hetzelfde zand of grind zijn gevormd als de bodem van de geul wordt die veel breder en ondieper. Smalle rivieren zijn tienmaal zo breed als diep en vertonen nauwelijks tot geen zandbanken en bochten. Brede rivieren zijn honderd maal zo breed als diep en vormen meerdere geulen en zandbanken naast elkaar, kortom een vlechtend patroon. Daartussen zit een bereik waar rivieren meanderen. Dat kan zijn met brede kronkelwaarden en lange lussen die elkaar af en toe ontmoeten, zodat er afsnijdingen ontstaan, maar ook met flauwere bochten die soms middendoor worden afgesneden via een kleine geul door de kronkelwaard, zoals in het geval van de Rijn en de IJssel voor deze werden vastgelegd door de mens. Het patroon van een rivier hangt dus vooral af van het

Dr. B. (Bart) Makaske
Leerstoelgroep
Bodemgeografie en
Landschap, Wageningen
Universiteit, Postbus 47,
6700 AA Wageningen
bart.makaske@wur.nl

**Drs. E.C. (Eveline)
van der Deijl**
Departement Fysische
Geografie, Universiteit
Utrecht

**Prof. Dr. M.G.
(Maarten) Kleinans**
Departement Fysische
Geografie, Universiteit
Utrecht

Foto **Aat Barendregt**
Ratumse Beek die bij
Winterswijk uitmondt in de
Groenlose Slinge.

sediment en de stromingskrachten in de geul. Van den Berg (1995) ontdekte dat vlechtende en meanderende rivieren zich van elkaar onderscheiden in slechts drie variabelen: (1) de korreldiameter van het zand of grind waar de rivier in stroomt, (2) het verhang van het dal of de vlakke, en (3) het jaarlijkse of tweejaarlijks hoogste debiet. De eerste twee variabelen zijn bepaald door de voorgeschiedenis van de rivier, terwijl het debiet afhangt van het klimaat en de eigenschappen van het stroomgebied. Alle drie de variabelen zijn daarmee min of meer onafhankelijk van het patroon en kunnen dus gebruikt worden om dat patroon empirisch te voorspellen.

Empirisch diagram

Voor de patroonvoorspelling wordt gebruik gemaakt van een diagram waarin het (potentiële) stromingsvermogen van een rivier is uitgezet tegen de mediane korreldiameter van het zand of grind in de bedding (figuur 2). Het stromingsvermogen wordt bepaald door een combinatie van de variabelen verhang en debiet. In het diagram zijn vier velden te onderscheiden, die van elkaar worden gescheiden door diagonale lijnen die deels gebaseerd zijn op een discriminantanalyse. In het bovenste veld staan de vlechtende rivieren. Gemiddeld hebben deze het hoogste stromingsvermogen, al is er bij een grote korreldiameter meer stromingsvermogen nodig om een vlechtende rivier te vormen dan bij een kleine korreldiameter. In de twee velden daaronder komen twee soorten meanderende rivieren voor: (1) die met chutes, kleine geulen in de binnenbocht die voor een kortsluiting tussen twee meanderbochten kunnen zorgen (figuur 1B), en (2) die met kronkelwaardruggen, gebogen, min of meer parallelle, ruggen in de binnenbocht die verschillende stadia in bochtontwikkeling markeren (figuur 1C). Ook voor deze rivieren geldt dat het bereik van het stromingsvermogen waarbinnen ze zich vormen

afhankelijk is van de korreldiameter. Onder de velden van de meanderende rivieren in het diagram ligt het veld van de rechte of slingerende rivieren zonder verplaatsende bochten (figuur 1D).

Het oorspronkelijke diagram (Van den Berg, 1995) is samengesteld op basis van een grote dataset van vlechtende en meanderende rivieren van over de hele wereld. Dit diagram omvatte de bovenste drie velden in figuur 2, waarbij geen onderscheid werd gemaakt tussen verschillende typen meanderende rivieren: de twee velden voor meanderende rivieren werden dus als één veld weergegeven. Later hebben Makaske *et al.* (2009) het onderste veld van de rechte of slingerende rivieren toegevoegd. Kleinmans & Van den Berg (2011) hebben het diagram verder verfijnd door het veld van de meanderende rivieren te splitsen en zo twee typen te onderscheiden (figuur 2). Zij kwamen ook tot een herinterpretatie van de lijnen tussen de velden. Volgens hen moeten deze worden opgevat als ondergrenzen in plaats van als scheidingslijnen. Dat wil zeggen dat de lateraal stabiele rivieren in sommige gevallen in het veld van de meanderende rivieren met kronkelwaardruggen terecht kunnen komen, maar dat het omgekeerde, meanderende rivieren die in het veld van lateraal stabiele rivieren vallen, niet voorkomt. Dat eerste gebeurt bijvoorbeeld als ondanks een voldoende hoog stromingsvermogen van de rivier geen oevererosie optreedt omdat de oever op natuurlijke wijze extra wordt versterkt door plantenwortels of harde bodemlagen.

Om tot voorspelling van het patroon van een rivier te komen moet het potentiële vermogen van de stroming worden uitgezet tegen de (mediane) korreldiameter van het zand of grind in de bedding. Op deze manier kan bepaald worden in welk veld de rivier valt. Het dalverhang en het debiet bij hoogwater (bijvoorbeeld de afvoer die eens per 2,3 jaar optreedt) worden gebruikt om het



Figuur 1 voorbeelden van de verschillende rivierpatronen. A: een vlechtende rivier (de Drôme, Frankrijk). B: een meanderende rivier (de Allier, Frankrijk) met chutes, gemarkeerd met een 'c'. C: een meanderende rivier met kronkelwaardruggen (Chinchaga River, Canada); de 'k' markeert kronkelwaardruggen van een verlaten meander. D: een slingerende rivier met stabiele bochten (de Drentsche Aa). Beelden: Google Earth.

Figure 1 examples of different channel patterns. A: a braided river (Drôme River, France). B: a meandering river (Allier River, France) with chutes, marked by the 'c'. C: a meandering river with scrolls (Chinchaga River, Canada); the 'k' marks scrolls inside an abandoned meander. D: a winding river with stable bends (Drentsche Aa River, the Netherlands). Images: Google Earth.

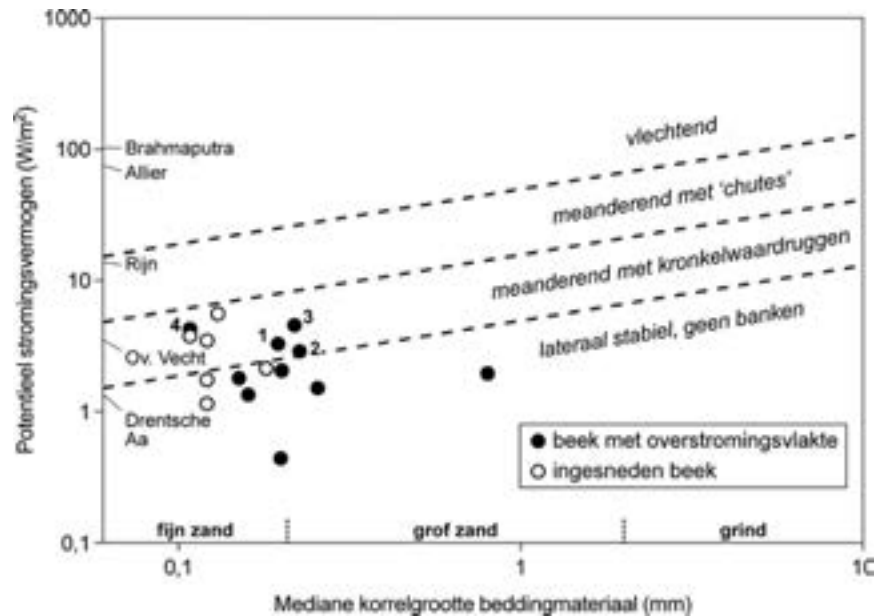
potentiële vermogen van de stroming te berekenen. Dat gebeurt per eenheid van breedte van de geul, waarbij de breedte niet de echte breedte is maar de breedte volgens een empirische relatie tussen breedte en debiet. De echte breedte wordt niet gebruikt omdat die bij voorspelling onbekend is. Bovendien is de breedte, zoals hierboven betoogd, gekoppeld aan het patroon dat we willen voorspellen. Door deze afhankelijkheid zou het gebruik van een in het veld gemeten breedte of een ontwerpbreedte onbedoeld sturend zijn voor de uitkomst van de voorspelling.

Het voorspellen van beekpatronen

Het diagram is ontwikkeld met gegevens van rivieren en het is daarom de vraag hoe goed het beekpatronen voorspelt. Vanwege schaalverschillen zijn er voor beken misschien wel andere of extra variabelen die van invloed zijn op het patroon, bijvoorbeeld de invloed van oevervegetatie. Als in de Amazone door oeverafkalving een boom in de rivier valt zal dat geen enkele invloed hebben op het rivierpatroon, in een Nederlandse beek echter kan dit de vorming van een bocht in gang zetten. Hoewel extra variabelen voor ruis kunnen zorgen is de verwachting dat het diagram in het algemeen wel bruikbaar is voor

Figuur 2 diagram waarin voor zestien Nederlandse beken het potentiële stromingsvermogen is uitgezet tegen de mediane korrel-diameter van het sediment in de bedding. Het potentiële stromingsvermogen (ω_{pv}) wordt berekend met de formule: $\omega_{pv} = \rho g Q S_v / W_r$ waarin ρ de dichtheid van water is (kg/m^3), g de zwaartekrachtsversnelling (m/s^2), Q de afvoer (hier is de gemiddelde hoogwaterafvoer die eens in de 2,3 jaar voorkomt gebruikt) in m^3/s , S_v het dalverhang (-) en W_r de referentiebreedte van de geul (m) die berekend kan worden met de formule $W_r = 4,7 \sqrt{Q}$ in geval van een zandbedding. De diagonale lijnen scheiden de verschillende soorten rivierpatronen (naar Kleinhans & Van den Berg, 2011). Op de verticale as is het potentiële stromingsvermogen van een aantal bekende rivieren gegeven.

Figure 2 diagram in which potential (specific) stream power has been plotted against median grain size of bed material for sixteen streams in the Netherlands. The potential (specific) stream power (ω_{pv}) is calculated with the equation: $\omega_{pv} = \rho g Q S_v / W_r$ in which ρ is the density of water (kg/m^3), g is the acceleration of gravity (m/s^2), Q is the discharge (in this case mean flood discharge with a recurrence period of 2.3 years was used) in m^3/s , S_v is the valley gradient (-), and W_r is the reference width of the channel (m) that can be calculated with the equation $W_r = 4,7 \sqrt{Q}$ in case of a sand bed. Oblique lines discriminate different channel patterns (after Kleinhans & Van den Berg, 2011). On the vertical axis the potential (specific) stream power of some rivers is indicated.



patroonvoorspelling van beken, omdat het gebaseerd is op de universele principes van de interactie tussen stroming en sediment.

Het diagram is alleen van toepassing op natuurlijke waterlopen die in evenwicht verkeren. Met een evenwicht wordt in dit geval bedoeld dat sedimentaan- en -afvoer nagenoeg gelijk zijn; lokale erosie en sedimentatie heffen elkaar op. Een natuurlijke waterloop heeft een bedding en oevers in los, vaak door de waterloop zelf afgezet, sediment. In dit materiaal kan de loop van het water door natuurlijke erosie- en sedimentatieprocessen ver-

anderen. Waterlopen die bezig zijn hun loop aan te passen hebben mogelijk nog niet de door het diagram voorspelde vorm. Een analyse van Eekhout & Hoitink (2014) laat zien dat het tot tien jaar kan duren voordat een evenwicht na beekherstel bereikt is. Een oeverbeschoeiing of andere kunstmatige harde structuren kunnen een natuurlijke aanpassing van de bedding beletten. Ook een beek die diep ingesneden in het landschap ligt kan moeilijk van vorm veranderen. Het diagram geldt daarom alleen voor waterlopen in (dal)vlaktes met lage oevers die regelmatig overstromen.

Om de bruikbaarheid van het diagram voor beekherstel nader te onderzoeken hebben we bij waterschappen gegevens verzameld over zestien beken (deels beekherstelprojecten) om die vervolgens in het diagram te plotten. Gekeken is in welk veld de punten terecht komen (de voorspelling) en in hoeverre de voorspelling overeenkomt met de situatie in het veld. De beschikbare dataset is te klein voor een gedegen empirische test van het diagram. Wel kunnen we nagaan of de Nederlandse beken voldoen aan de bovenbeschreven randvoorwaarden (gelegen in een vlakte, met lage, regelmatig overstromende oevers) en of de mate waarin ze dat doen van invloed is op hun positie in het diagram.

In figuur 2 is te zien dat meer dan de helft (negen) van de onderzochte beken in het onderste veld van het diagram terecht komt en de rest in het veld 'meanderend met kronkelwaardruggen'. Het diagram voorspelt dus dat zich in veel gevallen geen actieve meanderbochten zullen ontwikkelen met systematische oeverafkalving in de buitenbocht en sedimentafzetting in de binnenbocht. Is die voorspelling juist? Waar mogelijk is dat ge-

toetst aan de situatie in het veld. Voor bijna alle beken is vastgesteld dat er geen of nauwelijks sprake is van oevererosie gecombineerd met bankvorming. Voor de groep in het onderste veld is dit conform de voorspelling. Voor de groep van zeven beken in het veld 'meanderend met kronkelwaardruggen' voorspelt het diagram in een aantal gevallen meer meanderactiviteit dan er in werkelijkheid lijkt te zijn. Drie van deze beken liggen echter door natuurlijke omstandigheden diep ingesneden in het landschap. De stabiliteit van deze beken valt te verklaren uit het feit dat het eroderen van een hoge oever zeer veel vermogen vergt. Eigenlijk is het diagram niet bedoeld voor dergelijke ingesneden beken zonder overstromingsvlakte; de bovengenoemde randvoorwaarden voor gebruik van het diagram worden in deze gevallen geschonden. In drie andere gevallen (de beken bij punten 1, 2 en 3 in figuur 2) gaat het om beken die kort geleden zijn hersteld en waar patroon en processen waarschijnlijk nog niet in evenwicht zijn. Het diagram suggereert dat actief meanderen voor deze beken tot de mogelijkheden behoort. Punt 1 vertegenwoordigt een beek waarin

Figuur 3 oevererosie en sedimentafzetting in het beekherstelproject Groenlose Slinge. De oevervegetatie heeft zich nog niet volledig hersteld na de ingrepen, wat van invloed kan zijn op de processen (foto: Maarten Kleinans).

Figure 3 bank erosion and sediment deposition in the Groenlose Slinge stream restoration project. Bank vegetation is not yet fully developed after restoration measures, which may affect geomorphological processes (photo: Maarten Kleinans).



Figuur 4 bochten en steiloevers in een min of meer natuurlijk traject van de Dommel (foto: Bart Makaske).

Figure 4 bends and steep banks in a semi-natural reach of the Dommel (photo: Bart Makaske).



oevererosie en bankvorming waarneembaar zijn, maar in hoeverre dat over enkele jaren als zich meer oevervegetatie gevestigd heeft nog steeds het geval zal zijn, moet worden afgewacht. In de beek van punt 2 is alleen oevererosie aan de orde. Bankvorming wordt hier mogelijk onderdrukt doordat bij herstel een (te) smalle bedding is aangelegd. De huidige oevererosie kan samenhangen met een natuurlijke aanpassing van de dimensies van de bedding. Ook hier moet nog blijken of meandervorming, zoals voorspeld door het diagram, op gang zal komen. Gezien de relatief lage ligging van punt 2 is meandervorming, als die al gaat optreden, waarschijnlijk een langzaam proces. In de beek van punt 3 lijken oevererosie en bankvorming uit te doven door geleidelijke afname van het verhang als gevolg van insnijding in het stroomopwaartse deel van het herstelde traject. Deze insnijding heeft te maken met een stroomopwaartse stuw die sediment tegenhoudt, waardoor ook deze beek niet in evenwicht is. Omdat het oorspronkelijke verhang is gebruikt voor het plotten van de beek in het diagram, wordt het stromingsvermogen, en daarmee de potentie om te meanderen, overschat. In één geval (punt 4) is sprake van een slingerende beek zonder actieve meanders die toch midden in het veld 'meanderend met kronkelwaardruggen' terecht komt. Hier is een nader onderzoek nodig naar de oorzaken van de stabiliteit van de bochten.

Een voorlopige conclusie is dat het diagram een bruikbaar instrument is voor de voorspelling van het patroon van Nederlandse beken: de meerderheid van de onderzochte beken komt in het 'juiste' veld terecht en slechts één beek heeft een onverklaarbare positie. Het aantal geanalyseerde beken is echter te klein om definitieve conclusies te kunnen trekken. Door het verzamelen van meer gegevens hopen we het instrument verder te ontwikkelen voor de Nederlandse praktijk van beekherstel.

Hierbij zal veel aandacht uit moeten gaan naar toetsing van de gegevens aan de randvoorwaarden voor toepassing van het diagram. Op beekenrivierherstel.stowa.nl/Publicaties/ is behalve het handboek van Makaske & Maas (2015) ook een bijbehorend spreadsheet te vinden waarin het diagram is opgenomen. Hiermee kan op basis van een afvoer (geulvullend of gemiddeld hoogwater), een dalverhang en een mediane korreldiameter van het beddingmateriaal de positie van een beek in het diagram snel zichtbaar gemaakt worden.

Meanderprocessen in beken?

In de praktijk van beekherstel wordt vaak gesproken van hermeanderen en bestaat impliciet de verwachting dat bij het aanbrengen van bochten in een beektraject ook de bij meanders behorende processen van oeverafkalving in de buitenbocht en aanwas in de binnenbocht op zullen gaan treden. Deze processen zijn echter geen vanzelfsprekendheid, maar vereisen een bepaald minimum aan stromingsvermogen afhankelijk van de korrelgrootte van het zand of grind in de beek. Het stromingsvermogen wordt bepaald door verhang en debiet en beide zijn voor Nederlandse beken beperkt. Dit houdt in dat alleen bij een combinatie van relatief fijn zand, een voor Nederlandse begrippen groot verhang en een relatief grote beekafvoer sprake kan zijn van meanders met actieve processen, zoals het diagram aangeeft. Verder is het goed om op te merken dat meandervorming soms erg langzaam gaat, zeker als de beek een stromingsvermogen heeft dat dicht bij het benodigde minimum voor meandervorming ligt. Vaak zijn direct na aanleg van bochten in een beekherstelproject veel erosie- en sedimentatieprocessen langs de oevers te zien (figuur 3), omdat een beek zelden precies passend wordt aangelegd en zich eerst nog een evenwichtssituatie moet instellen. Na verloop van tijd (meestal binnen tien jaar) is de aan-

passingsperiode voorbij en gaan de processen optreden die passen bij de evenwichtssituatie. Dan pas kan beoordeeld worden of er daadwerkelijk sprake is van meandervorming.

De term 'hermeanderen' suggereert dat vroeger langs de Nederlandse beken actieve meanders voorkwamen. Historische kaarten tonen vaak slingerende beeklopen, maar laten niet zien of die bochten zich ook verplaatsten door afkalving in de buitenbocht en aanwas in de binnenbocht. Deze, later afgesneden, bochten zijn vaak in het terrein nog zichtbaar als gekromde met fijn sediment en veen gevulde laagtes. Op basis van geologisch onderzoek met grondboringen valt vast te stellen of deze bochten zich in het verleden gedroegen als actieve meanders. Op enkele plaatsen in Nederland is een dergelijk onderzoek uitgevoerd en is vastgesteld dat bochten van oude beeklopen zich in het verleden niet of nauwelijks verplaatsten. Op andere plaatsen is het beeld nog niet duidelijk en is nader onderzoek nodig.

Is hermeanderen van beken nog wel de moeite waard, nu wetenschappelijk onderzoek erop wijst dat in veel gevallen de bij actieve meanders behorende processen uit zullen blijven? Het antwoord op deze vraag is tweeledig. Ten eerste moeten we vaststellen dat kaarsrechte rivieren en beken van nature nauwelijks voorkomen. Iedere natuurlijke beekloop vertoont bochten (figuur 4), vanwege allerlei factoren, zoals terreinvormen en variaties in begroeiing van het beekdal en in de samenstelling van de ondergrond. Ook als deze bochten zich niet verplaatsen zorgen ze in de bedding voor variatie in stromingspatronen en bodemmateriaal die niches biedt voor planten en dieren. Ten tweede geldt dat als bochten horen bij een natuurlijke beek en als de processen voor spontane bochtvorming ontbreken, dat aanleg van bochten nodig kan zijn om van een gekanaliseerde beekloop te

komen tot een natuurlijkere beekloop. Het verdient dan aanbeveling om zoveel mogelijk aan te sluiten bij de historische beekloop. Overigens kunnen variaties in stromingscondities in een gekanaliseerde beek, wanneer er voor aanleg van bochten geen ruimte is, ook bereikt worden door het plaatsen van, al dan niet gestroomlijnde, obstakels in de bedding.

De in dit artikel beschreven analyse met het diagram geeft een voorspelling van de gemiddelde situatie langs een beek. Door variaties in ondergrond, insnijding, verhang en begroeiing, kunnen lokaal de processen afwijken van de voorspelling. In aanvulling op de analyse met het diagram is gedegen veldonderzoek van belang voor de inschatting van processen en patronen op lokaal niveau. Over het algemeen lijkt het erop dat actieve meanders in Nederlandse beken eerder uitzondering dan regel zijn.

Dank

De auteurs danken Joris Eekhout (Wageningen Universiteit) voor het beschikbaar stellen van veldgegevens en het becommentariëren van de tekst van dit artikel. De leden van de 'Community of Practice (CoP) Hermeandering' worden bedankt voor het delen van gegevens en kennis in een workshop op 15 november 2012, waarmee de basis gelegd werd voor dit artikel. Onze dank gaat ook uit naar het ministerie van Economische Zaken (BO-11-015-018, HD3436) voor het financieren van de workshop en het uitwerken van dit artikel, en naar de reviewers van LANDSCHAP.

Summary

The natural pattern of streams: winding or meandering?

Bart Makaske, Eveline van der Deijl & Maarten Kleinhans river pattern, streams, meandering, geomorphology, stream restoration

An important component of stream restoration projects is the creation of a more natural channel pattern. Because many streams have been straightened in the past, this commonly involves the digging of bends, which is often called 'remeandering'. A key characteristic of meanders is outer bank erosion and inner bank deposition. This process requires enough stream power for erosion, which depends on the bed sediment calibre: coarse particles need a more powerful current to be moved than fine particles. When stream power is very low, bends in a river or stream are stable, and are not meanders. In this paper a diagram is presented that can be used to predict natural river patterns, based on flood discharge and valley slope (both determining the

stream power), and bed sediment diameter. The diagram is based on a world-wide river dataset and currently its applicability to small streams in the Netherlands is being investigated. Preliminary results suggest that the diagram can be a useful instrument to predict the channel pattern of streams after restoration measures. It seems that, although bends are a typical feature of lowland streams, most streams do not meander, but instead have stable bends and can be described as winding.

Literatuur

Berg, J.H. van den, 1995. Prediction of alluvial channel pattern of perennial rivers. *Geomorphology* 12: 259-279.

Eekhout, J. & T. Hoitink, 2014. Morfodynamiek van Nederlandse laaglandbeken. Rapportnummer 2014-15. Amersfoort, STOWA.

Kleinhans, M.G. & J.H. van den Berg, 2011. River channel and bar patterns explained and predicted by an empirical and a physics-based method. *Earth Surface Processes and Landforms* 36: 721-738.

Makaske, B. & G. Maas, 2015. Handboek geomorfologisch beekherstel; leidraad voor een stapsgewijze en integrale ontwerpaanpak. Rapportnummer 2015-02. Amersfoort, STOWA.

Makaske, B., D.G. Smith, H.J.A. Berendsen, A.G. de Boer, M.F. van Nielen-Kiezebrink & T. Locking, 2009. Hydraulic and sedimentary processes causing anastomosing morphology of the upper Columbia River, British Columbia, Canada. *Geomorphology* 111: 194-205.