



# De haarvaten van het ecologisch riviernetwerk

## Consequenties van fragmentatie en het belang van landbruggen en oeverzones

Fragmentatie heeft invloed op de habitatkwaliteit. Ecologische verbetering van beken en rivieren is daarom ook afhankelijk van het omringende land: natuurlijke oeverzones bieden schaduw en structuur en landbruggen verbinden bovenlopen. Een herwaardering van het denken in ecologische netwerken, op basis van de huidige kennis over migratiebehoeftes en habitateisen van soorten, onderschrijft de noodzaak voor additionele maatregelen.

Het verbeteren van de rol van rivieren en beken als ecologisch netwerk omvat meer dan vissen de mogelijkheid geven van A naar B te zwemmen. Migratie en dispersie van aquatische flora en fauna vindt niet alleen via het water plaats, maar ook over land en via de lucht (Haterd et al., 2018). De maatregelenprogramma's in de stroomgebiedbeheerplannen richten zich echter vooral op wat mogelijk is binnen de grenzen van de KRW-waterlichamen en niet op het bredere stroomgebied. Opmerkelijk is dat het bij uitstek bruikbare Guidance Document 12 'The role of wetlands in the Water Framework Directive' (European Commission, 2003) nauwelijks wordt gebruikt, terwijl de rol die deze wetlands voor het bereiken van de KRW doelstellingen zouden kunnen vervullen niet ter discussie staat (figuur 1). Wetlands worden in deze guidance gekarakteriseerd als elementen die aan de randen of buiten de begrenzing van waterlichamen liggen: oeverzones en overstroomingsvlakten, doorstroommoerassen maar ook kleine al dan niet permanente watervoerende bovenlopen (figuur 1). Dit artikel gaat in op de onderbelichte rol van het bredere stroomgebied. Vanuit de grote rivieren kijken we stroomopwaarts naar de rol van zijrivieren en beken, de consequenties van fragmentatie en de rol van de oeverzones en het landschap rondom de kleinste bovenlopen - ofwel tot in de haarvaten van het riviersysteem. Barrières, zoals stuwen, beïnvloeden niet al-

leen de bereikbaarheid van bovenstrooms gelegen leefgebieden, maar ook de samenstelling en de kwaliteit. Verschillende macrofauna-taxa (zoals kokerjuffers) zijn voor hun larvale levensfasen afhankelijk van de waterkwaliteit en stromingscondities, maar voor hun adulte levensfasen juist van terrestrische elementen. De vegetatiestructuur op de oeverzone en het landschap rondom de bovenlopen zijn van belang voor de dispersiemogelijkheden. In dit artikel komen diverse voorbeelden aan de orde van mogelijke herstelmaatregelen.

### Fragmentatie en habitatkwaliteit

Vissoorten zijn voor het volbrengen van hun levenscyclus niet alleen afhankelijk van de bereikbaarheid maar ook van de geschiktheid en kwaliteit van de leefgebieden voor opeenvolgende levensfasen (Brevé et al., 2014, Wolter et al., 2016, Coeck et al., dit nummer). Stuwen in rivieren en beken belemmeren migratie, maar de gevolgen strekken verder: door de opstuwning en stagnatie in de afvoer veranderen van nature vrijafstromende rivierecosystemen in langgerekte, nagenoeg stilstaande bekkens met een gedempte peilvariatie en ophoping van slib en fijn organisch materiaal op de bodem. De habitatdiversiteit neemt hierdoor sterk af. In het vlakke Nederland is het verval van veel rivieren en beken beperkt tot enkele decimeters of zelfs enkele centimeters per kilometer. Opstuwning vindt, naar gelang de op-

fragmentatie  
oeverzone  
bronpopulaties  
isolement  
connectiviteit

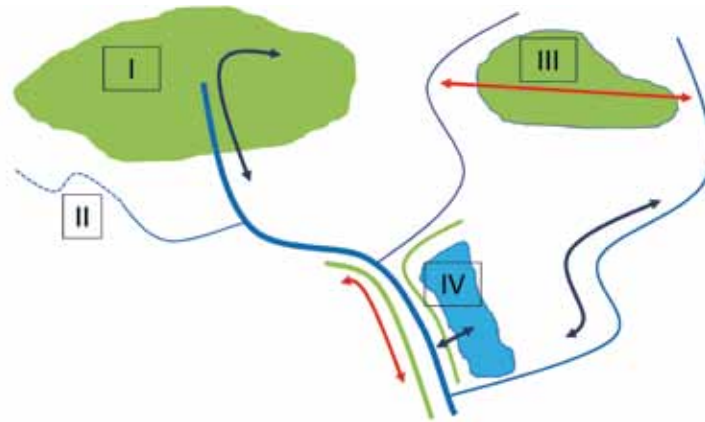
**A.D. (Tom) Buijse**  
Deltares, Boussinesqweg 1,  
2629 HV Delft  
tom.buijse@deltares.nl

**R.C.M. (Ralf) Verdonschot**  
Wageningen Environmental  
Research

**P.J.T.M. (Peter) van  
Puijenbroek**  
Planbureau voor de  
Leefomgeving

**P.F.M. (Piet) Verdonschot**  
Wageningen Environmental  
Research & Universiteit van  
Amsterdam - Institute for  
Biodiversity and Ecosystem  
Dynamics

Foto **Mark van Veen**.  
Drenthse Aa, Oudemolen.



**Figuur 1** Elementen van een ecologische rivier-netwerk in de haarvaten van het stroomgebied. Wetlands, die buiten de begrenzing van waterlichamen liggen: I doorstroommoeras, II kleine niet permanent watervoerende bovenloop, III corridor 'landbrug' tussen bovenlopen, IV oeverzones en overstromingsvlakten. Pijlen zijn potentiële migratieroutes: blauw via water, rood over land of door de lucht.

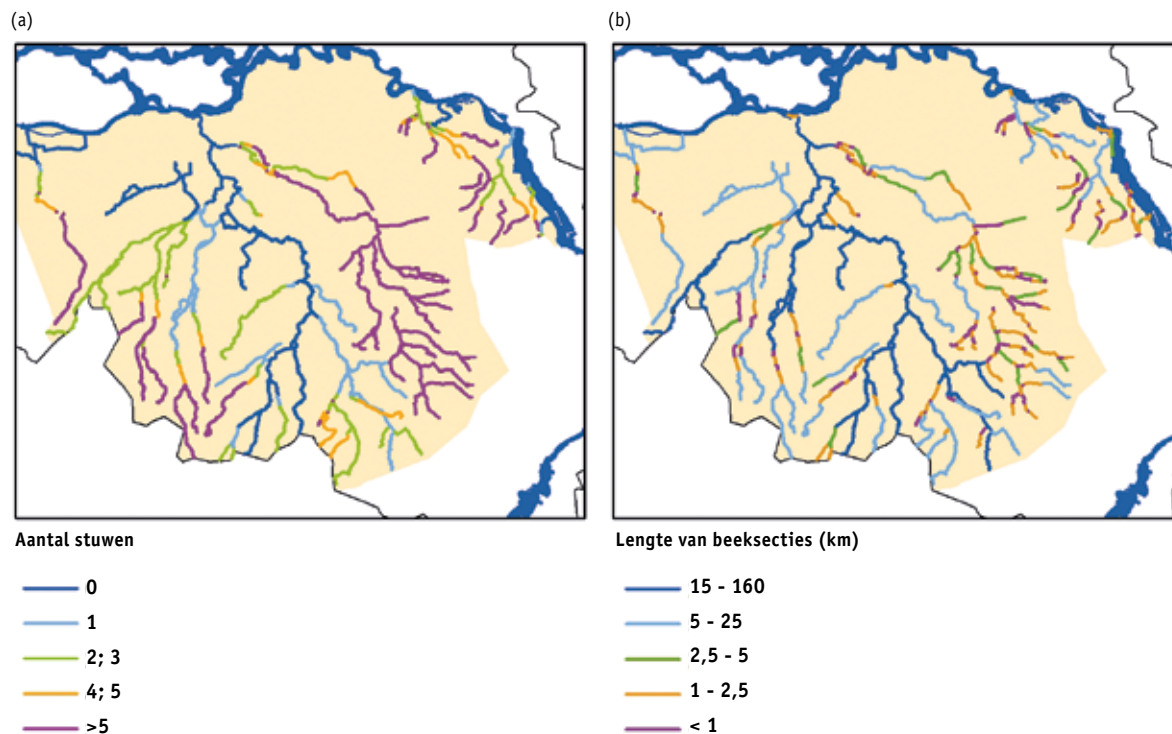
**Figure 1** Elements of an ecological river network in the headwaters and active flood plains of a watershed. Wetlands situated outside the boundaries of water bodies: I flow swamp, II small intermittent headwaters, III "land bridge" corridor between headwaters, IV riparian zones and flood plains. Arrows are potential migration routes: blue via water, red over land or through the air.

gestuwde hoogte, plaats over meerdere kilometers tot zelfs in zijrivieren. Voor de Brabantse beken en zijvieren van de Maas is recent een relatie gelegd tussen deze opstuwing en de ecologische kwaliteit (Puijtenbroek *et al.*, submitted), waarbij de fragmentatie is gekarakteriseerd op basis twee factoren: de bereikbaarheid vanuit de Maas en de lengte van trajecten waarbinnen vrije migratie mogelijk is (figuur 2). Gezien het grote aantal stuwen is uitsluitend onderscheid gemaakt op basis van de aan- of afwezigheid van vismigratievoorzieningen bij barrières. Beide factoren correleren positief met het voorkomen van stromingsminnende vissoorten, de toestand en de stromingspreferentie van de macrofaunagemeenschap. Vooral kopvoorn (*Squalius cephalus*) en serpeling (*Leuciscus leuciscus*) en in mindere mate winde (*Leuciscus idus*) blijken gevoelig: kopvoorn en serpeling worden niet of nauwelijks waargenomen wanneer er meer dan twee barrières zijn naar de Maas en wanneer de vrij migreerbare trajecten korter zijn dan 25 km (figuur 2). Ze blijken hogere eisen aan de ecologische kwaliteit te stellen dan winde, bermpje (*Barbatula barbatula*) en riviergrondel (*Gobio gobio*) (Puijtenbroek *et al.*, submitted). De aanwezigheid van een vismigratievoorziening

lost dus maar een deel van het probleem op. Mede op basis van deze ervaring krijgt het recente initiatief 'Dam Removal Europe' steeds meer bijval, waarin wordt gepleit om niet-functionele barrières volledig te verwijderen, zodat niet alleen de passerbaarheid maar ook de habitatkwaliteit verbetert. In Nederland zijn inmiddels dertig stuwen verwijderd (Kroes *et al.*, 2018), zoals de stuw in de Boven Slinge, waar de habitatdiversiteit en soortenrijkdom is toegenomen. Een van de grotere gecoördineerde initiatieven voor zowel het verbeteren van migratie als habitatkwaliteit is het convenant 'beekmondingen Maas', waarin Rijkswaterstaat en Brabantse en Limburgse waterschappen samen tientallen beekmondingen herinrichten. De Nederlandse Maas is nagevoeg geheel gestuwd. Door het project 'beekmondingen Maas' kunnen de nog vrij afstromende beken langs de Maas een kraamkamerfunctie vervullen voor soorten die door de verstuwning niet hun gehele levenscyclus kunnen volbrengen.

### De rol van oeverzones voor migratie en habitatkwaliteit

Veel Nederlandse laaglandbeken zijn door onnatuurlijk grote piekafvoeren ingesneden, waardoor een graduele overgang tussen beekloop, natte oeverzone en de droge delen hoger in het beekdal ontbreekt. De karakteristieke beekbegeleidende overgangszone is hierdoor verdroogd en de bijbehorende flora en fauna is verdwenen. Wanneer de laterale connectiviteit tussen beek en beekdal intact is, wat wil zeggen dat de water-landovergang gradueel verloopt, wordt het ecologisch functioneren van het beekstelsel op alle fronten versterkt: hydromorfologisch, fysisch-chemisch en biologisch. De zone werkt als een spons: water wordt er langer vastgehouden, waardoor het beekbegeleidende bos functioneert als buffer van afvoerpieken en voor waterber-

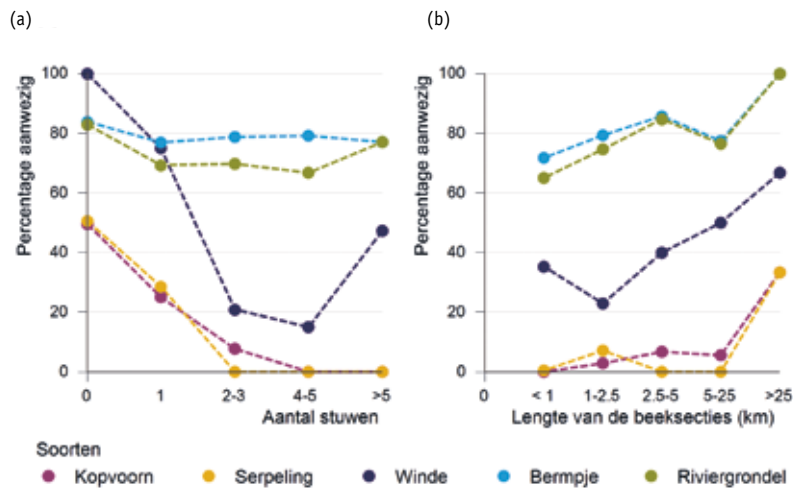


**Figuur 2** Fragmentatie van Brabantse zijrivieren en beken van de Maas uitgedrukt in het aantal stuwen gerekend vanaf de monding in de Maas en lengte (km) waarover migratie mogelijk is tussen stuwen zonder vismigratievoorziening.

**Figure 2** Fragmentation of tributaries of the River Maas (NL) expressed in terms of the number of weirs from their confluence with the Maas and the length (km) over which migration is possible between weirs without fish migration facilities.

ging in perioden van droogte. De bossamenstelling in de nat-drooggradiënt is anders dan bij een abrupte nat-droogovergang en bestaat bijvoorbeeld uit elzenbroekbos. Deze bossen bestaan uit boomsoorten met goed afbreekbare bladeren en een hoge voedingswaarde voor de beekfauna. Verder hebben deze bossen een relatief open bladerdak, waardoor meer licht de beek kan bereiken dan in bijvoorbeeld zwaar beschaduwde beukenbossen. Ook ontstaan er open plekken op de natste locaties, omdat bomen hier geen stand kunnen houden. Dit leidt tot plaatselijke waterplantenontwikkeling in de beek, (bijvoorbeeld velden met waterranonkels (*Ranunculus aquatilis*), wat een positief effect heeft op de aquatische levensgemeenschap door habitat, voedsel en schuil-

plaatsen te bieden bijvoorbeeld macrofauna en vis. Op grotere open natte plekken ontstaat moeras. Deze moerassen kunnen door het omzetten van stoffen een belangrijke invloed uitoefenen op de nutriëntengehalten in de beek, terwijl de moerasvegetatie een grote aantrekkingskracht uitoefent op dieren van de hoger gelegen delen, zoals groot wild. Omdat deze dieren een groter ruimtegebruik hebben, kunnen de effecten in laterale richting zich vanaf de beek uitbreiden. Op de Veluwe kunnen door begrazing van de moerasvegetatie mineralen vanuit het beekdal via de mest van groot wild hogerop in het voedselarme droge bos terechtkomen. Ook voor bloembezoekende insecten van de droge voedselarme bosgebieden, zoals bijen en vlinders, kunnen



**Figuur 3** Frequentie van voorkomen van vijf stromingsminnende vissoorten kopvoorn, serpeling, winde, bempje en riviergrondel gerelateerd aan de mate van fragmentatie (aantal stuwen vanaf de Maas, vrij passeerbare lengte).

**Figure 3** Frequency of occurrence of five rheophilic fish species, chub, dace, ide, stone loach and gudgeon related to the degree of fragmentation (number of weirs from the Maas, freely passable river length).

beekdalmoerassen belangrijke nectarbronnen vormen (Aggenbach et al., 2009).

Een goed voorbeeld van het herstel van laterale connectiviteit is het zandsuppletieproject in de Leuvenumse beek op de Noordwest-Veluwe, dat gestart is in 2014 (o.a. Verdonschot et al., 2016, Verdonschot & Verdonschot, 2017). Door zandsuppletie in combinatie met het aanbrengen van doodhoutpakketten is een ingesneden, gekanaliseerde beek omgevormd naar een meer natuurlijke beek, waarbij de laagtes in het beekdal in verbinding staan met de beekloop. De effecten van deze ingreep op het functioneren van het beekecosysteem zijn groot (figuur 4; Verdonschot et al., 2016, Verdonschot & Verdonschot, 2017). Zo is een voor natuurlijke laaglandbeken karakteristieke natte oeverzone ontstaan met moerasvegetatie en beekbegeleidende bomen, terwijl piekafvoeren worden afgevlakt door de ontstane grote overstromingsvlakten. Hierdoor erodeert de beekbodem minder en zijn er minder negatieve effecten op het beekecosysteem, zoals verlies van grof organisch mate-

riaal. De biodiversiteitswinst is aanzienlijk: zowel in het water als in de beekbegeleidende zone komt in de herstelde trajecten een groot aantal karakteristieke laaglandbeeksoorten voor, waarvan een aantal in Nederland zeldzame soorten, zoals de waterwants (*Sigara hellensi*). Door de grote habitatvariatie op een relatief klein oppervlak vindt een groot aantal soorten een plek in deze trajecten: soorten gebonden aan snelstromend water zijn te vinden op plekken waar de vegetatie de beek knijpt of waar bij boomstammen stroomversnellingen optreden, terwijl in de luwe delen typische moerasoorten gevonden worden. Tenslotte blijken de nieuw ontstane moerassen een grote aantrekkingskracht te hebben op grote zoogdieren als edelhert (*Cervus elaphus*) en wild zwijn (*Sus scrofa*), die door hun graas- en bodemverstoring activiteiten ook weer de vorm van de beek beïnvloeden.

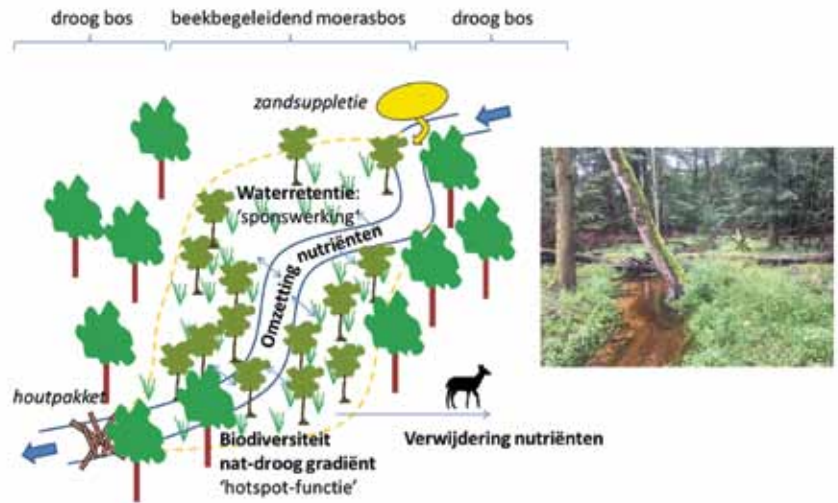
### Een migratiecorridor 'landbrug' tussen bovenlopen

De aquatische fauna moet natuurlijk wel in staat zijn om vanuit een bronpopulatie het nieuwe, herstelde beektraject te bereiken. Westveer (2018) concludeerde in haar proefschrift dat de resultaten van beekherstelprojecten vaak niet succesvol zijn, onder meer omdat maar een kleine gemeenschap aan aquatische fauna terugkeert. In het algemeen wordt aangenomen dat deze soorten vier verspreidingsstrategieën kennen: actieve of passieve verspreiding via de lucht of via het water. De verspreiding van macroinvertebraten tussen bovenlopen of haarvaten, binnen en tussen verschillende stroomgebieden, wordt vooral bepaald door 1) de verspreidingscapaciteit van betreffende soort; 2) de ruimtelijke structuur van het haarvatennetwerk (Clarke et al., 2008) en 3) de structuur van het landschap tussen de haarvaten. De haarvaten zijn zodanig ruimtelijke geconfigureerd dat ieder haarvat, ook binnen een stroomgebied, in

grote mate fysiek geïsoleerd is (Gomi et al., 2002). Dit is goed te zien op de waterlopenkaart van Waterschap De Dommel, met de KRW-typen in verschillende kleur aangegeven (figuur 5), waarop duidelijk de mate van isolatie van alle permanente bovenlopen (lichtblauw) te zien is. Voor de soorten zonder vliegend stadium zijn zelfs nabijgelegen bovenlopen ver weg (Fagan, 2002).

Voor de fauna die leeft in de bovenlopen van beken zijn de leefgebieden dus sterk van elkaar geïsoleerd. Volgens de eilandtheorie van MacArthur & Wilson (1963) is het aantal soorten op een eiland in een dynamisch evenwicht door de tegengestelde principes van uitsterven en herkoloniseren. Op grond van deze theorie sterven soorten uit bij het kleiner worden van eilanden (afname oppervlakte) of het vergroten van de isolatie. Wanneer we de bovenlopen als eilanden beschouwen en het omliggende land als de zee is te zien dat deze eilandtheorie van toepassing is. Dit roept de vraag op of de fauna dan niet via het bekenetwerk naar een volgend netwerk kan migreren. Deze weg van herkolonisatie blijkt erg moeilijk (Richardson & Danehy 2007): een niet-vliegende aquatische ongewervelde kan alleen andere bovenlopen bereiken door te migreren door ongeschikte habitats, eerst stroomafwaarts en vervolgens stroomopwaarts (figuur 2). Ook genetisch onderzoek heeft laten zien dat van deze route weinig gebruik wordt gemaakt, zowel binnen als tussen stroomgebieden (Hughes et al., 1999, Hughes, 2007). Actieve dispersie door het water is dus zeer beperkt. Passieve dispersie door het water gebeurt vooral richting benedenstrooms, omdat migratie tegen de stroom in erg veel energie kost.

De Nederlandse boven- en middenlopen herbergen veel dezelfde soorten. Westveer (2018) heeft laten zien dat een voorheen droogstaand, recent hersteld beektraject snel wordt gekoloniseerd, zeker wanneer het dicht bij de bronpopulaties van verschillende soorten ligt.



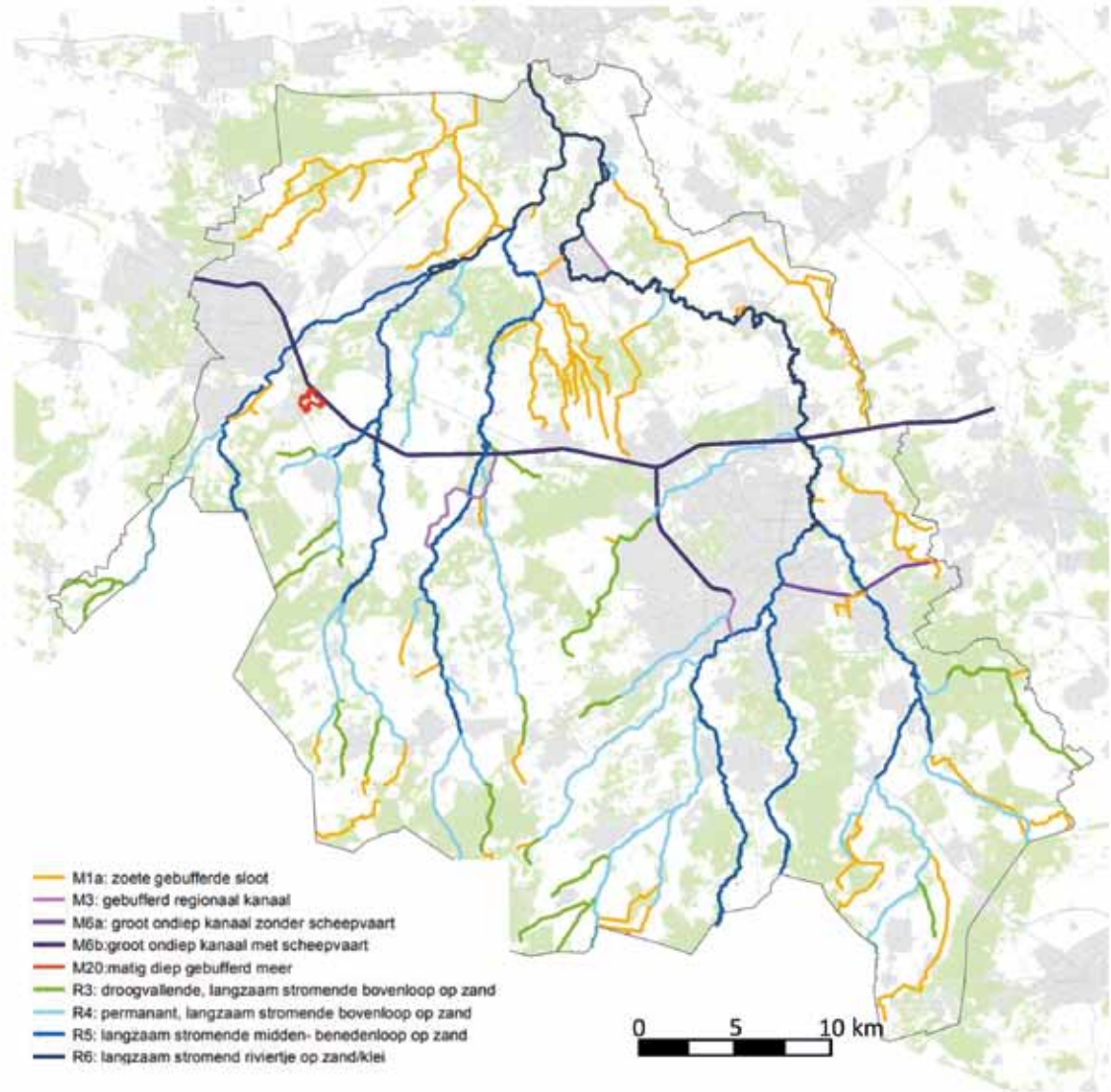
**Figuur 4** Schematische weergave van de potentiële effecten van zandsuppletie in de Leuvenumse beek met hierbij een aantal belangrijke ecosysteefuncties (Verdonschot et al. 2016). Inzet vernatte oeverzone in een van de gesuppleerde trajecten.

**Figure 4** Schematic representation of potential effects of sand supplementation to the Leuvenum stream with a number of important ecosystem functions (Verdonschot et al. 2016). Insertion: inundated riparian zone along one of the supplemented trajectories.

De afstand tussen bronpopulatie en nieuw habitat én de grootte van de bronpopulatie zijn bepalend voor de snelheid en samenstelling van de nieuwe levensgemeenschap in de herstelde trajecten. Dit betekent dat herkolonisatie van bovenlopen en andere geïsoleerde beektrajecten voornamelijk plaatsvindt door actieve of passieve verspreiding over het land of door de lucht. Er zijn maar weinig waterdieren die zich over land verplaatsen. Rivierkreeften lopen actief over land en ook van bloedzuigers en vlokreeften is bekend dat ze zich bij nat weer of over vochtige bodem via het land kunnen verplaatsen. De afstanden die hierbij worden afgelegd zijn echter zeer beperkt. Tenslotte zijn er de vliegende aquatische ongewervelden; de waterinsecten. Ook deze groep blijkt vaak beperkte dispersiecapaciteiten te bezitten. Miller et al. (2002) en Masters et al. (2007) concludeerden dat de dispersiecapaciteit van aquatische ongewervelden met een vliegend stadium sterk soortafhankelijk is: deze wordt niet alleen bepaald door de afstand die de dieren kunnen vliegen, ook de aanwezigheid van begroeiing tussen

**Figuur 5** KRW typologie van het stroomgebied van de Dommel. Type-specifieke soorten zijn afhankelijk van de migratiemogelijkheden tussen waterlichamen van eenzelfde type hetzij via het water, over land of door de lucht.

**Figure 5** WFD typology for the Dommel river basin. Type-specific species depend for their distribution between similar types of water bodies on the migration pathways either via water, land or air.



---

de bronpopulatie en het nieuw te bereiken beektraject is van belang. Veel volwassen ongewervelden hebben een hoge luchtvochtigheid nodig om te kunnen overleven; bossen en bosschages bieden deze microklimatologische omstandigheden. Bossen en bosschages kunnen dus corridors zijn die de vliegroutes van de volwassen dieren bepalen, terwijl afwezigheid een barrière vormt die deze dieren juist beperken.

Als een ongewerveld aquatisch organisme dan een nieuwe bovenloop bereikt, kunnen we pas van een succesvolle kolonisatie spreken als de habitat geschikt is voor overleving en voortplanting. Voor veel aquatische ongewervelden is een gezonde, heterogene omgeving een levensvoorwaarde, omdat ze tijdens hun leven gebruik maken van verschillende substraat- en habitattypen.

De beperkingen in de verspreidingscapaciteit van fauna heeft grote gevolgen voor herstelprojecten in vooral de haarvaten van beeksystemen. Herstel van de haarvaten begint bij het herstel van de hydrologie, de morfologie en de chemie van het systeem. Hydrologisch herstel houdt vooral het vasthouden, bergen en vertraagd afvoeren van water in vanaf de flanken en zo hoog mogelijk in het systeem. Morfologisch herstel houdt het terugbrengen in van de onregelmatige vormen in lengte- en breedteprofiel en ook het herstellen van de beekbegeleidende corridors ofwel houtwallen. Chemisch herstel begint bij het terugdringen van de eutrofiëring, een van de belangrijkste stressoren in de Nederlandse oppervlaktewateren. Maar ook al zijn deze drie factoren op orde dan nog kan het zijn dat een deel van de fauna niet terugkeert of terug kan keren. Terrestrische verbindingen zijn nodig om de haarvaten binnen en tussen stroomgebieden te verbinden en daar is tot op heden in de ruimtelijke ordening (bijvoorbeeld het Natuurnetwerk Ecologisch Nederland) nog geen rekening mee gehouden. Met andere woorden: terrestrische elementen die de beken begeleiden en die

beken in dwarsrichting verbinden verdienen veel meer aandacht (Smith et al., 2009). Dergelijke migratiecorridors zijn essentieel voor de terugkeer van soorten. Er blijven altijd soorten over die het niet meer op eigen kracht kunnen en die zullen we een handje moeten helpen (herintroduceren) om beeksystemen weer optimaal te kunnen laten functioneren.

### Conclusies en aanbevelingen

Ook buiten de voor de Kaderrichtlijn Water begrensde waterlichamen liggen kansen voor effectieve herstelmaatregelen om de ecologische kwaliteit van beken en rivieren te herstellen. Stuwen fragmenteren niet alleen rivieren en beken, maar benadelen ook de habitatkwaliteit over grote trajecten. Vispassages lossen slechts een deel van het probleem op. Het verwijderen van stuwen, waar mogelijk, verdient de voorkeur.

De haarvaten van het riviersysteem zijn doorgaans minder sterk veranderd en hebben hierdoor een hogere ecologische kwaliteit behouden. Ze bevatten bronpopulaties voor ecologisch herstel van andere haarvaten en de rest van het bekenstelsel. Voor dit herstel zijn natuurlijke oeverzones nodig, deze verbeteren de habitatkwaliteit in beken en vormen belangrijke corridors voor stroomopwaartse migratie van adulte levensfasen van macrofauna. Een onderbelicht aspect hierbij zijn de benodigde verbindingen over land tussen de midden- en bovenlopen. Met een juiste inrichting kunnen deze fungeren als terrestrische migratiecorridor en zo een belangrijke functie vervullen bij het ecologisch herstel vanuit de haarvaten van het riviersysteem. Een aandachtspunt voor ruimtelijke ordening en met name de Omgevingswet.



---

## Summary

The role of habitat quality, riparian zones and terrestrial connectivity for fragmented watersheds.

**Tom Buijse, Ralf Verdonschot, Peter van Puijenbroek & Piet Verdonschot**

habitat quality, fragmentation, source populations, migration barrier, connectivity

In rivers and stream migration barriers do not only fragment watersheds, but also significantly alter and impact habitat quality by impounding running waters over numerous kilometers in the gentle sloping Dutch landscape. Degraded riparian zones caused by agriculture right up to the banks of streams and rivers and reduced variability in landscape structure by large-scale land use both act as migration bottlenecks resulting from habitat alteration and simplification. Across Europe much restoration effort is directed towards improving fish migration by installing fish passes near barriers. We consider this scope too unbalanced and plead for improving habitat quality and migration pathways based on the requirements for a wide range of aquatic species, viz considering river basins as ecological networks do not only encompass whether species are able to migrate but also requires attention to the type and quality of habitats. Riparian zones affect light, temperature and coarse organic material in streams and are essential migration pathways for adult life stages of aquatic insects. Moreover, land bridges between the capillaries in watersheds facilitate the recolonization by air from source populations. Improving instream conditions, riparian zones and even the wider landscape around the upstream sources are required for aquatic biota e.g. fish and insects with an aquatic larval and terrestrial adult life stage depend on a suit of different habitats to fulfil their life cycle. Opportunities and requirements to res-

ture or improve of these habitats may thus be situated outside rivers or streams. Wetlands along rivers and streams and in the upstream capillaries of watersheds are examples of such key habitats for improving the ecological status but receive too little attention as effective restoration measures. The main cause is these wetlands being situated outside the boundaries of for the EU Water Framework Directive designated water bodies which requires support and agreement with multiple stakeholders. We therefore plead for a complementary suit of restoration measures such as dam removal and wetland restoration along streams and small rivers for improving habitat conditions and migration over land and by air. A recent inventory identified 30 examples of dam removal in the Netherlands. One of the largest initiatives comprises the restoration of the mouths of numerous tributaries of the river Meuse for upstream migration and habitat improvement. Nature-based solutions to improve riparian zones encompass amongst others sediment suppletion and wood addition to streams and have recently gained momentum. This reconnects the stream to its valley. On the other hand, increasing landscape structure variability around the headwaters from a stream ecological perspective is till now hardly practiced.

---

## Literatuur

- Brevé, N.W.P., A.D. Buijse, M.J. Kroes et al., 2014.** Supporting decision-making for improving longitudinal connectivity for diadromous and potamodromous fishes in complex catchments. *Science of the Total Environment* 496: 206–218.
- Clarke, A., R. Mac Nally, R., N. Bond et al., 2008.** Macroinvertebrate diversity in headwater streams: a review. *Freshwater Biology* 53/9: 1707-1721.
- Coeck, J., P.P. Schollema, K. Martens et al., 2019.** Herstel van longitudinale connectiviteit in stroomgebieden in Vlaanderen en Nederland. *Landschap* 36/2: xx: xx-xx [INVOEGEN] (dit nummer).
- European Commission, 2003.** Common implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) Guidance Document No 12 Horizontal Guidance on the Role of Wetlands in the Water Framework Directive.
- Fagan W.F., 2002.** Connectivity, fragmentation, and extinction risk in dendritic metapopulations. *Ecology* 83: 3243-3249.
- Gomi T., R.C. Sidle & J.S. Richardson, 2002.** Understanding processes and downstream linkages of headwater systems. *BioScience* 52 905-916.
- Haterd, R. van de, B. Grutters, M. Droog et al., 2018.** Ecologische sleutelfactoren verspreiding & connectiviteit. Tussenrapportage. STOWA 2018 -29.
- Hughes, J.M., 2007.** Constraints on recovery: using molecular methods to study connectivity of aquatic biota in rivers and streams. *Freshwater Biology* 52: 616-631.
- Hughes, J.M., P.B. Mather, A.L. Sheldon et al., 1999.** Genetic structure of the stonefly, *Yoraperla brevis*, populations: the extent of gene flow among adjacent montane streams. *Freshwater Biology* 41: 63–72.
- Kroes, M.J., P. Philipsen & H. Wanningen, 2018.** Nederland leeft met Vismigratie. Actualisatie landelijke database vismigratie. In opdracht van Rijkswaterstaat, Sportvisserij Nederland, Wageningen Marine Research/ Ministerie van LNV, Planbureau voor de leefomgeving.
- MacArthur, R.H. & E.D. Wilson, 1963.** An equilibrium theory of insular zoogeography. *Evolution* 17: 373-387.
- Masters Z., I. Peteresen, A.G. Hildrew et al., 2007.** Insect dispersal does not limit the biological recovery of streams from acidification. *Aquatic Conservation – Marine and Freshwater Ecosystems*, 17: 375–383.
- Miller, M.P., D.W. Blinn & P. Keim, 2002.** Correlations between observed dispersal capabilities and patterns of genetic differentiation in populations of four aquatic insect species from the Arizona White Mountains, USA. *Freshwater Biology* 47: 1660-1673.
- Petersen, I., Z. Masters, A.G. Hildrew et al., 2004.** Dispersal of adult aquatic insects in catchments of differing land use. *Journal of Applied Ecology* 41/5: 934-950.
- Puijtenbroek, P.J.T.M. van, A.D. Buijse, M.H.S. Kraak et al., in prep.** Combined effects of stream fragmentation and habitat quality on lowland stream fish distribution. Resubmitted to *Hydrobiologia* (december 2018).
- Richardson J.S. & R.J. Danehy, 2007.** A synthesis of the ecology of headwater streams and their riparian zones in temperate forests. *Forest Science* 53: 131–147.
- Smith, R. F., L.C. Alexander & W.O. Lamp, 2009.** Dispersal by terrestrial stages of stream insects in urban watersheds: a synthesis of current knowledge. *Journal of the North American Benthological Society* 28/4: 1022-1037.
- Verdonschot, R.C.M. & P.F.M. Verdonschot, 2017.** Monitoring effecten zandsuppletie Leuvenumse beek 2017. Wageningen. Wageningen Environmental Research, Notitie Zoetwatersystemen.
- Verdonschot, R.C.M., D.D. Dekkers, A.A. Besse-Lotoskaya et al., 2016.** Zandsuppletie in de Leuvenumse beek: monitoring van de fysische en biologische effecten 2014-2015. Wageningen. Alterra Wageningen UR.
- Verdonschot, R.C.M., A. M. van Oosten-Siedlecka, A. Besse-Lotoskaya et al., 2014.** Effects of shading on stream water temperature and stenothermic macroinvertebrates; a synthesis of the findings along the trans-European latitudinal climate gradient. REFRESH: Adaptive strategies to Mitigate the Impacts of Climate Change on European Freshwater Ecosystems. Deliverable 2.11+2.12, EU 7th framework programme.
- Westveer, J. J., 2018.** Go with the flow: Unravelling the ecological mechanisms of dispersal and colonization by aquatic macroinvertebrates in restored lowland streams. PhD-thesis. Amsterdam. University of Amsterdam.
- Westveer, J.J., P.F.M. Verdonschot & R.C.M. Verdonschot, 2017.** Substrate homogenization affects survival and fitness in the lowland stream caddisflies *Micropterna sequax* and *Potamophylax rotundipennis*: a mesocosm experiment. *Freshwater Science* 36: 585-594.
- Wolter, C., A.D. Buijse, & P. Parasiewicz, 2016.** Temporal and spatial patterns of fish response to hydromorphological processes. *River Research and Applications* 32: 190-201.