
Veldexperiment in de Hooge Raam: winst voor beekherstel én wetenschap

J.P.C. Eekhout¹, A.J.F. Hoitink², E. Mosselman³,
M. Kits⁴ en M. Talsma⁵

In de beek de Hooge Raam is een beekherstelproject gekoppeld aan een uniek veld-experiment. Het doel van het veldexperiment was om over een periode van drie jaar de temporele morfodynamiek te volgen van een rechte beekloop met een breed en ondiep dwarsprofiel. Ongeveer 8 maanden na aanleg zijn alternerende banken ontstaan. In eerste instantie namen de banklengte en bankamplitude toe. Vervolgens stabiliseerde de banklengte, maar nam de bankamplitude af. Uiteindelijk verdween het regelmatige alternerende bankenpatroon en maakte plaats voor een grillig bodemprofiel. De dynamiek van de alternerende banken liep parallel aan het verloop van het bodemverhang; het bodemverhang halveerde van initieel 1,8 m/km naar 0,9 m/km. Het uiteindelijke bodemverhang ligt tegen de bovengrens van bodemverhangen die typisch zijn voor laaglandbeken. Het is daarom onwaarschijnlijk dat alternerende banken in laaglandbeken zullen ontstaan. Dit alternatief voor hermeandering is waarschijnlijk niet geschikt voor het herstel van laaglandbeken. Hermeandering lijkt daarom nog steeds de meest effectieve methode om de ruimtelijke stromingsvariatie in Nederlandse laaglandbeken terug te brengen.

Inleiding

In de eerste helft van de 20ste eeuw zijn veel laaglandbeken in Nederland gekanaliseerd. De intensivering van de landbouw en de daaraan gekoppelde eisen aan de grondwaterstand liggen ten grondslag aan de grootschalige kanalisatie. Dit heeft geleid tot een sterke achteruitgang van de karakteristieke aquatische en terrestrische ecosystemen. Deze achteruitgang wordt voor een groot deel veroorzaakt door een piekerig afvoerregime, typisch voor de huidige laaglandbeken in Nederland. Tijdens piekafvoeren treden er hoge stroomsnelheden op, waardoor beekorganismen worden weggespoeld. Tijdens lage afvoeren is de stroomsnelheid nihil waardoor slib wordt afgezet, wat uitermate nadelig is voor de aanwezige macrofauna vanwege een te lage zuurstofconcentratie en een gebrek aan specifieke habitatcondities.

¹ Wageningen Universiteit, Wageningen (joriseekhout@gmail.com)

² Wageningen Universiteit, Wageningen (ton.hoitink@wur.nl)

³ Deltares/TU Delft, Delft (erik.mosselman@deltares.nl)

⁴ Waterschap Aa & Maas, 's-Hertogenbosch (MKits@aaenmaas.nl)

⁵ STOWA, Amersfoort (m.talsma@stowa.nl)

In de afgelopen 25 jaar zijn de Nederlandse waterschappen begonnen met ecologisch beekherstel. Sinds het jaar 2000 is vanuit de Europese context (Kaderrichtlijn Water; Council of the European Communities, 2000) de noodzaak voor het verbeteren van de ecologisch toestand van Nederlandse beken ontstaan. Dit vormt een belangrijke drijfveer voor beekherstel. Op historische kaarten is te zien dat laaglandbeken in het verleden en kronkelend karakter hadden. De meest gebruikte methode om het kronkelende karakter van de laaglandbeken terug te brengen is hermeandering, het graven van een kronkelende waterloop. Historische kaarten worden vaak gebruikt als inspiratie voor het bovenaanzicht.

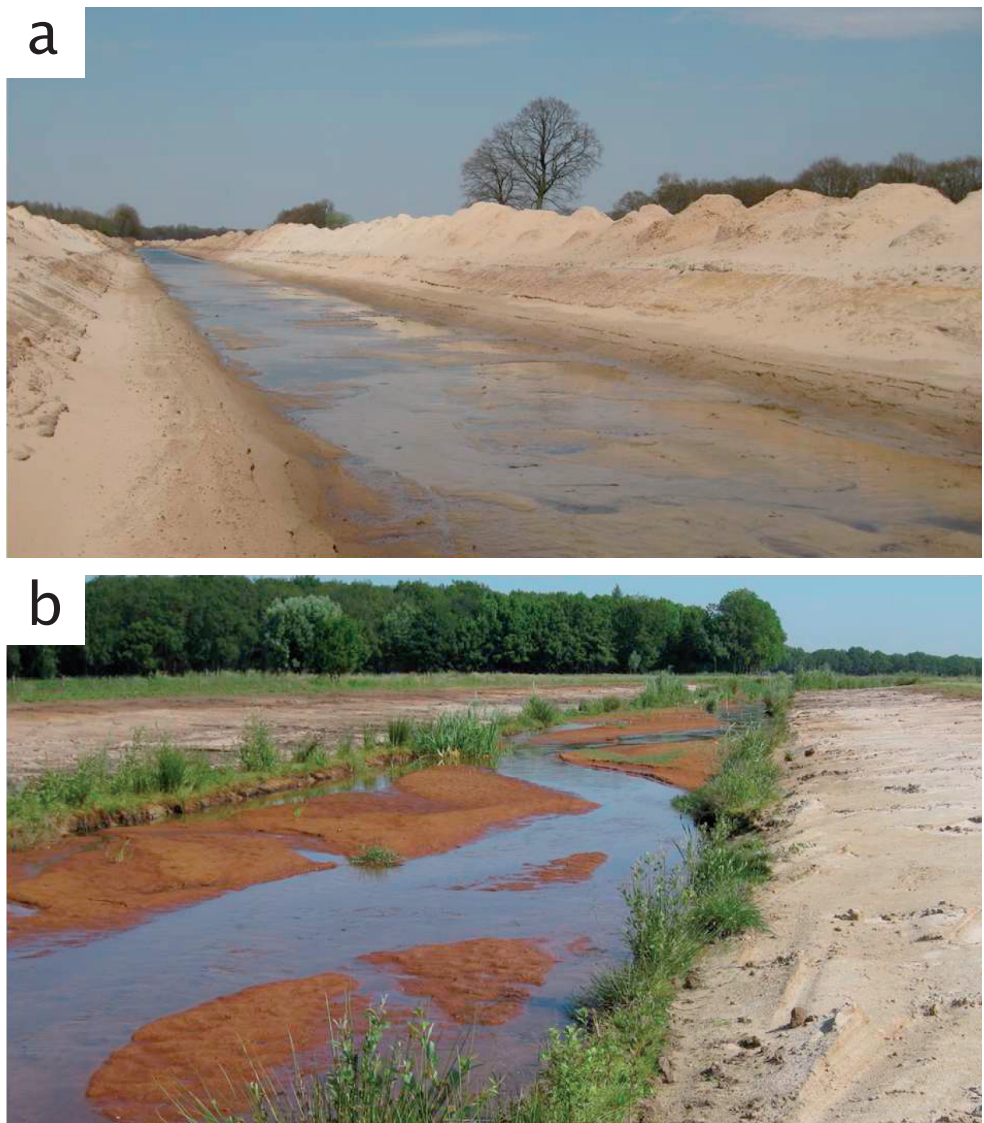
Binnen de waterschappen is behoefte aan meer inzicht in de effectieve maatregelen voor ecologisch beekherstel. Ook vanuit kostenoverwegingen zoeken waterschappen naar alternatieven voor de 'traditionele' maatregelen voor beekherstel. Dit artikel behandelt een alternatieve methode voor beekherstel, waar geprobeerd is om een kronkelende waterloop te laten ontstaan vanuit een initiële rechte beekloop. Waterschap Aa en Maas heeft hoge ecologische doelstellingen voor de Hooge Raam en heeft daarom een deeltraject van de beek op deze alternatieve wijze ingericht. Het project heeft bijgedragen aan het onderzoek naar beekherstel en was in die context ook onderdeel van het project Beekdalbreed Hermeanderen (Verdonschot e.a., 2012).

Een groot deel van de hier gepresenteerde resultaten zijn ook te vinden in Eekhout e.a. (2013). Daarin zijn naast de veldresultaten van het experiment ook twee theoretische modellen uitgewerkt en vergeleken met de veldgegevens. Het onderzoek was onderdeel van een promotieonderzoek van de Wageningen Universiteit. Dit promotieonderzoek had als doel om de morfologische processen van vooral herstellende, Nederlandse laaglandbeken in kaart te brengen, waarbij de meetgegevens waren ontleend aan de Nederlandse beekherstelpraktijk. De resultaten van dit promotieonderzoek zijn te vinden in een proefschrift (Eekhout, 2014) en een onderzoeksrapport (Eekhout en Hoitink, 2014). Het veldexperiment in de Hooge Raam heeft ook inzicht verschaft in de typische initiële morfologische processen na aanleg van een nieuwe waterloop in een laaglandgebied. De focus van dit artikel zal daarom ook gericht zijn op deze morfologische processen en de consequenties voor de beekherstelpraktijk.

Onderzoeksvraag

Alternerende banken zijn bodemvormen die in verband worden gebracht met de initiatie van meandering. Onder specifieke omstandigheden kunnen deze bodemvormen ontstaan. De vorming van alternerende banken hangt af van het bodemverhang, het type sediment en met name de breedte-diepte verhouding van de waterloop. Ten eerste, moet het bodemverhang groot genoeg zijn om voldoende sedimenttransport te kunnen laten plaatsvinden, waarbij dit bodemverhang afhankelijk is van het soort sediment. Ten tweede, laten modellen en laboratoriumexperimenten zien dat alternerende banken alleen ontstaan wanneer de breedte-diepte verhouding rond een relatief hoge, kritische waarde ligt, die weer afhangt van het type sediment en het afvoerregime (Crosato en Mosselman, 2009). Dat de criteria voor het optreden van alternerende banken erg specifiek zijn laat de morfologische ontwikkeling in de Hooge Raam zien.

In de Hooge Raam is een veldexperiment uitgevoerd, dat onderdeel was van een beekherstelproject. Het doel van het veldexperiment was door autogene morfologische processen een kronkelende waterloop te laten ontstaan en daarmee meer inzicht te krijgen in onderliggende processen die belangrijk zijn voor het ecologisch beekherstel. Autogene morfologische processen zijn morfologische processen die uit zichzelf optreden, zonder externe invloeden. Deze processen treden op als gevolg van de wisselwerking tussen de stroomsnelheid en sedimenttransport. Het beekherstelproject in de Hooge Raam wordt gezien als een alternatief voor hermeandering. Het is een goedkoper alternatief, waarbij alleen de oevers van de gekanaliseerde beekloop moeten worden afgegraven, zodat er een brede ondiepe waterloop ontstaat.



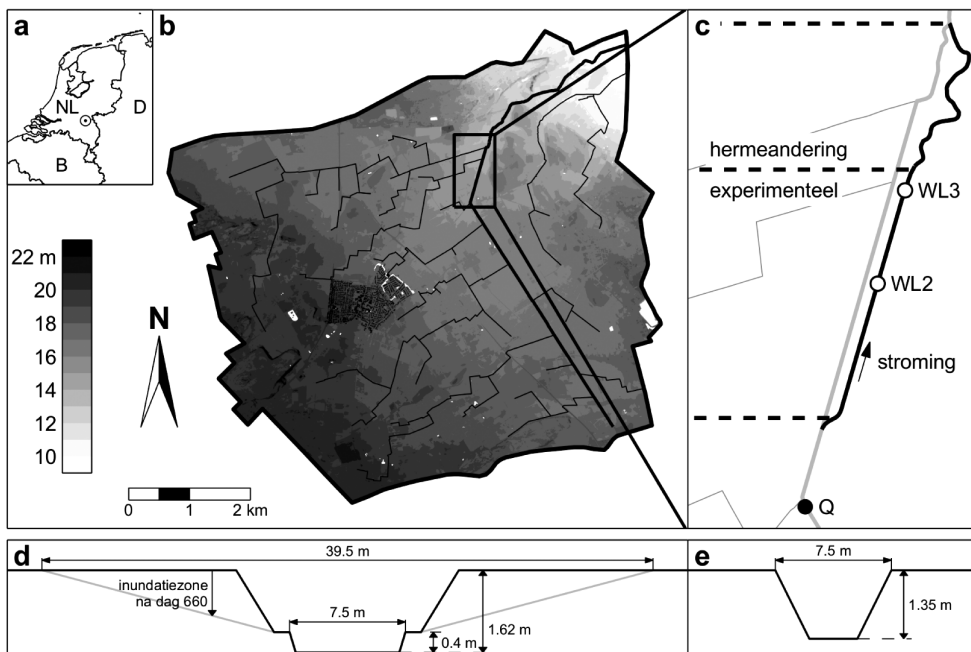
Afbeelding 1: Foto's van het experimentele traject: (a) na aanleg, vóórdat er water door de beek stroomde, (b) 632 dagen na aanleg, waar het alternerende banken patroon en de verflauwing van de oever is te zien.

Studiegebied en meetmethode

De Hooge Raam ontspringt op de oostrand van de Peelhorst, nabij Zeeland (Noord-Brabant), in een voormalig hoogveen/natte-heidegebied. Vandaar stroomt de beek onder relatief groot verhang naar de beek de Graafse Raam, die enkele kilometers benedenstrooms uitmondt in de Maas. In de zomer van 2009 is in de Hooge Raam het beekherstelproject uitgevoerd.

Het ontwerp van dit beekherstelproject wijkt af van de gebruikelijke hermeanderingsprojecten. Over een lengte van ruim 600 meter is een rechte waterloop aangelegd, met een breedte van 7,5 m, een diepte van 0,4 m en een bodemverhang van 1,8 m/km (Afbeelding 1 paneel a). De breedte-diepteverhouding ($7,5/0,4 = 18,75$) is vele malen groter dan de breedte-diepteverhouding van de gekanaliseerde beek ($9/1,5 = 6$; van Gerven, 2006), maar is ook groter dan de breedte-diepteverhouding van de meeste andere herstelde beken. De aangelegde breedte en diepte waren gebaseerd op hydraulische-geometrierelaties: empirische relaties tussen de afvoer en de geuldimensies (breedte en diepte; Church en Road, 1983). Het bodemmateriaal bestaat uit fijn zand, met een mediane korrelgrootte van $218 \mu\text{m}$. Van Gerven (2006) vond in een onderzoek naar de sedimentsamenstelling van de gekanaliseerde beekloop een mediane korrelgrootte van $154 \mu\text{m}$. Het verschil met de nieuwe beekloop wordt voornamelijk veroorzaakt door de grote hoeveelheid slib in de gekanaliseerde beekloop.

Afbeelding 2 geeft een overzicht van het studiegebied. Het projectgebied is opgedeeld

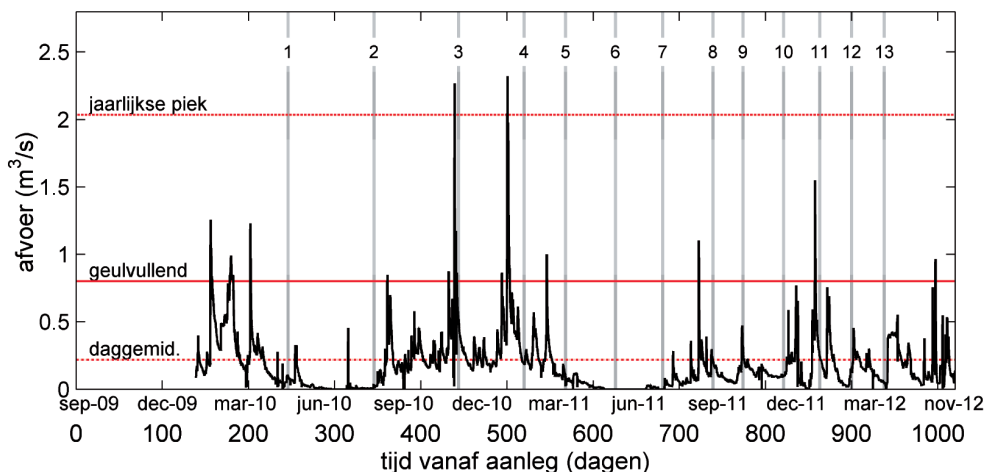


Afbeelding 2: Overzicht van het studiegebied van de Hooge Raam, met (a) de locatie van het onderzoeksgebied in Nederland, (b) het stroomgebied van de Hooge Raam, (c) een overzicht van het onderzoeksgebied, (d) het dwarsprofiel van het experimentele traject (zie ook Afbeelding 1), en (e) het dwarsprofiel van het hermeanderingstraject. Deze afbeelding is gebaseerd op Afbeelding 1 in Eekhout e.a. (2013).

in het bovenstroomse experimentele traject en het benedenstroomse hermeanderings-traject (paneel c). Het experimentele traject heeft een breed en ondiep dwarsprofiel gekregen (paneel d). Na bijna 2 jaar is onder een flauw talud een inundatiezone aangelegd, om meer ecologische en morfologische connectiviteit te krijgen tussen de oever en de beekbodem (Afbeelding 1 paneel b). Het hermeanderingstraject heeft een smal en diep dwarsprofiel gekregen (paneel e). Het grootste deel van het onderzoek heeft zich gericht op het benedenstroomse deel van het experimentele deel, waar acht maanden na aanleg alternerende banken zijn ontstaan.

In het benedenstroomse deel van het experimentele traject is de morfologie met een hoge ruimtelijke en temporele resolutie ingemeten. De morfologie is over een beeklengte van ongeveer 300 meter ingemeten met GPS-apparatuur (Leica GPS 1200+). Met deze apparatuur is het mogelijk om een punt in de ruimte, hoogte (m+NAP) en positie (RD-coördinaten), in te meten met een onnauwkeurigheid van minder dan 2 cm. De morfologie is ingemeten door middel van dwarsraaien, waarbij de afstand tussen de dwarsraaien 2-3 meter bedroeg. Daarnaast is vanaf het moment dat de alternerende banken zijn ontstaan (na acht maanden) een meetfrequentie van 7 keer per jaar aangehouden. In totaal zijn 13 gedetailleerde morfologische metingen verricht. De ingemeten morfologische data zijn geïnterpoleerd op een rekenrooster om de morfodynamiek in detail in beeld te kunnen brengen. Naast de detailmorfodynamiek is ook van elke morfologische meting het bodemverhang van het experimentele traject bepaald.

Afvoeren en waterstanden zijn gemeten bij respectievelijk een meetstuw (Q) en twee peilbuizen (WL2 en WL3), zie paneel c van Afbeelding 2. De afvoertijdserie is te zien in Afbeelding 3, waarin ook de morfologische meetmomenten zijn opgenomen. Deze afbeelding laat zien dat de Hooge Raam een piekerig afvoerregime kent, kenmerkend voor Nederlandse laaglandbeken. Dit betekent een lage (basis-) afvoer in de zomer en incidentele piekafvoeren in de winter. De afvoervariatie kan gekwantificeerd worden door de standaarddeviatie van de afvoer te delen door de gemiddelde jaarlijkse afvoer. Dit levert voor de Hooge Raam een waarde op van 1,20, wat overeenkomt met een sterk piekend en bijna droogvallend afvoerregime (Poff & Ward, 1989). Waterstandsprofielen



Afbeelding 3: Afvoertijdserie en morfologische meetmomenten.

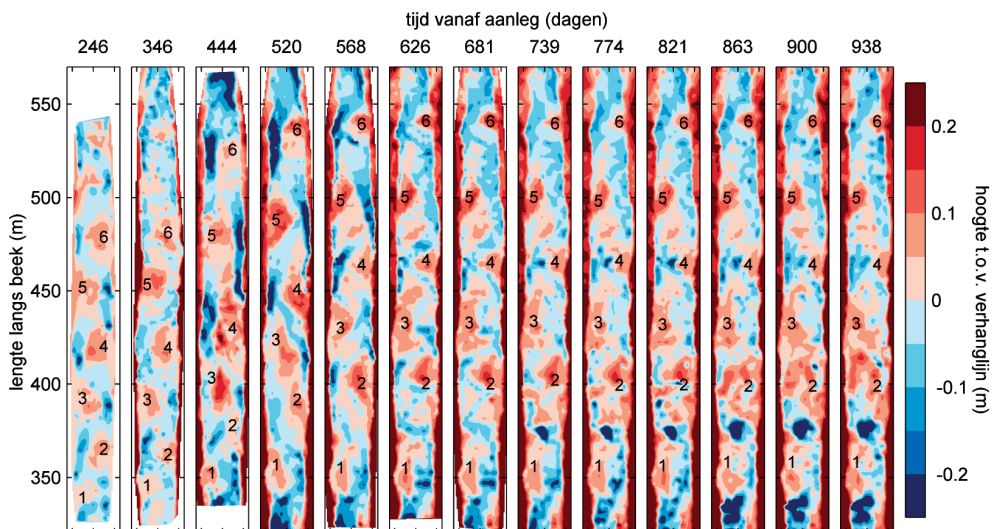
in de langsrichting zijn tijdens de morfologische metingen ingemeten. Tijdens één morfologische meting markeerden opgehoopte takken en ander organisch materiaal de hoogte van de waterstand tijdens een hoge afvoer (de afvoerpiek voor meting 11, ongeveer 1,5 m³/s). Ook dit profiel is in langsrichting ingemeten.

Morfologische ontwikkeling

Acht maanden (dag 246) na aanleg zijn voor het eerst alternerende banken geobserveerd in het experimentele traject (Afbeelding 4). In de afbeelding is te zien dat er weinig verandering plaatsvond tot aan de tweede meting (dag 346). Het patroon is ook goed vanuit te lucht te herkennen (Afbeelding 5). Met name de middelste luchtfoto (dag 352) laat een duidelijk alternerend bankenpatroon zien. In de periode na de tweede meting (dag 346) namen de morfologische veranderingen toe. Bij de vijfde meting (dag 568) is een min of meer kronkelende stroomdraad te zien. Daarnaast geven de donkere rode en blauwe kleuren aan dat de banken in hoogte (bankamplitude) toenamen. Een maximale bankamplitude van 0,38 m is geobserveerd, wat in de buurt komt van de aangelegde diepte. Er is vanaf de tweede meting een toename van de banklengte waargenomen. De banklengte stabiliseerde zich uiteindelijk op een waarde van 76 m.

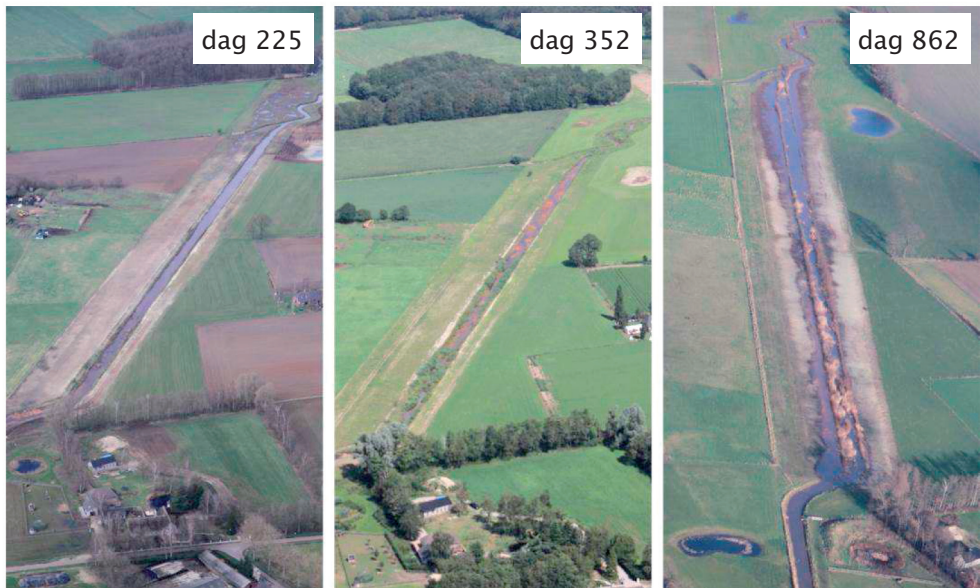
In de periode van dag 346 tot dag 568 zijn de banken in benedenstroomse richting verplaatst. Deze bankmigratie is voor een groot deel te wijten aan een eenzijdig toegenomen banklengte.

In de periode na meting vijf (dag 568) is te zien dat met name in het benedenstroomse deel de donkerblauwe kleuren verdwijnen. Dit is een gevolg van een afname van de



Afbeelding 4: Morfologische ontwikkeling Hoge Raam. De cijfers 1 t/m 6 geven de locaties van de banken tijdens elke meting. De kleuren rood en blauw geven respectievelijk de alternerende banken en de geul eromheen aan. Het water stroomt van beneden naar boven. Deze afbeelding is gebaseerd op afbeelding 6 in Eekhout e.a. (2013).

bankamplitude. Aan de andere kant is te zien dat er een meer complexe morfologie is ontstaan; het kronkelende pad dat de stroomdraad markeert is verdwenen. Er ontstonden in het bovenstroomse deel diepe kuilen. Bij de laatste meting zijn de banken bijna niet meer als zodanig te herkennen, zoals dat wel bij de eerste vijf metingen het geval was.



Afbeelding 5: Luchtfoto's van het experimentele traject van de Hooge Raam. Het water stroomt van beneden naar boven. De foto's zijn genomen op respectievelijk 225 dagen (april 2010), 352 dagen (augustus 2010) en 862 dagen (januari 2012) na aanleg. Deze afbeelding is gebaseerd op afbeelding 3 in Eekhout e.a. (2013).

Afname bodemverhang

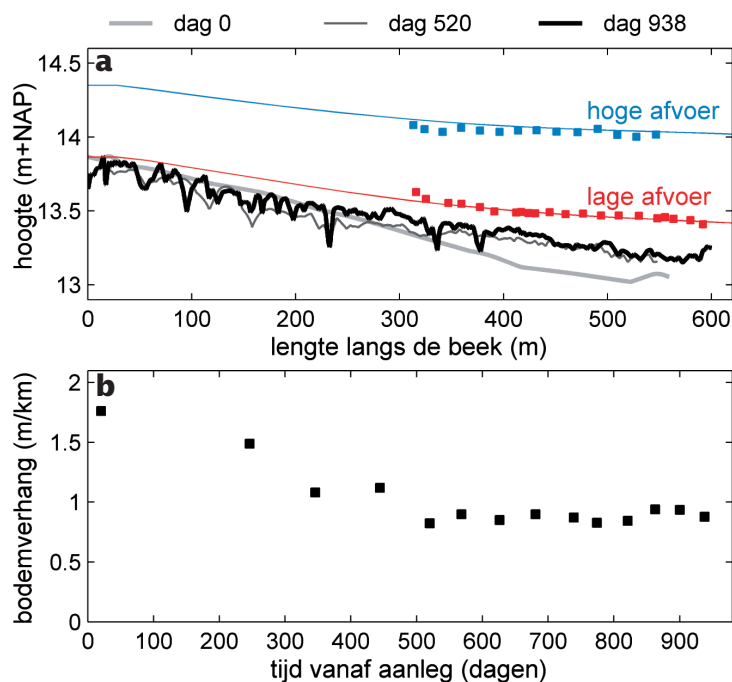
De belangrijkste oorzaak van het verdwijnen van de alternerende banken is te vinden in de ontwikkeling van het bodemverhang. Afbeelding 6 laat de ruimtelijke en temporele veranderingen van het bodemverhang zien. Bij aanleg was het bodemverhang 1,8 m/km. Dit is een hoger bodemverhang dan gebruikelijk voor laaglandbeken, die te typeren zijn met een bodemverhang kleiner dan 1 m/km (van der Molen e.a., 2012). De Hooge Raam is daarom ook geclassificeerd als een heuvellandbeek (R14 KRW-type). In de volgende periode is te zien dat het bodemverhang afneemt. Na 520 dagen is het bodemverhang gehalveerd tot 0,9 m/km. Tot het einde van het experiment (938 dagen) stabiliseert het bodemverhang rond deze waarde.

De afname van het bodemverhang werd veroorzaakt door opstuwung, als gevolg van een benedenstrooms gelegen versmalling. Afbeelding 2 (paneel c) laat zien dat benedenstrooms van het brede experimentele traject een kronkelend, smal hermeanderingstraject is aangelegd. Dit heeft stuweffecten tot gevolg gehad in het bovenstrooms gelegen experimentele traject. In Afbeelding 6 (paneel a) zijn naast het lengteprofiel van de beekbodem ook twee voorbeelden van bodemverhanglijnen van de waterstand te zien, voor respectievelijk een laagwater (rood) en een hoogwater (blauw).

Het paneel laat zowel gemeten als gemodelleerde waterstanden zien. De gemodelleerde waterstanden zijn verkregen met SOBEK-Rural (Deltares, 2011). In de laagwatersituatie is te zien dat het waterstandsverhang in het bovenstroomse deel (tot 400 meter) gelijk is aan het bodemprofiel. Benedenstrooms hiervan (400-600 meter) neemt het waterstandsverhang af. Dit is nog duidelijker zichtbaar in de hoogwatersituatie. Het waterstandsverhang was bijna horizontaal, in vergelijking met het steile bodemverhang. Dit is typisch een geval van opstuwing waarbij de waterdiepte in benedenstroomse richting toeneemt; dit wordt ook wel een M1-curve genoemd. Een M1-curve kan veroorzaakt worden door een benedenstroomse versmalling. Ook de luchtfoto die 862 dagen na aanleg is genomen (Afbeelding 5) geeft een goed beeld van de opstuwing.

De M1-curve leidt tot hogere waterstanden richting de versmalling, wat vervolgens leidt tot lagere stroomsnelheden. Het gevolg hiervan is dat sediment kan worden afgezet, als lokaal de stroomsnelheden te laag worden om sediment te transporteren, zoals in de Hooge Raam het geval is geweest. Uiteindelijk heeft dit na anderhalf jaar tot een halvering van het bodemverhang geleid. In de periode tot het einde van de meetperiode (nogmaals anderhalf jaar) is het bodemverhang nagenoeg gelijk gebleven.

Het onderzoek heeft zich met name gericht op het benedenstroomse deel (vanaf 300 m) van het experimentele traject. Afbeelding 6a laat zien dat het lengteprofiel in het



Afbeelding 6: Ruimtelijke en temporele ontwikkeling van het bodemverhang. In paneel a is in grijs en zwart het lengteprofiel van de beekbodem te zien. De rode en blauwe markers geven gemeten waterstanden aan, de lijnen zijn gemodelleerde waterstanden. In paneel b is met zwarte markers aangegeven hoe het verhang in het benedenstroomse deel van het experimentele traject veranderd in de tijd. Deze afbeelding is gebaseerd op afbeelding 9 in Eekhout e.a. (2013).

benedenstroomse deel verschilt van het bovenstroomse deel. In tegenstelling tot het benedenstroomse deel zijn in het bovenstroomse deel diepe ($> 0,4$ m) kuilen ontstaan. De middelste foto van Afbeelding 5 (dag 352) laat zien dat in dit deel van de beek op grote schaal vegetatie is ontwikkeld. Het is aannemelijk dat deze vegetatie-ontwikkeling een grote invloed heeft gehad op de morfologische processen in het bovenstroomse deel van de beek.

Conclusies

In de Hooge Raam is een uniek veldexperiment uitgevoerd, waar een nieuw aangelegde rechte beekloop een eigen weg mocht kiezen vanuit een brede, ondiepe uitgangssituatie. Dit onderzoek is van belang om de waterschappen te ondersteunen bij het ontwerp van beekherstelmaatregelen. Ongeveer 8 maanden na aanleg zijn alternerende banken ontstaan, dit zijn bodemvormen die verband houden met de initiatie van meandering. In de initiële periode namen de banklengte en bankamplitude toe, tot maximale waarden van respectievelijk 76 en 0,4 m. In de daaropvolgende periode is de banklengte gestabiliseerd, maar nam de bankamplitude af. Ook is bankmigratie geobserveerd, die voor een groot deel is toe te schrijven aan de toename van de banklengte.

De temporele dynamiek van de alternerende banken liep parallel aan het verloop van het bodemverhang. De alternerende banken ontstonden onder atypische laaglandbeekcondities (bodemverhang > 1 m/km). Toen het bodemverhang afnam tot ongeveer 0,9 m/km, nam de bankamplitude af en verdween het regelmatige bankenpatroon. Het afnemen van het bodemverhang en stuweffecten hebben ervoor gezorgd dat de waterstanden zijn gestegen. De stuweffecten werden veroorzaakt door een benedenstrooms gelegen versmalling van het dwarsprofiel. De gestegen waterstanden hadden tot gevolg dat de breedte-diepteverhouding afnam, een belangrijke parameter voor het ontstaan en in stand houden van alternerende banken.

Ook het type sediment speelt een belangrijke rol in de vorming van alternerende banken. Het type sediment in de Hooge Raam (fijn zand, met een mediane korrelgrootte van $218 \mu\text{m}$) is typisch voor laaglandbeken. Het uiteindelijke bodemverhang ligt tegen de bovengrens van bodemverhangen die regelmatig voorkomen in laaglandbeken. Hieruit valt op te maken dat het niet waarschijnlijk is dat alternerende banken in laaglandbeken zullen ontstaan. Het is daarom onwaarschijnlijk dat autogene processen, die ten grondslag liggen aan alternerende banken, tot kronkelende laaglandbeken zullen leiden. Het is waarschijnlijker dat invloeden van buitenaf, zoals onregelmatigheden in de terrein-topografie, lokale kwel en variatie in de ondergrond voor de initiatie van meandering in laaglandbeken heeft gezorgd. Eerder onderzoek heeft laten zien dat de processen die tot een kronkelend bovenaanzicht leiden tientallen jaren in beslag nemen (Eekhout e.a., 2013a). Hermeandering lijkt daarom nog steeds de meest effectieve methode om de ruimtelijke stromingsvariatie in Nederlandse laaglandbeken terug te brengen.

De snelheid waarmee het bodemverhang halveerde vertelt iets over de morfologische aanpassingsperiode na aanleg van een beekherstelproject. De aanpassingsperiode van een gegraven waterloop houdt verband met het zoeken naar een nieuw morfologisch evenwicht. In dit geval stabiliseerde het bodemverhang na anderhalf jaar. In een ander

beekherstelproject dat onderdeel was van dit promotieonderzoek (Lunterse beek; Eekhout e.a., 2014) heeft zich binnen een half jaar een nieuw morfologisch evenwicht ingesteld. Deze projecten laten zien dat waterbeheerders in Nederland rekening moeten houden met een morfologische aanpassingsperiode van een half tot anderhalf jaar. In de daaropvolgende periode lijkt de beekbodem zich lokaal te stabiliseren en voltrekken morfologische veranderingen op de schaal van herstelde beektrajecten zich zeer langzaam. Dit wil niet zeggen dat er na deze periode geen morfologische veranderingen meer kunnen plaatsvinden. Het wordt daarom aangeraden om de morfologische ontwikkelingen na aanleg van een beekherstelproject te blijven monitoren.

Aanbevelingen voor de praktijk

Wat valt er uit deze wetenschappelijke kennis nu te leren voor de praktijk van beekherstel? Morfologische veranderingen op de schaal van herstelde beektrajecten veranderingen concentreren zich met name in de initiële periode na aanleg, waarna de beekbodem stabiliseert. In de beekherstelwereld wordt nog wel eens uitgelegd dat de meandering is gestopt als de beekbodem is gestabiliseerd. Dit wordt vaak uitgelegd als een negatieve ontwikkeling. Aangezien beekecologie vooral gebaat is bij (micro-) morfologie op de beekbodem en voldoende zuurstof in het water, dient de focus meer te liggen op het herstel van de permanente stroming in beken. Dan zorgt sedimenttransport voor voldoende microvariatie in de beekbodem én is er altijd voldoende zuurstof in het water voor typische beekfauna. Bij het ontwerp is het belangrijk te streven naar een grote breedte-diepteverhouding en een natuurlijk afvoerpatroon, terwijl het volgen van het historische bovenaanzicht meer een bijzaak is. Meanders kunnen overigens wel een grote landschappelijke waarde hebben en kunnen bijdragen aan een toename van de ruimtelijke stromingsvariatie.

Een andere factor waar de waterschappen rekening mee moeten houden is dat grote morfologische veranderingen met name in de eerst maanden tot anderhalf jaar na aanleg plaats kunnen vinden. Dit wordt de initiële morfologische aanpassingsperiode genoemd en speelt zich met name in het lengteprofiel af. Hier kun je op diverse manieren rekening mee houden. Dan houdt in dat in de ontwerpfase in kaart gebracht moet worden waar constructies (zoals bruggen en stuwen) zich bevinden. Constructies kunnen lokaal voor een vernauwing van het dwarsprofiel zorgen en beïnvloeden op die manier de stroming én de morfologische ontwikkeling. Ook kunnen bovenstrooms gelegen stuwen ervoor zorgen dat er geen bovenstroomse sedimentinput is. Dit kan met name bovenstrooms in de herstelde beek voor erosie van de beekbodem zorgen. Aanwezige grindbanken of veenpakketten kunnen ook voor grote variatie in morfologische respons leiden. Al deze factoren zouden beter in het ontwerp meegenomen moeten worden. Kortom, een goede gebiedsanalyse voorafgaand aan een herstelproject is onontbeerlijk. Hierin dient dan meer dan nu aandacht te zijn voor morfologisch bepalende zaken als heterogeniteit ondergrond (bodemtype) en constructies als stuwen en bruggen.

Disclaimer: Dit artikel is grotendeels gebaseerd op Eekhout e.a. (2013).

Literatuur

Church, M.A. en Road K. (1983) Catalogue of alluvial river channel regime data; Department of Geography, University of British Columbia, Vancouver, B.C., Canada

Council of the European Communities (2000) Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy; *Official Journal of the European Communities*, vol L327, pag 1-73

Crosato, A. en Mosselman, E. (2009) Simple physics-based predictor for the number of river bars and the transition between meandering and braiding; *Water Resources Research*, vol 45, pag W03424

Deltares (2011) SOBEK 2.12 User Manual; Deltares, Delft

Eekhout, J.P.C., Hoitink, A.J.F. en Mosselman, E. (2013) Alternate bar development in a straight sand-bed stream under a declining channel slope; in: *Water Resources Research*, vol 49, pag 8357-8369

Eekhout, J.P.C., Hoitink, A.J.F., Makaske, B. en Talsma, M. (2013a) Het Geldernsch-Nierskanaal: hoe een recht kanaal gaat meanderen als gevolg van kwel; *H2O (online)*

Eekhout, J.P.C. (2014) Morphological Processes of Lowland Streams - Implications for Stream Restoration; Proefschrift, Wageningen Universiteit, Wageningen. 178 pp

Eekhout, J.P.C. en Hoitink, A.J.F. (2014) Morfodynamiek van Nederlandse laagland-beken; STOWA rapport, Amersfoort

Eekhout, J.P.C., Hoitink, A.J.F., Huising, C. en Talsma, M. (2014) Aanpassing van de morfologie na beekherstel: Casestudie Lunterse beek; *H2O (online)*

Gerven, L. van (2006) Rapportage Geomorfologische Analyse Hooge Raam; Afstudeerscriptie Wageningen Universiteit

Molen, D.T. van der, Pot, R., Evers, C.H.M. en Nieuwerburgh, L.L.J. van (2012) Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water 2015-2021; STOWA rapport 2012-31, Amersfoort

Poff, N.L. en Ward, J.V. (1989) Implications of Streamflow Variability and Predictability for Lotic Community Structure: A Regional Analysis of Streamflow Patterns; *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol 46, pag 1805-1818

Verdonschot, P.F.M., Besse, A.A., Brouwer, J.H.F. de, Eekhout, J.P.C. en Fraaije, R. (2012) Beekdalbreed Hermeanderen: bouwstenen voor de 'leidraad voor innovatief beek- en beekdalherstel'; STOWA 2012-36, Amersfoort

