





# Bomen en stroming verhogen ecologische kwaliteit

beekherstel  
macrofauna  
beekbegeleidend bos  
KRW waterkwaliteit

## Herstel Hierdense Beek

Veel beken hebben een onvoldoende ecologische kwaliteit. Ondanks dat sterk wordt ingezet op beekherstel, leidt dit nog niet altijd tot de gewenste kwaliteitsverbetering. De oorzaak hiervan is het eenzijdig aanpakken van bepaalde factoren in plaats van het geheel dat sturend is voor een levensgemeenschap. Aan de hand van de Hierdense Beek laten we zien hoe verschillende factoren inwerken op de ecologische kwaliteit en waar de kansen en beperkingen liggen voor beekherstel.

De ecologische kwaliteit van beken wordt onder andere afgeleid van de macrofauna – met het blote oog zichtbare ongewervelde dieren – die er voorkomt, waarbij de soortensamenstelling en de talrijkheid van soorten geldt als biologische indicator. De gemiddelde KRW-kwaliteitscore (Kaderrichtlijn Water) gebaseerd op macrofauna, schommelt in de Nederlandse beken rond de 0,4 wat overeenkomt met een score van matig tot ontoereikend (figuur 1). Een goede of zeer goede kwaliteit wordt slechts op een beperkt aantal plaatsen gehaald. De ecologische kwaliteit in de Nederlandse beken is in de periode 1991-2010 maar langzaam toegenomen, met gemiddeld 5 procentpunt. Het percentage beken waar de kwaliteit op basis van de macrofauna voldoende is, is gestegen van 5 naar 14%. Weliswaar is de trend positief, maar het herstel is langzaam.

Om de ecologische waterkwaliteit van beeksystemen te verbeteren wordt in binnen- en buitenland beekherstel uitgevoerd. Nederland speelt hierbij een leidende rol, waarbij beekherstel plaatsvindt in het kader van zowel KRW, Waterbeheer van de 21e Eeuw (WB21) en Natura 2000. Sinds de jaren 80 van de vorige eeuw vindt het zogenoemde passieve herstel van beken plaats, waarbij sterk wordt ingezet op de aanpak van de hoge nutriëntenconcentraties en organische belasting van het beekwater. In figuur 2 is de concentratie van stikstof en fosfor in beken in de periode 1990-2010 te zien. De trend geeft duidelijk een verlaging aan. Voor stikstof daalt de

concentratie nog steeds. Voor fosfor is sinds 2000 de gemiddelde concentratie niet meer significant gedaald, maar de pieken (90-percentiel) zijn nog wel verder afgenomen. Toch zijn de nutriëntenconcentraties biologisch gezien nog altijd aan de hoge kant.

Het is echter de vraag of de nutriëntengehalten in beken op dit moment de grootste belemmering vormen voor het herstel van de ecologische kwaliteit. Naast de nutriëntenproblematiek is namelijk de hydromorfologische situatie in de Nederlandse beken het andere grote knelpunt. De afgelopen eeuw zijn de meeste beken rechtgetrokken, vastgelegd, gestuwd en aangepast om een zo groot en snel mogelijke afvoer van water te bereiken. Op steeds meer plekken wordt nu actief geprobeerd beken iets van hun natuurlijke karakter terug te geven. De invulling van beekherstel varieert van het aanleggen van natuurlijkere oevers tot het graven van nieuwe beekprofielen. Vaak wordt gekozen voor hermeanderen in combinatie met een tweefasenprofiel – een relatief klein zomerprofiel en een groter en breder winterprofiel – een plasdrasprofiel of een verkleinde beekbedding.

Ondanks het grote aantal herstelprojecten dat de laatste decennia is uitgevoerd in Nederland is vaak nauwelijks gekwantificeerd wat de effecten van de maatregelen op het beekstelsysteem zijn. Bovendien blijkt uit projecten waar wel onderzoek is verricht dat veel systemen niet naar verwachting verbeterd zijn (Didderen et al., 2009). Naar de vorm van de beekloop lijkt te veel

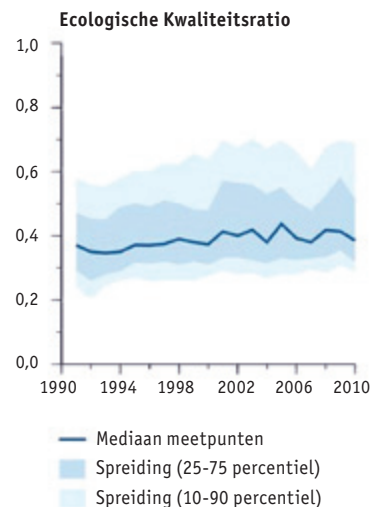
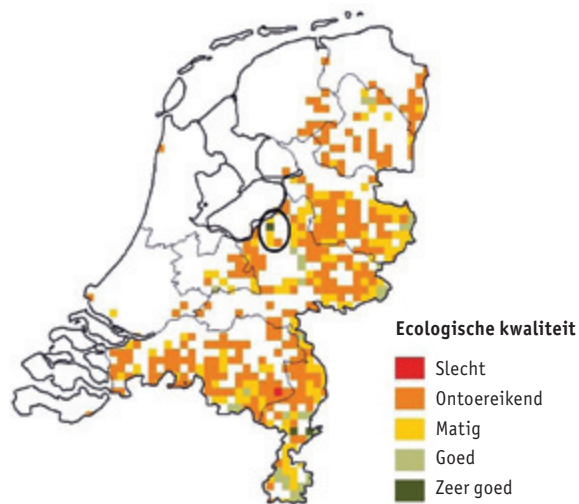
RALF VERDONSCHOT,  
PETER VAN  
PUIJENBROEK & PIET  
VERDONSCHOT

Dr. Ir. R.C.M. Verdonschot  
Sectie Zoetwaterecologie,  
Alterra, Wageningen UR,  
Postbus 47, 6700 AA  
Wageningen  
ralf.verdonschot@wur.nl  
Drs. P.J.T.M. van  
Puijenbroek Planbureau voor  
de Leefomgeving  
Dr. Ir. P.F.M. Verdonschot  
Sectie Zoetwaterecologie,  
Alterra, Wageningen UR

Foto Aat Barendregt  
de uitmonding van de  
Herdense Beek in het  
Veluwemeer.

**Figuur 1** de kwaliteit van de macrofauna gebaseerd op de Ecologische Kwaliteitsratio (0 = zeer slecht; 1 = zeer goed) van de Kaderrichtlijn Water. Links de kwaliteit van alle meetpunten in de periode 2006-2010, rechts de veranderingen in deze kwaliteit in de periode 1991-2010 voor de meetpunten die regelmatig bemonsterd zijn (n = 238). De cirkel geeft de ligging van het stroomgebied van de Hierdense Beek aan.

**Figure 1** ecological quality based on the Water Framework Directive ecological quality ratio for macroinvertebrates. Left panel shows the quality of all sampling locations in the period 2006-2010. Right panel displays the changes in quality in the period 1991-2010 for locations which were sampled repeatedly in time (n = 238). The Hierdense Beek watershed is indicated with a circle.



aandacht uit te gaan, terwijl bijvoorbeeld de stroming (hydrologie) en het creëren van substraatheterogeniteit (morfologie) onderbelicht zijn gebleven. Gevolg is dat de potenties van ecologisch herstel niet volledig zijn benut, omdat aan een deel van de habitateisen van de voor laaglandbeken typerende levensgemeenschap niet is voldaan. Het blijkt dan ook dat projecten waar aan integraal beekherstel is gedaan het meest succesvol zijn (Didden *et al.*, 2009).

### Belang van bomen en stroming

Bomen spelen een cruciale rol bij het genereren van optimale hydromorfologische omstandigheden voor beeklevensgemeenschappen; zowel op grote schaal, door het beïnvloeden van de vorm van de loop als op kleinere schaal, door substraatdiversiteit te genereren (Gregory *et al.*, 1991). Stroming vormt de motor achter deze processen en zorgt voor de heterogeniteit in ruimte en tijd; morfologie en hydrologie kunnen dan ook niet los van elkaar worden gezien. Daarnaast is het stromingsregi-

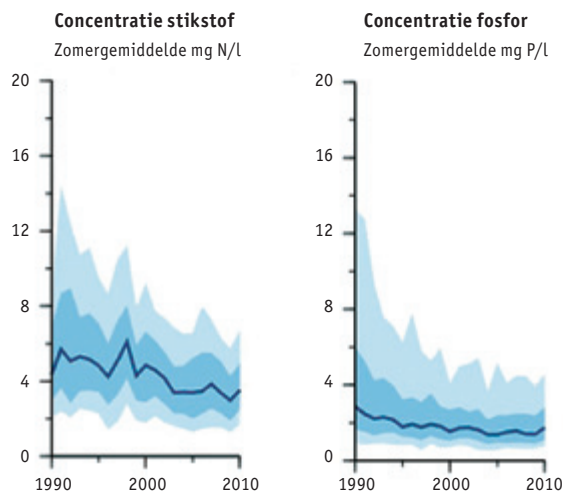
me van een beek doorslaggevend voor de levensgemeenschap die er voorkomt, aangezien veel dieren direct van stromend water afhankelijk zijn voor ademhaling of voedselvoorziening. Het wegvallen van stroming bij lage afvoeren leidt dan ook tot het verdwijnen van typische beeksoorten.

Hoe de aanwezigheid van bomen langs de beek in combinatie met voldoende stroming doorwerkt op de beeklevensgemeenschap kan het beste geïllustreerd worden aan de hand van een voorbeeld. Hier is gekozen voor het stroomgebied van de Hierdense Beek, dat enerzijds gekenmerkt wordt door een grotendeels door bomen begrensde beekloop met een relatief goede doorstroming, maar anderzijds getekend is door grote waterkwaliteitsproblemen. Het stroomgebied is sinds de jaren 60 van de vorige eeuw intensief bestudeerd, wat het mogelijk maakt de veranderingen in de tijd in het stroomgebied te beschrijven en deze in verband te brengen met maatregelen die in de loop der jaren zijn genomen om de kwaliteit van het systeem te verbeteren.

## De Hierdense beek

De Hierdense beek is één van de weinige min of meer natuurlijke beeksystemen van de Noordwest-Veluwe. De ecologische kwaliteit is in delen van de beek hoog, maar is verarmd ten opzichte van de situatie zoals die in het verleden was. Organische belasting en eutrofiëring halverwege de 20e eeuw leidden tot ecologische degradatie van het systeem en liepen parallel aan het verdwijnen van bijvoorbeeld de beekforel (*Salmo trutta*) en de bosbeekjuffer (*Calopteryx virgo*), Higler (1973).

Het stroomgebied heeft een oppervlakte van circa 100 km<sup>2</sup> en voert water af van het Veluwemassief naar het Veluwemeer. De beek ligt redelijk geïsoleerd van andere beken op de Veluwe en heeft trajecten van verschillende kwaliteit. Bossen en heideterreinen domineren het stroomgebied, maar de hoofdbeek en veel van de zijbeken ontspringen in een intensieve agrarische enclave, de zogenoemde agrarische enclave Uddel-Elspeet. Ook de benedenloop ligt in een smalle strook agrarisch gebied langs het Veluwemeer. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de waterkwaliteit een belangrijk knelpunt vormt binnen het beekstelsel. Vooral tijdens perioden met veel neerslag en hoge afvoeren nemen de nutriëntconcentraties in het water sterk toe. Een tweede knelpunt is de hydrologie van het systeem. Een ondoordringende laag vlak onder de oppervlakte in combinatie met de omzetting van grote delen van het beekdal in landbouwgrond zorgt ervoor dat lokaal (grond-)water snel afgevoerd wordt, met grote afvoerpieken tot gevolg. In de zomer kan de afvoer laag zijn als gevolg van beregening met oppervlaktewater en onttrekking van grondwater. Ten slotte is ook de morfologie van met name het bovenstroomse gedeelte van de beek en veel van de zijbeken vanuit ecologisch oogpunt ongunstig: grotendeels rechtgetrokken en met weinig ruimte voor oeverbegroeiing. Verder worden deze delen van het systeem intensief onderhouden,



**Figuur 2** concentraties van stikstof en fosfor in de periode 1990-2010 in stromende wateren.

**Figure 2** concentrations of Nitrogen and Phosphorous in the period 1990-2010 for the Dutch running waters.

- Mediaan meetpunten
- Spreiding (25-75 percentiel)
- Spreiding (10-90 percentiel)

waarbij waterplanten en hout dat in de beek is gevallen worden verwijderd.

De afgelopen decennia is geprobeerd iets aan deze knelpunten te doen. Halverwege de jaren 80 werd begonnen met het terugdringen van de organische belasting en eutrofiëring van het systeem door het aanleggen van onder andere een zuiveringsinstallatie voor kalvergier, het afkoppelen van overstorten en het terugdringen van directe ongezuiverde lozingen. Dit leidde tot een reductie in nutriëntenbelasting met circa 40% bij fosfor (Swenne *et al.*, 2002). In de jaren 90 werd de hydromorfologie aangepakt door enkele retentiebekkens aan te leggen om piekafvoeren af te vlakken en werd de rechtgetrokken loop door het Leuvenumse bos afgedamd, waardoor de beek een oude meanderende loop ging volgen. Het afgelopen decennium is geprobeerd de nutriëntenbelasting verder terug te dringen door maatregelen op bedrijfsniveau, is een deel van het benedenstroomse gedeelte hersteld en wordt het tracé door het Leuvenumse bos niet meer onderhouden. Ten slotte is er in 2011 lokaal extra hout ingebracht.



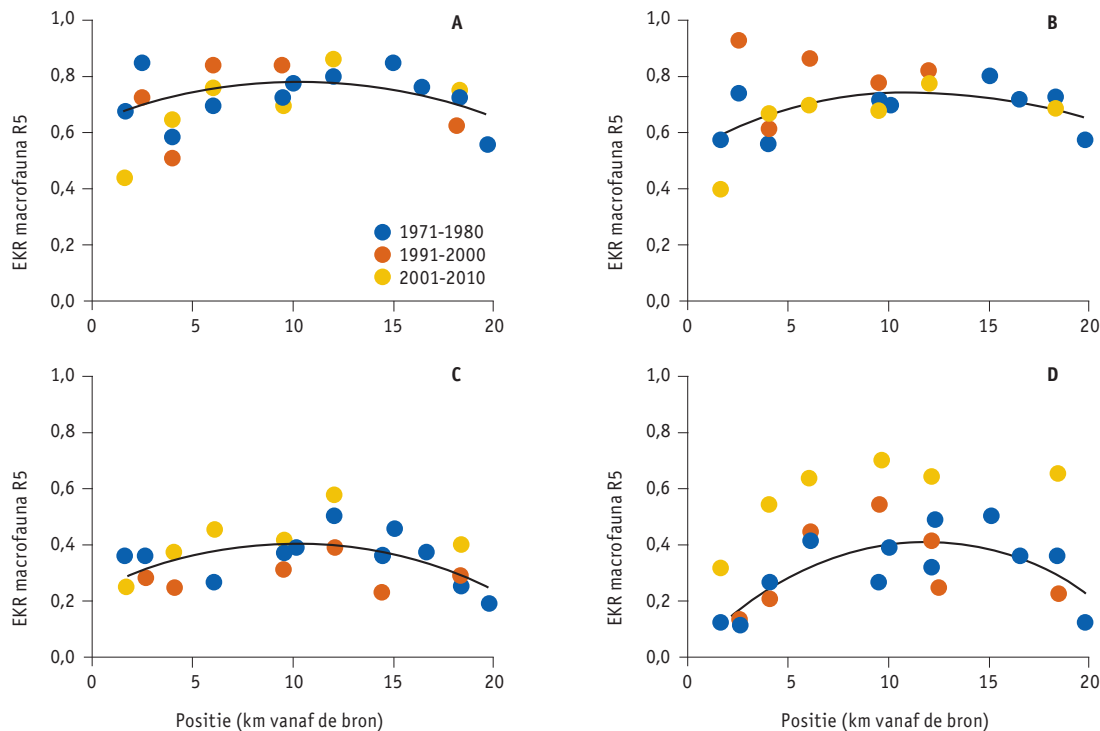
Foto Aat Barendregt  
beekbegeleidend bos  
en veel schaduw op het  
traject van de Hierdense  
Beek ter hoogte van  
Staverden.

### Ecologische kwaliteit

Binnen de Kaderrichtlijn Water-systematiek wordt de ecologische kwaliteit voor macrofauna afgeleid van de indicatorsoorten die bij een bemonstering van het waterlichaam zijn aangetroffen (Van der Molen *et al.*, 2012). Het gaat om kenmerkende soorten voor het watertype in goede toestand en soorten die wijzen op verstoring. Aan de hand van een formule wordt op basis van deze elementen een KRW-kwaliteitscore voor macrofauna berekend, de Ecologische Kwaliteitsratio (EKR). Voor de beek waren zoveel data voorhanden dat de KRW-

kwaliteitscore ook voor 2000 berekend kon worden. De ecologische kwaliteit van de Hierdense Beek wordt in de periode 1971-2010 gemiddeld genomen als goed tot zeer goed beoordeeld (figuur 3A). Een sterke correlatie (Spearman's  $\rho = 0.80$ ,  $p < 0.0001$ ) tussen de EKR en de rheofilie-index (figuur 3B) laat zien dat het hoge aantal stromingsminnende soorten in de levensgemeenschap hier een aanzienlijke bijdrage aan levert. Sterk gedegradeerde beken kenmerken zich door het ontbreken van deze stromingsminnende, de zogenoemde rheofiele, soorten (Tolkamp & Gardeniers, 1977). Het grootste





**Figuur 3** ecologische kwaliteit van de Hierdense Beek in drie decades (179 monsters, 11 monsterpunten) aan de hand van de Ecologische Kwaliteitsratio R5 (algemene ecologische kwaliteit), de rheofilie-index (stroming), de saprobie-index (stoffen) en de EPT-index (aantal haften-, steenvliegen- en kokerjuffergenera). Deze indexen zijn gebaseerd op de ecologische preferenties van macrofaunasoorten (Verberk *et al.*, 2012) en geschaald (lineair) op de y-as in klassen van slecht (0.0-0.2) tot zeer goed (0.8-1.0) op basis van de Nederlandse beektypologie (Verdonschot & Nijboer, 2004).

**Figure 3** ecological quality of the Hierdense Beek for three decades (179 samples, 11 locations) on the basis of the ecological quality ratio of the Water Framework Directive R5-type (general ecological quality), rheophily-index (flow), saprobic-index (nutrient and organic load), and EPT-index (numbers of *Ephemeroptera*, *Plecoptera* and *Trichoptera*-genera). Indices are based on the ecological preferences of macroinvertebrates (Verberk *et al.*, 2012) and are scaled linearly on the y-axis in classes from poor (0.0-0.2) to very good (0.8-1.0) based on the Dutch stream typology (Verdonschot & Nijboer, 2004).

deel van de macrofauna heeft een benthische levenswijze, voor welke het substraat en de structuren op de beekbodem samen met de stromingscondities bepalend zijn. Het zijn juist de rheofiele soorten die verdwijnen op het moment dat de hydromorfologie van de beek minder natuurlijk wordt. Zowel het wegvallen van stroming (stagnatie) als extreem hoge stroomsnelheden kunnen negatief doorwerken. Vooral stagnatie is beperkend, door het ontbreken van stroming op zichzelf, maar vooral door zuurstoflimitatie en verslibbing van de bodem. Aan de andere kant kunnen de hoge stroomsnelheden die bereikt worden tijdens piekafvoeren ervoor zorgen dat substraten en structuren wegspoelen waardoor de beekbodem erg homogeen wordt. Afhankelijk van de

duur, intensiteit en frequentie kan dit negatief doorwerken op de macrofauna door habitatverlies of direct door wegspoeling. Met uitzondering van de bovenloop blijft de Hierdense Beek het hele jaar stromen, waarbij vrij grote schommelingen in stroomsnelheid kunnen voorkomen (tabel 1). De afvoer laat een vergelijkbaar patroon zien: de fluctuaties kunnen aanzienlijk zijn. Juist na hevige regenval kunnen grote piekafvoeren optreden, waarbij veel substraat verplaatst wordt. Op basis van een onderzoek aan één van de zijbekken van de Hierdense Beek (Verdonschot *et al.*, 2010) en de continu hoge EKR-kwaliteitscores in de hoofdloop lijken de negatieve effecten van deze pieken mee te vallen.

Opvallend is dat ondanks de zeer slechte waterkwaliteit

**Tabel 1** mediaan (5-95 percentielen) per decennium op basis van maandgemiddelden voor enkele fysisch-chemische en hydrologische parameters.

**Table 1** median and 5-95 percentiles per decade based on monthly averages for several physico-chemical and hydrological parameters.

Decade	Tot-P (mg/L)	Tot-N (mg/L)	Stroomsnelheid (m/s)	Afvoer (m <sup>3</sup> /s)	O <sub>2</sub> (%)	T (°C)
1961-1970	–	–	–	0.57 (0.22-1.1)	83 (73-92)	11.3 (2.7-16.9)
1971-1980	0.28 (0.1-1.82)	8.8 (1.4-21.4)	–	0.25 (0.04-0.70)	84 (49-97)	9.0 (2.0-16.0)
1981-1990	0.24 (0.09-0.99)	9.5 (5.2-12.6)	0.4 (0.2-0.6)	–	86 (63-101)	9.8 (2.6-15.9)
1991-2000	0.10 (0.05-0.46)	7.1 (1.2-9.9)	0.4 (0.2-0.5)	0.21(0.03-0.91)	81 (59-94)	10.2 (3.6-15.2)
2001-2010	0.11 (0.05-0.33)	5.7 (1.7-7.7)	0.4 (0.2-0.6)	0.16(0.07-0.51)	81 (60-94)	11.7 (3.9-15.7)

in de jaren 70 en 80 er weinig verschil is in de ecologische kwaliteit tussen de decennia (tabel 1). De maandwaarden (zowel mediaan als piek) voor stikstof en fosfor waren in de periode 2001-2010 sterk gedaald, maar biologisch gezien nog steeds aan de hoge kant: matig tot ontoereikend op basis van de KRW fysisch-chemische kwaliteitselementen. De zuurstofminima lagen en liggen nog steeds vrij laag voor stromende wateren. De directe doorwerking van deze nutriëntenproblematiek op de levensgemeenschap kan worden afgeleid aan de hand van de saprobie-indicatie van de fauna. Deze index geeft de invloed van organische belasting op de macrofauna weer (Sládeček, 1973). Zoals op basis van de fysisch-chemische parameters te verwachten is scoort de beek over het algemeen laag (figuur 3C). Wanneer alle macrofauna-meetpunten met herhaalde bemonsteringen worden vergeleken, dan scoort de periode 2001-2010 net iets hoger dan de periode 1991-2000: van een gemiddelde score van  $0,37 \pm 0,03$  naar  $0,45 \pm 0,04$  ( $t(8) = -2,35$ ;  $p = 0,047$ ). Misschien is er een verband met de relatieve daling in stikstof- en fosforconcentraties.

Hoe valt de combinatie van veel stromingsminnende soorten in een sterk met stikstof en fosfor belast systeem te verklaren? Allereerst beïnvloedt het nutriëntengehalte van het water de fauna niet direct, maar via veranderingen in het zuurstofgehalte en het substraat, bijvoorbeeld door verslibbing en begroeiing met algen. Welke veranderingen er precies plaatsvinden wordt weer gestuurd door andere factoren, zoals zoninstraling,

watertemperatuur en stromingsvariatie. Deze factoren worden in hoge mate gereguleerd door de aanwezigheid van bos langs de beek (Gregory *et al.*, 1991). In het stroomgebied van de Hierdense Beek lijkt dit een cruciale factor: de beek wordt vrijwel overal begeleid en gedeeltelijk beschaduwd door bomen (circa 40-70% in het zomerhalfjaar op de meeste monsterpunten). Drie effecten van bomen langs de beek spelen een rol bij het mitigeren van de effecten van de organische belasting en eutrofiëring. Ten eerste, wanneer er door schaduw weinig licht beschikbaar is in de beek, remt dit de explosieve algengroei die normaliter optreedt bij de waargenomen hoge nutriëntengehalten en daarmee ook de negatieve effecten zoals verlaagde zuurstofbeschikbaarheid in de nacht en het vormen van dichte matten waardoor het bodemsubstraat gehomogeniseerd wordt (Newham *et al.*, 2011). Ten tweede leidt verminderde instraling tot temperatuurdemping, waardoor zuurstofverzadiging relatief hoger kan blijven bij verhoogde respiratie door organische belasting van de beek (Johnson, 2004; Kreutzweiser *et al.*, 2009; Broadmeadow *et al.*, 2011). In tabel 1 is deze demping van de maximum temperatuur en een relatief hoog (voor de nutriëntenbelasting van het systeem) minimum zuurstofgehalte te zien. Ten derde bieden structuren, zoals boomwortels en takken, voor de fauna de mogelijkheid bij zuurstofstress toch dicht op het wateroppervlak of in de stroming te blijven, waardoor de effecten hiervan beperkt blijven (O'Connor, 1991). Neveneffect van deze structuren is dat ze voor sta-

biliteit zorgen bij piekafvoeren waarbij substraten zoals zand en blad sterk in beweging kunnen komen. De oever van de beek bevat op de meeste monsterpunten een- of tweezijdig boomwortels en substraatopnamen laten zien dat op de meeste plekken wat dood hout in de beek te vinden is (<20% bedekking van het totale bodempervlak).

### Biodiversiteit

Naast indices die de respons van de levensgemeenschap op bepaalde factoren weergeven, kunnen ook de soorten zelf informatie geven over de staat van het systeem. Voor beken is hiervoor de soortenrijkdom van haften (*Ephemeroptera*), steenvliegen (*Plecoptera*) en kokerjuffers (*Trichoptera*), de EPT-index, een belangrijke maat (Lenat, 1983). Op basis van deze index kan worden gesteld dat er de afgelopen decennia een grote verandering heeft plaatsgevonden wat betreft de soortenrijkdom. De diversiteit per meetpunt neemt in de loop van de tijd sterk toe ( $t(8) = -4,96$ ;  $p = 0.001$ ), zie figuur 3D. Vrijwel de hele beek krijgt in de loop van de tijd een goede waardering. Al in de jaren 90 verbetert de middenloop, gevolgd door het boven- en benedenstroomse gedeelte in de jaren 00. Wanneer de monsters van de beek per decade worden vergeleken, dan blijkt dat de gemiddelde rijkdom sterk gestegen is: van gemiddeld 5,7 genera per monster in de jaren 70 en 90 naar een gemiddelde van 8,7 in de jaren 00 (ANOVA:  $F_{2,154} = 20,4$ ;  $p < 0.0001$ ). De biodiversiteitwinst van de afgelopen decennia is vooral het gevolg van uitbreiding van genera binnen het stroomgebied. Het aantal monsters waarin een taxon gevonden wordt, neemt toe van een gemiddelde frequentie in een monster van 0,19 per genus in de jaren 70 en 90 naar een gemiddelde frequentie van 0,31 in de jaren 00 (RM-ANOVA:  $F_{1,25} = 34,8$ ;  $p = < 0.0001$ ). Met de komst van nieuwe of de terugkeer van verdwenen genera heeft het gevonden patroon

weinig te maken: in het laatste decennium zijn 2 genera gevonden die niet in de twee eerdere decaden zijn aangetroffen, terwijl er ook 2 genera niet meer gevonden zijn die wel in de jaren 70 aanwezig waren.

Hoe verhoudt deze taxonlijst zich tot de fauna van Nederlandse laaglandbeken in het algemeen? Wanneer de totale lijst met kenmerkende genera voor permanente, langzaam stromende boven-, midden- en benedenlopen van laaglandbeken (Verdonschot, 2000) wordt vergeleken met de totale lijst van het stroomgebied van de Hierdense Beek, dan ontbreken in de onderzochte periode 67% van de haften-genera, 60% van de steenvliegengenera en 45% van de kokerjuffergenera. Historische gegevens laten in ieder geval zien dat de levensgemeenschap voor 1960 meer kenmerkende kokerjuffers (5%) en haften (17%) bevatte (Higler, 1979). Of de andere ontbrekende kenmerkende taxa ooit in het stroomgebied te vinden waren is lastig te beoordelen, omdat een compleet beeld van de historische situatie niet te reconstrueren is (Nijboer *et al.*, 2003). Waarschijnlijk is een deel van de fauna (het meest kritische?) al in een zeer vroeg stadium van degradatie verdwenen. Een aanwijzing hiervoor is dat verschillende ontbrekende kokerjuffers nog wel voorkomen in kleine, minder verstoorde beekjes langs de randen van de Veluwe (Higler, 2008).

De vraag is of deze taxa niet in de Hierdense Beek voorkomen omdat de omstandigheden niet geschikt zijn, of omdat ze de beek simpelweg nog niet (opnieuw) hebben gekoloniseerd. Hoe dit zich verder ontwikkelt is moeilijk te voorspellen; we weten bijna niets over de verspreidingscapaciteit van waterinsecten (Bilton *et al.*, 2001). Desondanks zijn deze dieren een cruciale schakel bij het herstel van aquatische systemen. Het lijkt erop dat wanneer de typische systeemsoorten van laaglandbeken niet in het stroomgebied van een beek voorkomen, het niet zo waarschijnlijk is dat er op korte termijn kolonisatie optreedt. Veel soorten hebben maar een heel beperkte dispersiecapaciteit of de potentiële



le bronpopulaties zijn simpelweg te klein om voldoende dispergerende individuen voort te brengen. In deze gevallen kan het dus zo zijn dat ondanks dat de abiotische randvoorwaarden misschien op orde zijn, positieve biologische effecten niet optreden bij gebrek aan kolonisten. Er zitten duidelijke grenzen aan het ecologische potentieel van een beek, maar om een reden die niets met de beek zelf te maken heeft maar juist alles met de grotere landschappelijke context. Zo liggen de hotspots van beekbiodiversiteit in Nederland op dit moment grotendeels langs de grens met Duitsland (figuur 1).

### Conclusies en aanbevelingen

Na het verdwijnen van het meest kritische deel van de levensgemeenschap heeft de ecologische degradatie van het Hierdense Beekstelsel zich niet verder doorgezet, ondanks zware organische belasting en eutrofiëring. De aanwezigheid van plekken met voldoende stroming in combinatie met de aanwezigheid van bos of bomen langs de beek lijkt een sterk positief effect te hebben gehad op de resterende ecologische kwaliteit. Waarschijnlijk mitigeerden schaduw, structuren en stroming tot op zekere hoogte de negatieve effecten van de hoge nutriëntenlast. Dit effect was niet in het hele stroomgebied even sterk, gezien de recente uitbreiding van veel soorten over het stroomgebied onder de verbeterde omstandigheden.

In veel Nederlandse stroomgebieden liggen mogelijkheden om de ecologische kwaliteit op vergelijkbare wijze te verbeteren als we in deze casestudie hebben laten zien. Binnen het beekherstel vraagt het optimaal sturen op hydromorfologie wel om beekdalbrede maatregelen (Verdonschot *et al.*, 2012). Continue stroming kan worden gerealiseerd door het verhogen van de beekbodem, het versmallen van de beekbedding en het ruimte geven aan inundatie. Door inundatie wordt de beek

gedempt in afvoerdynamiek en worden droog-nat-gradiënten in het beekdal in belangrijke mate hersteld. Inundatiezones bieden tegelijk mogelijkheden voor kleine profielen zodat bij lage afvoeren de beek toch blijft stromen. Het laten ontwikkelen van bos of aanplanten van bomen in de inundatiezone kan vervolgens werken als katalysator voor ecologisch herstel. De bomen gaan de beek beschaduwden, met als gevolg constante en gedempte temperatuur en minder algen- en waterplantenontwikkeling, en leiden tot een verhoging van de structuurvariatie in de beek door wortels, bladval en hout. Dit laatste creëert weer variatie in stromingsprocessen en de vorming van allerlei structuren leidt tot diversificatie van leefmilieus. Dood hout en materiaal dat dood hout invangt dient ten slotte als voedsel voor het beekecosysteem en speelt daarmee een zeer belangrijke rol in het functioneren ervan. De inundatiezones kunnen ook gaan functioneren als buffers tegen oppervlakkige en ondiepe afstroming van nutriënten uit agrarische percelen. Drainerende sloten in het agrarisch gebied kunnen een helofytenfilterfunctie krijgen en in samenspel met verlaagde nutriëntengiften kan daarmee de nutriëntenbelasting nog verder omlaag worden gebracht.

Hydrologie, morfologie en nutriënten zullen geen natuurlijk referentieniveau bereiken maar deze extra inspanning kan het ecosysteem op een hoger kwaliteitsniveau brengen door de onderlinge synergetische werking van factoren. Er zijn namelijk sterke aanwijzingen dat het stimuleren van de biodiversiteit in stromende wateren positieve effecten heeft op het beekecosysteem. In natuurlijke systemen van laaglandbeken komt een groot aantal soorten naast elkaar voor. Deze soorten spelen een belangrijke rol in het functioneren van de beek, aangezien het verloop van veel ecosysteemprocessen deels verloopt via de macrofauna (Wallace & Webster, 1996). Een voorbeeld hiervan is de afbraak van organisch ma-

---

teriaal. In veel gevallen faciliteren al deze verschillende soorten elkaar. Het ontbreken of wegvallen van soorten leidt dan ook tot het minder goed verlopen van ecosystemefuncties (Covich *et al.*, 2004; Woodward, 2009; Kominoski *et al.*, 2010). Voor het succesvol herstellen van

beekecosystemen is het dus heel belangrijk dat deze synergie tussen soorten wordt versterkt, bijvoorbeeld door herintroductie, waarmee ook de terugkoppeling naar de hydrologie, morfologie en nutriëntenspiralen wordt versterkt.

---

## Summary

Flow and riparian trees as key elements in increasing the ecological quality of lowland streams

Ralf Verdonschot, Peter van Puijenbroek & Piet Verdonschot

stream restoration, macro-invertebrates, riparian forest, WFD, water quality

In the Netherlands, nowadays the ecological quality of most lowland streams is low. To improve the quality of these waters, a large number of stream restoration projects were carried out. Unfortunately, this did not lead to significant improvements, mainly because in most cases restoration focussed on a single factor without taking the whole complex of factors governing an ecosystem into account. Using the Hierdense Beek catchment as an example, we showed how all these different factors act on the ecological quality of a stream and pinpoint the possibilities and limitations of stream res-

toration. Macroinvertebrate, physicochemical and hydromorphological data from 1971-2010 were analysed, a time series in which severe degradation was followed by recovery. It appeared that after the disappearance of the most sensitive part of the macroinvertebrate assemblage, the degradation of ecological quality did not proceed despite severe eutrophication and a high organic load. A constant flow in combination with the presence of riparian trees appeared to have a positive effect on ecological quality. Flow, shading and in-channel wood provided by the trees appeared to have mitigated the negative effects of the high nutrient load. The strength of this effect was reach specific, given the recent expansion of species within the catchment under the currently improved environmental conditions. Re-occurrence of species did not occur, possibly due to low recolonisation potential of the respective sensitive species. Further improvements of the hydrology, morphology, physicochemistry and biology can provide a strong synergistic effect that will lead to higher ecological quality.

---

## Literatuur

Bilton, D.T., J.R. Freeland & B. Okamura, 2001. Dispersal in freshwater invertebrates. *Annual Review of Ecology and Systematics* 32: 159-181.

Broadmeadow, S.B., J.G. Jones, T.E.L. Langford, P.J. Shaw & T.R. Nisbet, 2011. The influence of riparian shade on lowland stream water temperatures in southern England and their viability for brown trout. *River Research and Applications* 27:226-237.

Covich, A.P., M.C. Austen, F. Bärlocher, E. Chauvet, B.J. Cardinale, C.L. Biles, P. Inchausti, O. Dangles, M. Solan, M.O. Gessner, B. Statzner & B. Moss, 2004. The role of biodiversity in the functioning of freshwater and marine benthic ecosystems. *BioScience* 54: 767-775.

Didderen, K., P.F.M. Verdonschot, B.P.F.J.M. Knegt & A.A. Besse-Lototskaya, 2009. Enquête beek(dal)herstelprojecten 2004-2008. Evaluatie van beekherstel over de periode 1960-2008 en analyse

- van effecten van 9 voorbeeldprojecten. Wageningen. Alterra rapport 1858, Alterra.
- Gregory, S.V., F.J. Swanson, W.A. McKee & K.W. Cummins, 1991.** An ecosystem perspective of riparian zones. *Bioscience* 41: 540-551.
- Higler, L.W.G., 2008.** Verspreidingsatlas Nederlandse kokerjuffers (Trichoptera). Leiden. European Invertebrate Survey - Nederland.
- Higler, L.W.G., 1979.** Faunistische gegevens van de Hierdense beek 1907-1970. Leersum. RIN-rapport 79/8, Rijksinstituut voor Natuurbeheer.
- Higler, L.W.G., 1973.** Een voorlopige analyse van makrofaunamonters in de Hierdense Beek. Nijmegen. Zoölogisch Laboratorium Afdeling Dierecologie, Katholieke Universiteit Nijmegen.
- Johnson, S.L., 2004.** Factors influencing stream temperatures in small streams: substrate effects and a shading experiment. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 61: 913-923.
- Kominoski, J.S., T.J. Hoellein, C.J. Leroy, C.M. Pringle & C.M. Swan, 2010.** Beyond species richness: expanding biodiversity-ecosystem functioning theory in detritus-based streams. *River Research and Applications* 26: 67-75.
- Kreutzweiser, D.P., S.S. Capell & S.B. Holmes, 2009.** Stream temperature responses to partial-harvest logging in riparian buffers of boreal mixed wood forest watersheds. *Canadian Journal of Forest Research* 39: 497-506.
- Lenat, D.R., 1983.** Chironomid taxa richness: natural variation and use in pollution assessment. *Freshwater Invertebrate Biology* 2: 192-198.
- Molen, D.T. van der, R. Pot, C.H.M. Evers & L.L.J. van Nieuwerburgh, 2012.** Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water 2015-2021. Amersfoort. STOWA Rapport 2012-31, STOWA.
- Newham, M.J., C.S. Fellows & F. Sheldon, 2011.** Functions of riparian forest in urban catchments: a case study from sub-tropical Brisbane, Australia. *Urban Ecosystems* 14: 165-180.
- Nijboer, R.C., M.W. van den Hoorn & P.F.M. Verdonschot, 2003.** Verkenning van de waarde van historische gegevens voor het invullen van biologische referentietoestanden voor beken en sloten. Wageningen. Alterra-rapport 755, Alterra.
- O'Connor, N.A., 1991.** The effects of habitat complexity on the macroinvertebrates colonising wood substrates in a lowland stream. *Oecologia* 85: 504-512.
- Sládeček, V., 1973.** System of water quality from the biological point of view. *Archiv für Hydrobiologie Supplement* 7:1-218.
- Swenne, A., H. Alderink, H. Rem & G. Willemsen, 2002.** Nutriëntenbelasting Hierdense Beek neemt af. *H2O* 35: 17-19.
- Tolkamp, H.H. & J.J.P. Gardeniers, 1977.** Hydrobiological survey of lowland streams in the Achterhoek (Netherlands) by the assessment of water quality and stream character based on macroinvertebrates. *Mitteilungen Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Landwirtschaftlichen Wasserbau* 41:215-233.
- Verberk, W.C.E.P., P.F.M. Verdonschot, T. van Haaren & B. van Maanen, 2012.** Milieu- en habitatpreferenties van Nederlandse zoetwatermacrofauna. Amersfoort. STOWA rapport 2012-19, STOWA/WEW themanummer 23.
- Verdonschot, P., A. Besse, J. de Brouwer, J. Eekhout & R. Fraaije, 2012.** Beekdalbreed Hermeanderen: Bouwstenen voor de 'leidraad voor innovatief beek- en beekdalherstel'. Amersfoort. STOWA rapport 2012-32, STOWA.
- Verdonschot, P.F.M., A.M. Siedlecka & A.A. Besse-Lototskaya, 2010.** Het effect van piekafvoeren op de levensgemeenschap in beekbovenlopen. II. Resultaten van twee veldexperimenten in een half-natuurlijke beek. Wageningen. Alterra-rapport 2002, Alterra.
- Verdonschot, P.F.M. & R.C. Nijboer, 2004.** Macrofauna en vegetatie van de Nederlandse beken. Een aanzet tot beoordeling van de ecologische toestand. Wageningen. Alterra rapport 756, Alterra.
- Verdonschot, P.F.M., 2000.** Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren. Deel 2: Beken. Wageningen. Rapport AS-02 EC-LNV, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.
- Wallace, J.B. & J.R. Webster, 1996.** The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. *Annual Review of Entomology and Systematics* 41: 115-139.
- Woodward, G., 2009.** Biodiversity, ecosystem functioning and food webs in fresh waters: assembling the jigsaw puzzle. *Freshwater Biology* 54: 2171-2187.