

Morfologische aanpassing na beekherstel – casestudie Lunterse Beek

Joris Eekhout en Ton Hoitink (Wageningen Universiteit), Christian Huising (waterschap Vallei & Veluwe), Michelle Talsma (STOWA)

Over een periode van anderhalf jaar zijn morfologische, hydrologische en ecologische ontwikkelingen gemonitord na realisatie van een herstelproject in de Lunterse Beek. Tijdens een initiële vegetatieloze periode was de morfodynamiek groot, met een bochtafsnijding, oevererosie en oeveraangroei. Deze processen zijn gerelateerd aan de aanpassing van het lengteprofiel, dat sedimenttoevoer tot gevolg had. Vervolgens heeft vegetatie zich in de inundatiezone ontwikkeld. De morfodynamiek nam in deze periode af. De morfologische veranderingen speelden zich met name nog op de beekbodem af. De metingen laten zien dat de beekbodem stabiliseert na een initiële morfologische aanpassingsperiode van ongeveer acht maanden.

In het rapport 'Morfodynamiek van Nederlandse Laaglandbeken' [1] zijn de onderzoeksresultaten gepresenteerd van een promotieonderzoek binnen de Wageningen Universiteit. Een groot deel van dit rapport is gebaseerd op veldgegevens uit een aantal beekherstelprojecten. Eén van de belangrijkste conclusies van het rapport is dat de morfologische processen zich concentreren in het eerste jaar na aanleg van herstelde laaglandbeken. Het beekherstelproject in de Lunterse Beek is een casestudie waarin deze initiële morfodynamiek helder in beeld is gebracht.

Onderzoeksvraag

Al ruim 25 jaar zijn veel projecten in het Nederlandse waterbeheer gericht op herstel van de kronkelende loop van veel laaglandbeken. Tot voor kort was weinig bekend over de morfodynamiek kort na aanleg van dit soort projecten, buiten het gegeven dat er een initiële aanpassingsperiode is. De onderzoeksvraag is hoe lang deze aanpassingsperiode duurt en welke processen hier invloed op hebben. In de Lunterse Beek is over een periode van anderhalf jaar – van oktober 2011 tot april 2013 – onderzoek gedaan naar initiële aanpassingsprocessen. In dit artikel worden de resultaten in beeld gebracht. Het grootste deel van het gepresenteerde materiaal is gebaseerd op [2] en [3].

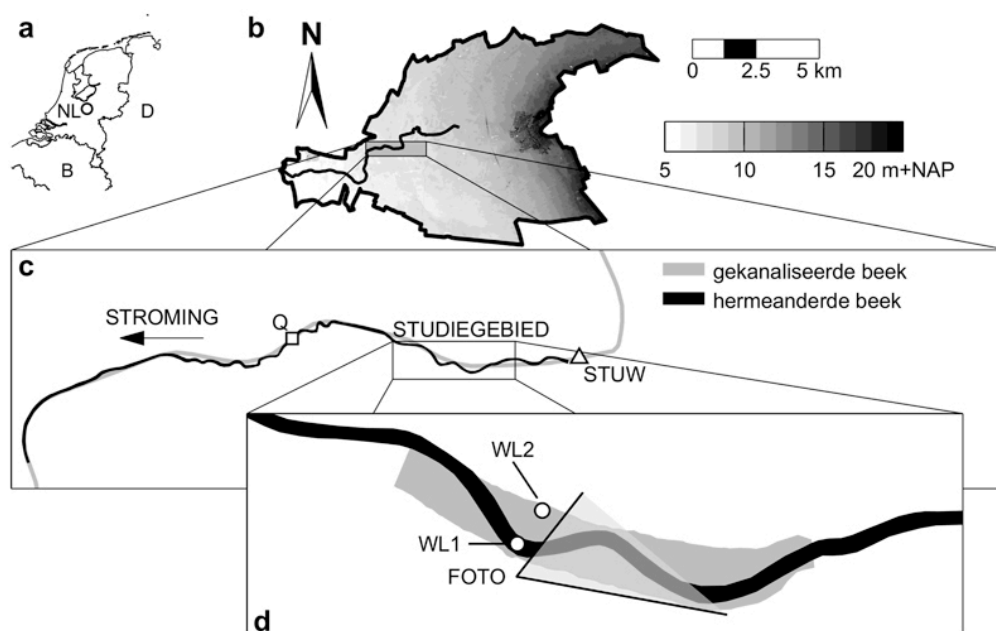
Studiegebied

In 2008 is gestart met het opzetten van het beekherstelproject in de Lunterse Beek nabij Renswoude. Eén van de eerste activiteiten was het opstellen van een toetsingskader. Wensen en eisen vanuit eerder opgestelde inrichtingsbeelden zijn vertaald naar variabelen waarop het ontwerp uiteindelijk is getoetst. Er waren verschillende soorten eisen, waaronder ook de morfologische eis dat de beek binnen de projectgrenzen moest blijven. Verder is geprobeerd bij het historische bovenaanzicht van de Lunterse Beek in 1930 aan te sluiten. Er is onderzocht of de historische meandering in balans was met de huidige afvoerdynamiek en sediment-

samenstelling. Er is daarbij gekeken naar het sedimenttransport bij verschillende afvoerniveaus.

De toetsing van het ontwerp is in 2009 uitgevoerd door HKV [4]. Uit deze toetsing bleek dat de stroomsnelheden van het ontwerp aan de hoge kant waren. Bij een afvoer van 25%-Q (25% van de maatgevende afvoer, die 80 dagen/jaar wordt overschreden) waren de stroomsnelheden al hoog genoeg om sediment te transporteren. Er is geen uitgebreide morfologische modellering uitgevoerd, maar op basis van *expert judgement* werd ingeschat dat erosie en meanderverplaatsing zou kunnen optreden. Het ontwerp is hierop echter niet aangepast. Besloten is om de beek zelf de vrijheid te geven om zijn eigen evenwichtsprofiel te creëren.

In het najaar van 2011 is de uitvoering gestart. Over een lengte van 1,6 km is de gekanaliseerde beek gedempt en is een nieuwe kronkelende waterloop aangelegd met een breedte en diepte van respectievelijk 6,0 en 0,4 m. Naast de nieuwe waterloop is een verlaagd winterbed aangelegd, om tijdens hoge afvoeren voldoende afvoercapaciteit te hebben. Het graven van de nieuwe beekloop is zonder problemen verlopen. Tijdens de uitvoer bleek dat in een deel van het traject de inundatiezone te laag was ontworpen, wat zou kunnen leiden tot bijna permanente inundatie. In een vervolgstadium van de uitvoering is daarom besloten deze inundatievlaktes 10-15 cm hoger aan te leggen, zodat bij lage en gemiddelde afvoeren er geen inundatie op zou treden. Dit deel van de nieuwe beekloop (benedenstrooms van de gestreken stuw Barneveldsestraat) ligt buiten het studiegebied waar dit artikel zich op richt.



Afbeelding 1 Overzicht van het studiegebied, met (a) de locatie van het studiegebied in Nederland, (b) het stroomgebied van de Lunterse Beek, (c) een overzicht van het beekherstelproject, met de locatie van de stuw en het afvoermeeptpunt (Q), en (d) het studiegebied

In Paneel d is met de grijze kleur aangegeven waar de morfologische metingen zijn uitgevoerd, WL1 en WL2 geven de locaties van het waterstandsmeetpunt (na 288 dagen verplaatst van WL1 naar WL2) en de locatie waar de foto's zijn gemaakt. Bron: [2]

Een deel van de nieuwe beekloop is aangewezen als studiegebied om de initiële morfologische respons over een periode van ruim anderhalf jaar te monitoren (afbeelding 1). Over een lengte van 180 meter zijn met behulp van GPS-apparatuur morfologische metingen verricht. Deze morfologische metingen waren gericht op detailveranderingen van de morfologie; daarom is met een hoge ruimtelijke en temporele resolutie gemeten. Op basis van foto's is de ontwikkeling van de vegetatie gemonitord. Daarnaast zijn continue waterstands- en afvoermetingen gedaan en zijn sedimentmonsters genomen en geanalyseerd.

Morfologische ontwikkeling

De morfologie is bij elke meting met een hoge ruimtelijke resolutie ingemeten. De afstand tussen de dwarsraaien bedroeg 1.7-4.5 m. Daarnaast hebben de metingen zich gericht op het zomerbed én de inundatiezone. Vanwege deze hoge ruimtelijke resolutie was het mogelijk om de ingewonnen data te interpoleren op een rekengrid. Het beoordelen van de morfologische ontwikkeling kan hierdoor plaatsvinden op basis van bovenaanzichten, in plaats van lengte- en dwarsprofielen, zoals gebruikelijk.

Afbeelding 3 laat de bovenaanzichten van alle metingen zien. De eerste meting illustreert dat de beek bij aanleg een kronkelend karakter had. Bij de eerstvolgende meting (dag 93) hebben er veel morfologische veranderingen plaatsgevonden. Deze morfologische veranderingen hebben met name in het benedenstroomse deel van het studiegebied plaatsgevonden. Er is te zien dat een rivierbank is afgezet en dat de beek een nieuwe loop heeft gevonden in de inundatiezone. Vervolgens (van dag 133 tot 231) is de nieuwe loop dieper in de inundatiezone ingesneden en heeft sedimentatie plaatsgevonden in de oorspronkelijk aangelegde loop. Deze processen kunnen samengevat worden als een bochtafsnijding (in het Engels: chute cutoff). In het kader: '*Bochtafsnijding*' (zie hieronder) is een gedetailleerde beschrijving gegeven van de processen die tot de bochtafsnijding hebben geleid. Een bochtafsnijding mag gerekend worden tot een exceptionele morfologische aanpassing, die weinig in laaglandbeken voorkomt. In de periode vanaf dag 231 blijven grootschalige morfologische veranderingen uit en blijkt de beek overwegend stabiel.

Bochtafsnijding

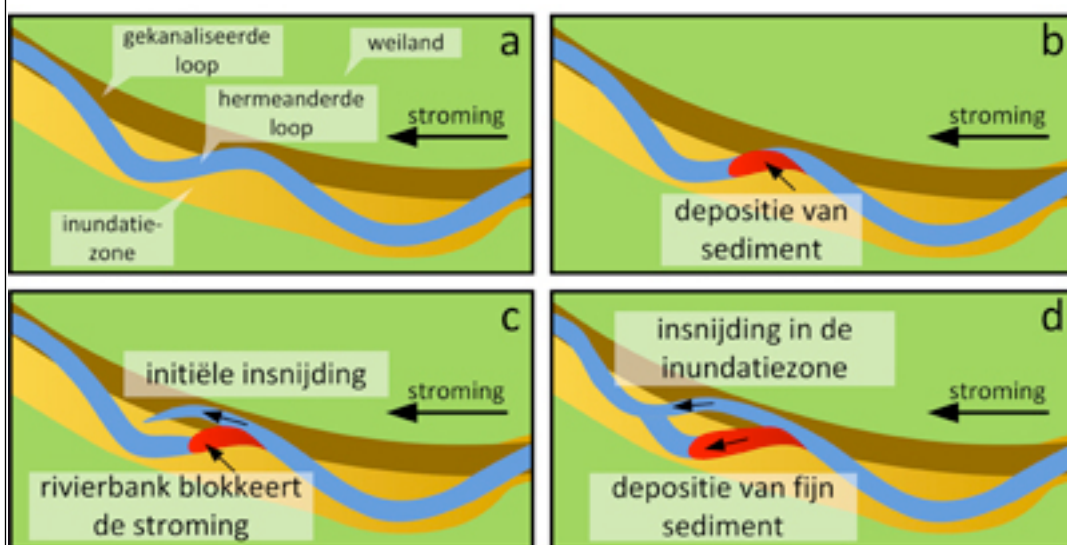
In de eerste drie maanden na aanleg van het beekherstelproject heeft zich een bochtafsnijding voorgedaan. Een bochtafsnijding is een morfologisch fenomeen dat niet vaak in laaglandbeken voorkomt. Er zijn specifieke omstandigheden nodig om een bochtafsnijding plaats te kunnen laten vinden, zoals een stroming die tegen een oever gericht is. In de Lunterse Beek is onderzoek naar gedaan naar de omstandigheden die tot de bochtafsnijding hebben geleid.

Afbeelding 2 laat de chronologie van de processen zien die tot de bochtafsnijding hebben geleid. In paneel a is de uitgangssituatie geschetst. Er is een kronkelende waterloop aangelegd, in een verlaagd winterbed / verlaagde inundatiezone. Aan de noordkant van de aangelegde beek lag de oude gekanaliseerde loop, die na de graafwerkzaamheden is gedempt met sediment dat vrijkwam uit het beekherstelproject.

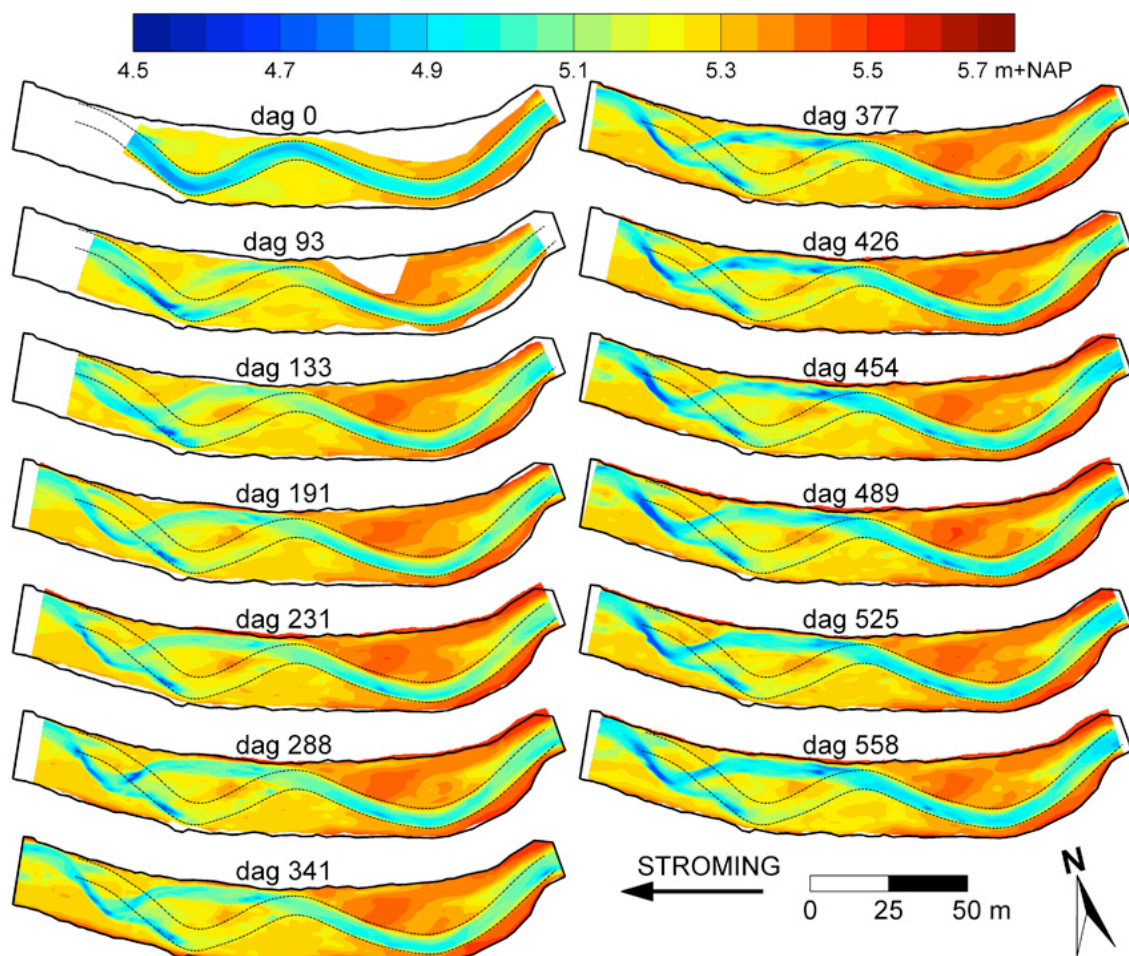
In paneel b is te zien dat in eerste instantie sediment is afgezet in een bocht, in de vorm van een rivierbank die voor verstopping zorgt. Dit sediment is afgezet als gevolg van benedenstroomse stuweffecten. Benedenstrooms van het studiegebied wordt de breedte van de inundatiezone versmald in verband met een brug. Met behulp van een 3D-stromingsmodel (Delft3D) is berekend dat bij bepaalde afvoeren ($0,4-0,9 \text{ m}^3/\text{s}$) de stromingscondities ervoor zorgen dat sediment wordt afgezet op de plek waar de rivierbank is ontstaan. Deze afvoeren zijn 24% van de tijd voorafgaand aan de bochtafsnijding opgetreden. De stuweffecten zijn verantwoordelijk voor het afzetten van het sediment.

Vervolgens (paneel c) zorgt de rivierbank ervoor dat bij inundatie (afvoer $> 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$) de stroming een andere kant op wordt gestuurd. Er vindt initiële insnijding plaats op een plek waar de gekanaliseerde loop was gesitueerd. De gekanaliseerde loop is na de graafwerkzaamheden gedempt met sediment. Over het algemeen is de pakking van zo'n gedempte waterloop minder dicht dan van de rest van de inundatiezone. Deze is daarom meer vatbaar voor erosie, wat de locatie van de bochtafsnijding verklaard.

Uiteindelijk (paneel d) vindt er verdere insnijding in de inundatiezone plaats en stroomt het water het grootste deel van de tijd door de nieuwe waterloop. Ook wordt de nieuwe waterloop snel breder en begint de nieuwe bocht zich in benedenstroomse richting te verplaatsen. De afgesneden bocht vult snel op met sediment. Sedimentkernen laten zien dat er een verschil is tussen de initiële en de latere afzettingen. Het sediment dat initieel is afgezet heeft een hogere mediane korrelgrootte dan het sediment dat later is afgezet. Dit is toe te schrijven aan variatie in afvoercondities die tot de afzetting van de rivierbank hebben geleid. De afsnijding vond plaats onder hoge afvoercondities, waarbij grover sediment in beweging kan komen. In de daaropvolgende periode, bij lagere afvoeren, is juist fijn sediment afgezet.



Afbeelding 2 Chronologie van de bochtafsnijding Bron: [3]

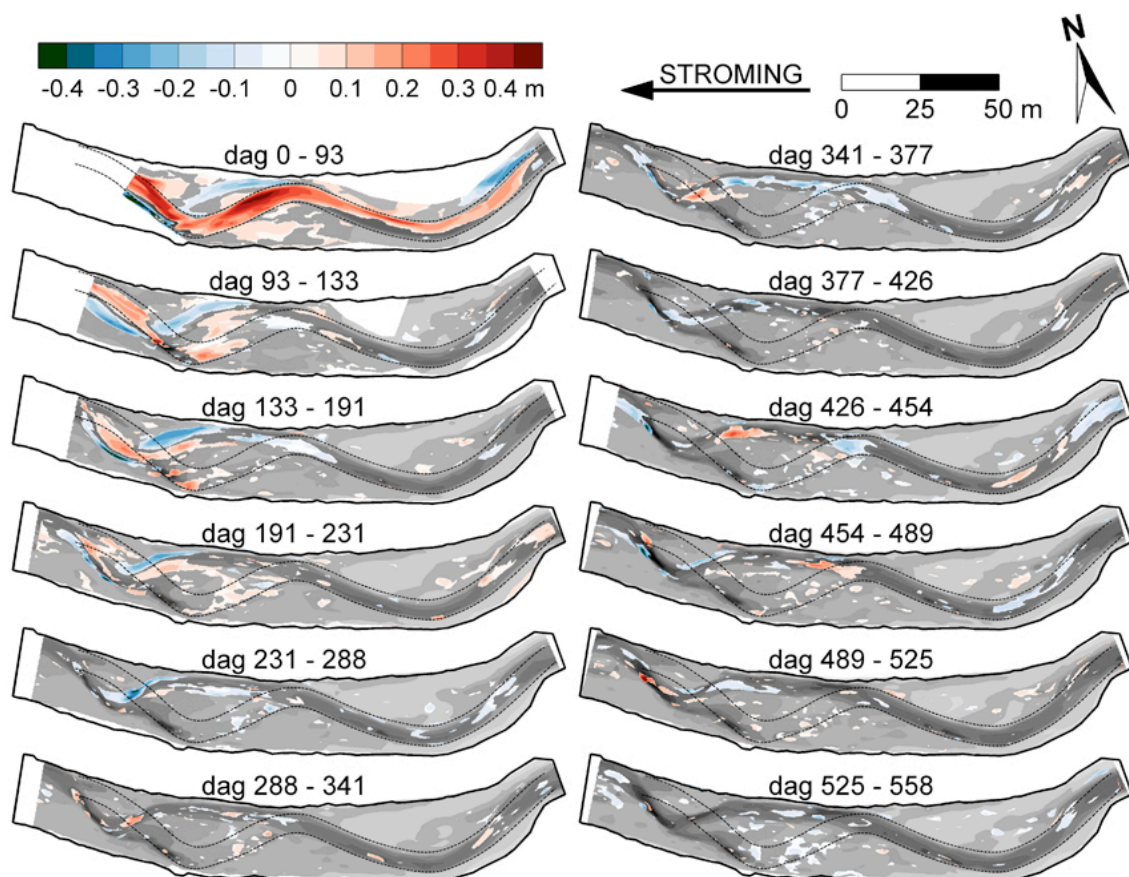


Afbeelding 3 Bovenaanzichten van de 13 morfologische metingen, met de hoogte in m+NAP

Op basis van afbeelding 3 kunnen alleen grootschalige veranderingen worden onderscheiden

Kleinschalige veranderingen zijn te onderscheiden op basis van het verschil tussen de hoogtemodellen van opeenvolgende metingen. Bron: [2]

Afbeelding 4 laat de morfologische veranderingen tussen elke meting zien, waarbij de rode en blauwe zones respectievelijk aangeven waar sedimentatie en erosie is opgetreden. In de periode van dag 0 tot dag 133 is een groot deel van de veranderingen toe te schrijven aan de aanzanding van de afgesneden bocht en insnijding van de nieuwe waterloop in de inundatiezone. Vervolgens krijgen oever- en beekbodemp processen de overhand van dag 93 tot 288. In de periode vanaf dag 288 spelen de morfologische processen zich met name op de beekbodem af, het bovenaanzicht verandert nauwelijks meer.



Afbeelding 4 Morfologische veranderingen tussen alle opeenvolgende morfologische metingen

De blauwe en rode zones geven aan waar erosie, respectievelijk sedimentatie, is opgetreden. Bron: [2]

Vegetatieontwikkeling

Tijdens de morfologische metingen zijn foto's van het studiegebied gemaakt. In afbeelding 1 is aangegeven op welke locatie deze foto's zijn gemaakt. Afbeelding 5 laat door middel van een opeenvolging van foto's zien waar en wanneer vegetatie in dit deel van het studiegebied is ontstaan. Op de eerste drie foto's (dag 0, 95 en 161) is geen vegetatie waar te nemen. Op dag 231 is te zien dat vegetatie zich ontwikkelt in de inundatiezone. Een sterke toename van biomassa is te zien vanaf dag 231 t/m dag 341. In de daaropvolgende periode is een afname van de biomassa te zien.

In een parallelle studie naar de ontwikkeling van vegetatie na aanleg van het beekherstelproject zijn twee maal vegetatieopnames gemaakt, namelijk in september 2012 en juli 2013. Langs drie dwarsprofielen zijn in vijf plotjes (25 x 50 cm) in de beek en de inundatiezone schattingen gemaakt van de meest dominante soorten. Deze soorten waren: zomprus (*Juncus articulatus*), greppelrus (*Juncus bufonius*), pitrus (*Juncus effusus*) en witte klaver (*Trifolium repens*). Deze vijf soorten hebben een aantal overeenkomstige karakteristieken. De groeiperiode is van juni t/m september, dit verklaart de maximum biomassa na 341 dagen (september 2012). Daarnaast zijn het meerjarige (overblijvende) soorten. Ook dit is zichtbaar in afbeelding 5, aan het eind van de studieperiode, voordat het groeiseizoen begon, was er nog steeds vegetatie aanwezig in de inundatiezone.



Afbeelding 5 Twaalf opeenvolgende foto's van de vegetatieontwikkeling de Lunterse Beek

De foto's zijn gemaakt vanaf de locatie aan de zuidkant van het studiegebied (afbeelding 1), behalve de foto van dag 161, deze is gemaakt vanaf de noordkant. Bron: [2]

Regime verandering van de beekmorfodynamiek

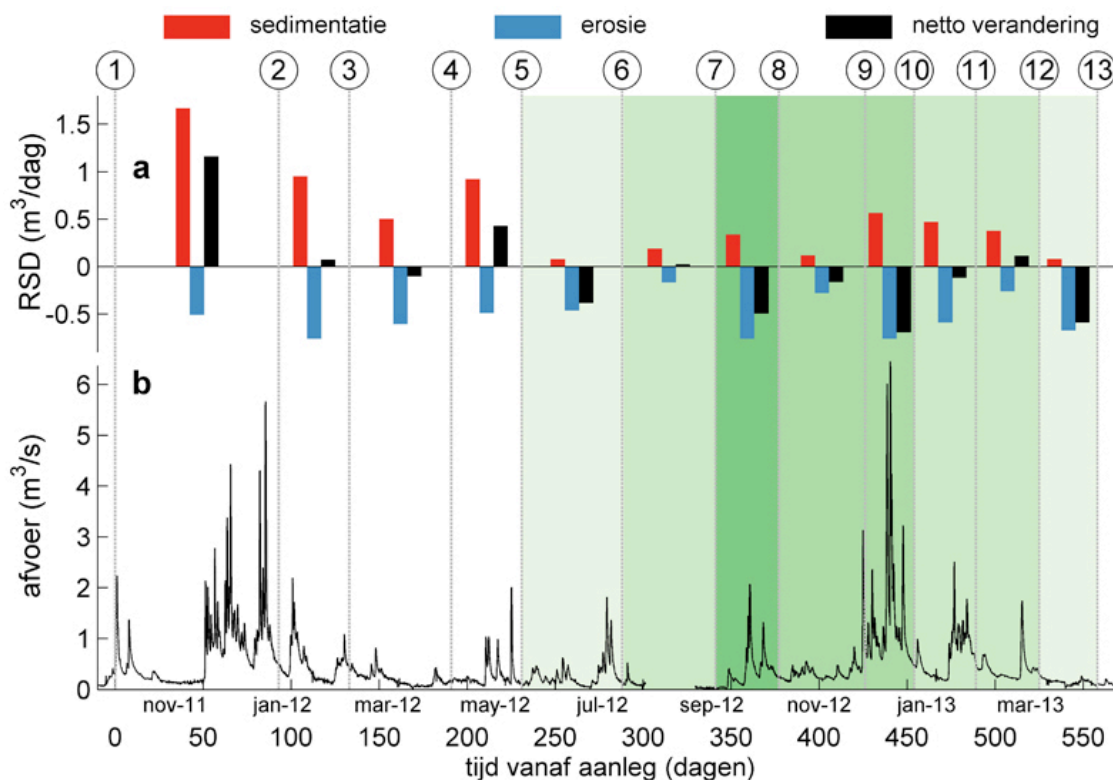
Uit afbeelding 4 is op te maken dat er twee periodes zijn te onderscheiden in morfologische ontwikkeling. In de eerste periode (dag 0 tot dag 231) zijn de morfologische veranderingen het grootst. In de daarop volgende periode (dag 231 tot dag 558) is er een duidelijk lagere morfodynamiek waar te nemen. Op basis van de foto's in afbeelding 5 zijn ook twee periodes te onderscheiden: een periode zonder vegetatie, (dag 0 tot dag 231) en een periode met vegetatie (dag 231 tot dag 558). Deze observaties zijn samengevat in afbeelding 6, waarin ook de afvoer tijdens de meetperiode is opgenomen. De achtergrond van de afbeelding geeft met groene kleuren een interpretatie van de vegetatie (de biomassa), op basis van de foto's van afbeelding 5.

Paneel a van afbeelding 6 laat de sedimentbalans per meetperiode zien, gespecificeerd voor sedimentatie, erosie en het verschil. De sedimentbalans is bepaald op basis van afbeelding 4, door de totale hoeveelheid sedimentatie en erosie te sommeren en te delen door de tijd tussen twee opeenvolgende metingen, zie kader: '*Sedimentbalans*'. De initiële periode kenmerkt zich door een groot aandeel aan sedimentatie, wat tot een positieve sedimentbalans heeft geleid. In deze periode was de toevoer van sediment vanaf bovenstrooms groter dan de uitvoer richting benedenstrooms. In de daaropvolgende periode nam de toevoer vanaf bovenstrooms af, terwijl de erosie vergelijkbaar bleef. Dit heeft tot een negatieve sedimentbalans geleid.

Tijdens een aantal metingen zijn bovenstrooms van het onderzoeksgebied ook morfologische metingen gedaan. Op basis hiervan is het lengteprofiel van de beek bepaald. Afbeelding 7 laat

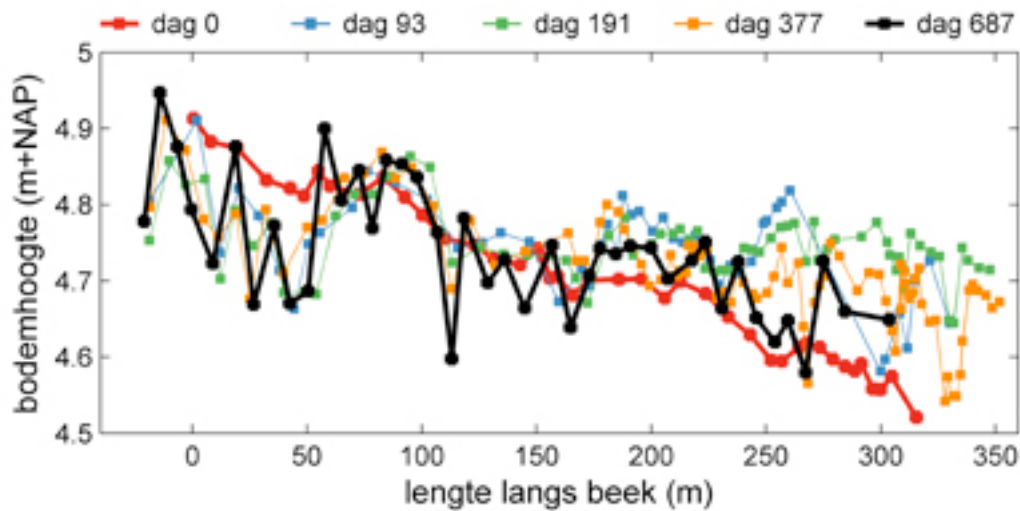
zien dat in het bovenstroomse deel van de beek met name in het eerste jaar insnijding heeft plaatsgevonden. Vervolgens is het lengteprofiel gestabiliseerd. Dit verklaart voor een groot deel de afname van sediment, zoals uit afbeelding 6 blijkt. De bovenstroomse insnijding is voor een groot deel te wijten aan het ontbreken van sedimenttransport voorbij een gehandhaafde stuw, bovenstrooms van de herstelde beek. Dit komt vaker voor in laaglandbeken en kan aangeduid worden als het ontbreken aan longitudinale connectiviteit [1].

Op basis van deze metingen kan niet vastgesteld worden of en hoe de vegetatie een rol heeft gespeeld in de morfologische respons. De vegetatie die zich op de oever heeft gevestigd was met name kruidige vegetatie. Dit soort kruidige vegetatie is in staat om bij te dragen aan de stabiliteit van beekoevers, met wortels langer dan 20 cm. In deze casestudie is het waarschijnlijk dat de vegetatie in het eerste jaar nog onvoldoende volwassen was om aan de oeverstabiliteit bij te dragen. Vervolgonderzoek is nodig om te vast te stellen in hoeverre kruidige vegetatie invloed kan hebben op de stabilisatie van beekoevers.



Afbeelding 6 Sedimentbalans (a) en afvoervariatie (b)

De vegetatieontwikkeling is in beide panelen weergegeven met de groene vlakken en geven de ontwikkeling weer zoals te zien is in afbeelding 5. Paneel (a) laat de sedimentbalans per meetperiode zien, opgesplitst voor sedimentatie (rood), erosie (blauw) en netto verandering (zwart). Bron: [2]



Afbeelding 7 Ontwikkeling van het lengteprofiel Bron: [3]

Sedimentbalans

Op basis van het verschil tussen twee digitale hoogtemodellen kan de sedimentbalans bepaald worden. De sedimentbalans geeft aan in hoeverre een gebied erodeert of sedimenteert. De periode tussen de metingen was onregelmatig, zie afbeelding 6. Over een lange periode kan meer sediment getransporteerd worden, dan over een korte periode. Er is daarom rekening gehouden met het verschil in tijd tussen de metingen. Door de sedimentbalans door de tijd te delen wordt de relatieve sedimentbalans (RSD) verkregen:

$$RSD = \frac{\sum(z_{i,j(nieuw)} - z_{i,j(oud)})}{t_{nieuw} - t_{oud}}$$

met $z_{i,j(nieuw)}$ en $z_{i,j(oud)}$ de hoogte in gridcel (i,j) van respectievelijk de eerste en tweede meting en t_{nieuw} en t_{oud} de tijdstippen van deze metingen.

Conclusies en implicatie voor beekherstel

In deze casestudie zijn de initiële morfologische processen geanalyseerd die optraden na herstel van de Lunterse Beek. Het project is in de winterperiode aangelegd, waardoor de vegetatie pas een half jaar na aanleg tot ontwikkeling kwam. In de initiële periode hebben grote morfologische veranderingen plaatsgevonden, zoals een bochtafsnijding en veel oevererosie. In deze periode is geen sterke relatie tussen morfologische veranderingen en afvoervariatie aanwezig. Zelfs in perioden met relatief lage afvoeren zijn relatief veel morfologische veranderingen geobserveerd. Deze initiële morfologische veranderingen zijn voor een groot deel toe te schrijven aan een relatief hoge bovenstroomse sedimenttoevoer.

Vervolgens is de bovenstroomse sedimenttoevoer afgenomen en heeft vegetatieontwikkeling plaatsgevonden. In hoeverre de vegetatie invloed heeft gehad op de morfologische ontwikkelingen is op basis van deze casestudie niet vast te stellen. Wel is het aannemelijk dat

de kruidige vegetatie die zich heeft ontwikkeld op de lange duur invloed kan hebben op de stabilisatie van beekoevers.

Deze casestudie laat zien dat de morfologische aanpassingsperiode in de Lunterse Beek ongeveer 8 maanden heeft geduurd. De aanpassing van het lengteprofiel was de belangrijkste bijdrage aan andere morfologische processen. Nadat de ontwikkeling van het lengteprofiel stabiliseerde, bleven grote morfologische processen uit. De aanpassing van het lengteprofiel was gerelateerd aan een gehandhaafde stuw, bovenstrooms van het studiegebied. Het ontbrak hierdoor aan longitudinale connectiviteit van sedimenttransport, hetgeen vaak tot erosie benedenstrooms van stuwen leidt. De studie laat daarom zien dat het aan te raden is om de longitudinale connectiviteit zo veel mogelijk te herstellen.

Literatuur

[1] Eekhout, J.P.C. & Hoitink, A.J.F. (2014) Morfodynamiek van Nederlandse Laaglandbeken. STOWA Rapport, in press.

[2] Eekhout, J.P.C., Fraaije, R.G.A. & Hoitink, A.J.F. (in review) Morphodynamic regime change in a restored lowland stream. Ingediend bij Earth Surface Dynamics.

[3] Eekhout, J.P.C. & Hoitink, A.J.F. (in review) Importance of backwater effects to the occurrence of a chute cutoff. Ingediend bij Journal of Geophysical Research – Earth Surface.

[4] Versteeg, R., de Graaf, B & Bakker, M. (2010) Hermeandering Lunterse Beek: Effectenberekeningen, HKV-rapport PR1572.