



## Monitoringstrategieën voor het meten van de effectiviteit van beekherstelprojecten

Beekherstelprojecten worden op dit moment gemonitord aan de hand van dezelfde meetprotocollen als de reguliere toestand- en trendmonitoring wordt uitgevoerd. Om meer inzicht te krijgen in de effectiviteit en efficiëntie van de genomen maatregelen is echter aanvullende informatie nodig. In deze Deltafact worden handvatten gepresenteerd voor het ontwerpen van passende meetprogramma's en de keuze van indicatoren om maatregelen te kunnen evalueren.



1. INLEIDING
2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS
3. STRATEGIE
4. TECHNISCHE KENMERKEN
5. GOVERNANCE
6. KOSTEN & BATEN
7. PRAKTIJKERVARING EN LOPEND ONDERZOEK
8. KENNISLEEMTES
9. LITERATUUR/LINKS
10. COLOFON

### 1. Inleiding

In hoeverre de door waterbeheerders gestelde ecologische, hydromorfologische en fysisch-chemische doelen bereikt zijn is voor veel beekherstelprojecten onvolledig in beeld ([Dos Reis Oliviera et al. 2020](#)). Een belangrijke reden hiervoor is dat in projecten vaak geen monitoringsprogramma is opgenomen dat zo ontworpen is dat specifiek de effecten van de genomen maatregelen vastgesteld kunnen worden. De

monitoring is gewoonlijk simpelweg een voortzetting van de toestand- en trendmonitoring voor het vaststellen van het doelbereik van de kwaliteitselementen voor de Kaderrichtlijn Water (KRW). Op basis van dit type monitoring is het vaak lastig om specifiek de effectiviteit van een herstelproject vast te stellen, omdat hiervoor niet op juiste plekken en momenten in de tijd gemeten wordt en niet altijd de best passende parameters worden gemeten.

Om in toekomstige projecten de effectiviteit en efficiëntie van de genomen maatregelen beter te kunnen bepalen, worden in deze Deltafact handvatten gepresenteerd voor het ontwerpen van meetprogramma's en de keuze van indicatoren. De nadruk ligt hierbij op de ecologische doelen die gesteld worden vanuit de KRW, inclusief de bijbehorende randvoorwaarden vanuit de hydrologie (afvoer-stroming), morfologie (substraat) en fysisch-chemische processen (waterkwaliteit).

## 2. Gerelateerde onderwerpen en deltafacts

Specifiek voor het onderwerp monitoringsprogramma's zijn nog geen Deltafacts beschikbaar. Innovatieve monitoringstechnieken worden onder andere behandeld in de Deltafacts: [Remote sensing waterkwantiteits- en waterkwaliteitsbeheer](#), [Peilen en vegetatie in stromende wateren](#) en [DNA-technieken voor waterbeheerders](#).

## 3. Strategie

Op dit moment worden meestal meetpunten die deel uit maken van bestaande waterschapsmeetnetten (t.b.v. KRW of andere beleidsdoelen) gebruikt om herstelprojecten te evalueren, waarbij gekeken wordt naar veranderingen in de gemeten kwaliteitselementen ten opzichte van de periode voor de ingreep. Deze monitoring bestaat uit het meten van een voorgeschreven set parameters met standaardmethoden op meestal vaste meetpunten die met een bepaalde frequentie gemeten worden, bijvoorbeeld maandelijks voor fysisch-chemische parameters, 3-jaarlijks voor macrofauna (voorjaar en/of najaar), en 6-jaarlijks voor vis. Soms wordt een extra meetpunt toegevoegd, dat volgens dezelfde systematiek wordt geëvalueerd. Het zwaartepunt van de bemonsteringen ligt op de biologie (macrofauna, vis, planten, algen) en de fysisch-chemische waterkwaliteit (inclusief prioritaire stoffen en specifiek verontreinigende stoffen, zoals zware metalen en gewasbestrijdingsmiddelen). De biologie is leidend. Daarnaast wordt een mix van ondersteunende biologische, hydrologische en morfologische parameters genoteerd; de zogenoemde meetpunt- en monstervariabelen. Deze variabelen dienen vooral ter

ondersteuning van de interpretatie van de monitoringsgegevens, slechts een klein deel wordt direct in de toestandsbepalingen gebruikt m.b.t. hydrologie en morfologie. De monitoringsaanpak is landelijk gestandaardiseerd en wordt gedetailleerd beschreven in het Handboek Hydrobiologie ([Bijkerk 2014](#)).

Bij het evalueren van een project zorgt deze aanpak voor twee problemen ([Dos Reis Oliviera et al. 2020](#)):

1. Een meetfrequentie om de drie jaar is te laag om de doelrealisatie betrouwbaar in beeld te krijgen. De reden is dat de 'interne' variatie in een traject zowel in de tijd (variatie tussen jaren) als ruimtelijk (variatie in bijvoorbeeld substraatpatronen) vaak hoog is. Wordt er bijvoorbeeld toevallig in een droog jaar gemeten met lage afvoeren, dan geeft dit een ander beeld dan wanneer er in een normaal jaar gemeten wordt. Er zijn dus meer metingen nodig om dit soort variatie te kunnen scheiden van de veranderingen als gevolg van de maatregel;
2. Bij het gebruik van slechts één meetpunt is het lastig om ontwikkelingen op trajectniveau als gevolg van de maatregelen (bijv. hermeandering, inbrengen dood hout) te scheiden van andere, vaak grootschaligere, stroomgebiedsbrede ontwikkelingen binnen de beek (bijv. effect van een warme droge zomer, hoge nutriëntenbelasting). Dit onderscheid is cruciaal voor het meten van effecten van herstelmaatregelen, want als een ontwikkeling overal plaatsvindt dan kan deze niet, in positieve of negatieve zin, toegeschreven worden aan het uitvoeren van het herstelproject.

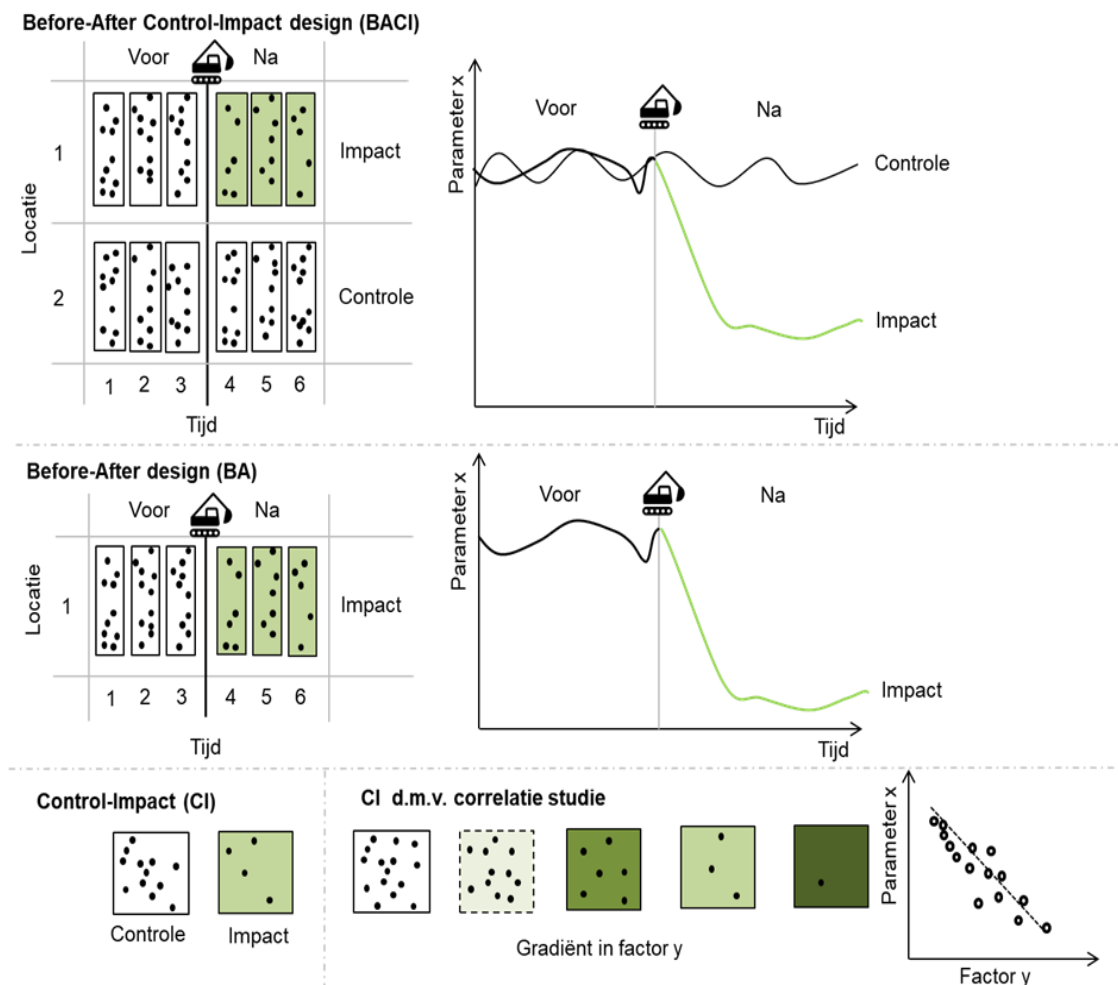
Om deze problemen te ondervangen zijn twee zaken nodig ([Verdonschot et al. 2018a](#)):

1. Er is een monitoringsopzet nodig die specifiek gericht is op het vaststellen van de mate van doelrealisatie en die corrigeert voor andere factoren die invloed op de toestand kunnen hebben;
2. Er moeten tegelijkertijd effectieve (en daarmee kostenefficiënte) technieken toepast, zodat een passende meetfrequentie haalbaar is.

Een stappenplan voor het maken van een meetopzet en monitoringplan voor beekherstelprojecten wordt gegeven in de Handleiding monitoring beekherstel ([Reeze & Lenssen 2015](#)).

## Opzetten van meetprogramma's t.b.v. doelrealisatie herstelprojecten

Het meten van de effecten van beek- en rivierherstelmaatregelen op de ecologische of fysisch-chemische waterkwaliteit is mogelijk op basis van verschillende monitoringsontwerpen (Afbeelding 1). De uiteindelijke zeggingskracht van de resultaten (oftewel de statistische betrouwbaarheid) hangt sterk samen met de keuze voor een bepaald ontwerp.



Afbeelding 1 Drie monitoringsontwerpen die gebruikt kunnen worden voor het opzetten van een monitoringsprogramma om de doelrealisatie van herstelprojecten vast te leggen. Het effect van herstel in de tijd op parameter x wordt gemeten voor en na een ingreep. BACI bevat zowel een impact als een controlelocatie waar voor en na de ingreep gemeten wordt, BA alleen een impactlocatie waar voor en na gemeten wordt en CI een eenmalige meting op een impact- en een controlelocatie. Om het effect van parameter x in een CI ontwerp vast te kunnen stellen kunnen verschillende impactlocaties ook nog worden vergeleken die variëren in factor y.

Het meeste inzicht in de effecten kan worden verkregen met het voor / na controletraject / maatregeltraject-ontwerp ('BACI'): het in de tijd voor en na het uitvoeren van de maatregel meten in zowel het maatregeltraject als in één of meerdere controletrajecten. Deze opzet corrigeert zowel voor de uitgangssituatie (bijv. de samenstelling van de levensgemeenschap) in het traject waar de maatregelen worden uitgevoerd als voor stroomgebiedsbrede veranderingen die in de tijd optreden via de controle. Een voorbeeld van de toepassing van BACI-designs in beekherstel is te vinden in Verdonschot et al. ([2012](#)). Om dit ontwerp toe te kunnen toepassen is het noodzakelijk al ver voor de daadwerkelijke uitvoering van de maatregelen het monitoringsprogramma op te starten, dit vraagt dus een goede planning.

Soms is het gebruik van controle-trajecten niet mogelijk omdat een beek voor een regio unieke eigenschappen heeft en er daardoor geen vergelijkbare controlesituatie te vinden is. In dit geval kan het voor / na maatregeltraject-ontwerp ('BA') een uitkomst zijn, waarbij in de tijd zowel voor als na uitvoering van de maatregel gemeten wordt. De zeggingskracht van zo'n tijdreeksanalyse hangt hierbij sterk af van het aantal metingen dat in de tijd wordt uitgevoerd; vooral het aantal voormetingen om de al aanwezige variatie vast te leggen is belangrijk. Ten opzichte van de huidige KRW-monitoring zal er dus vaker gemeten moeten worden. Valkuil blijft dat, in tegenstelling tot het BACI-ontwerp, veranderingen die plaatsvinden in het maatregeltraject, die niet door de maatregel veroorzaakt worden, automatisch wel toegeschreven worden aan de maatregel. Immers is er geen controletraject om dit type veranderingen te identificeren.

De effectiviteit van maatregelen kan tenslotte ook worden vastgesteld door trajecten waar maatregelen zijn uitgevoerd te vergelijken met trajecten met dezelfde eigenschappen die met rust gelaten zijn (controle): het controletraject / maatregeltraject-ontwerp ('CI'). Controletrajecten liggen altijd bovenstrooms van de maatregeltrajecten om beïnvloeding te voorkomen. Dit ontwerp corrigeert voor stroomgebiedsafhankelijke invloeden, omdat die zowel invloed hebben op het controle- als het maatregeltraject en daardoor tegen elkaar wegvallen in de vergelijking. Een nadeel van dit ontwerp is dat het gevoelig is voor de al aanwezige verschillen tussen de trajecten. Keuze van zo homogeen mogelijke trajecten is dan ook cruciaal, net zoals voldoende herhalingen om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van de toestand van de trajecten. Ook geeft het geen inzicht in de

ontwikkelingen in de tijd. Dit zou kunnen worden ondervangen door een serie locaties te kiezen waarvan bijvoorbeeld de tijd sinds uitvoering (de zogenoemde *'place-for-time substitution'*) of de omvang van de ingreep varieert. In deze dataset kan vervolgens naar correlatieve verbanden gezocht worden. Een voordeel van dit ontwerp ten opzichte van andere ontwerpen is dat het ook achteraf, nadat de maatregel al is uitgevoerd, gebruikt kan worden. Met een groot aantal controle-impact-paren voor een bepaalde parameter kan inzicht verkregen worden in de generieke effecten van maatregelen, zie bijvoorbeeld Kail et al. ([2014](#)).

### **Doelgerichtheid van de monitoringscyclus**

Het standaard biologisch en fysisch-chemisch meetpakket ([Bijkerk 2014](#)), zoals dit nu vaak wordt ingezet om de mate van doelrealisatie vast te stellen, voldoet vaak niet aan de in de vorige paragrafen genoemde eisen. Het vaststellen van een toestand en deze beoordelen (bijvoorbeeld met de KRW-maatlatten) draagt alleen bij aan het geven van een oordeel op een bepaalde plaats op een bepaald moment voor de gemeten parameters. Het inzicht in de achterliggende processen (effecten van maatregelen, diagnose van problemen) wordt erdoor niet vergroot; daarvoor moet een veel meer op een specifieke vraag toegesneden wijze gemeten gaan worden ([Verdonschot et al. 2018a](#)).

Een goed opgezet monitoringsprogramma voldoet aan de volgende eisen ([Niemi & McDonald 2004](#)):

1. Doelen zijn concreet;
2. De ruimtelijke en temporele schaal van de monitoring passen bij de doelen;
3. De problemen (stressoren) en randvoorwaarden zijn in beeld;
4. Er is rekening gehouden met statistische variatie, precisie en accuraatheid bij het opzetten van de monitoring.

Monitoring moet dus doelgericht zijn; specifiekere dan het simpelweg vaststellen van de toestand. Systeemkennis helpt bij het formuleren van concrete doelen en kan bijvoorbeeld via een systeemanalyse worden verkregen, zoals met een SESA ([Verdonschot et al. 2015](#)) en een LESA ([Besselink et al. 2017](#)).

Kennis van het landschapsecologisch systeem en de effecten van stressoren hierop is essentieel voor het formuleren van passende doelen en van belang voor het vaststellen van de relevante indicatoren ([Besselink et al. 2017](#)). De landschappelijke setting (samenstelling van de ondergrond, hoeveelheid verval) is cruciaal voor de keuze van het streefbeeld dat als doel gesteld wordt en de indicatoren die daarbij horen. In een beekdal met veenontwikkeling en een laag verhang worden de doelen immers nooit gehaald bij een streefbeeld van een snel stromende laaglandbeek die beoordeeld wordt op basis van stromingsminnende soorten ([Verdonschot & Verdonschot 2017](#)). Daarnaast vindt beekherstel plaats in een zekere ruimtelijke en sociaal-maatschappelijke context, die randvoorwaarden stelt aan de impact van maatregelen op aangrenzende functies en risico's op neveneffecten. De indicatoren die hiermee samenhangen moeten ook terugkomen in het monitoringsplan.

### **Innovaties bieden nieuwe mogelijkheden**

Zijn de doelen en randvoorwaarden bekend, dan moeten de meettechnieken worden ingezet die passen bij de te onderzoeken parameters op de juiste ruimtelijke en temporele schaal, met hierbij voldoende herhalingen dat er een statisch te onderbouwen (lees betrouwbaarheid) waarde gegenereerd wordt ([Verdonschot et al. 2018a](#)). Sommige morfologische en ecologische processen verlopen langzaam, terwijl andere juist in korte tijd kunnen veranderen. De frequentie en duur van de metingen moeten bij dit ritme aansluiten om uitspraken te kunnen doen over de effecten. Een combinatie van voortschrijdende inzichten in het functioneren van ecosystemen en technologische ontwikkelingen bieden hier steeds vaker uitkomst ([Van der Lee 2020](#)), maar worden nog niet op grote schaal in het waterbeheer toegepast. In de volgende paragraaf wordt hier verder op ingegaan.

## **4. Technische kenmerken**

Startpunt bij succesvolle monitoring is het formuleren van meetbare, heldere doelen die vertaald kunnen worden in een hierop gericht monitoringsprogramma. Ieder doel heeft haar eigen meetontwerp(en) en indicatoren om het doelbereik vast te stellen. Wat (welke indicatoren) en hoe (bijvoorbeeld frequentie per indicator, resolutie per indicator) er binnen het meetontwerp gemeten zou moeten worden hangt af van:

1. **De vraagstelling.** Dit is het uitgangspunt, waarbij de gekozen methode uiteraard zo goed mogelijk moet aansluiten bij de vraag.
2. **De benodigde nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van het antwoord.** Hoe gedetailleerd en met welke betrouwbaarheid uitspraken kunnen worden



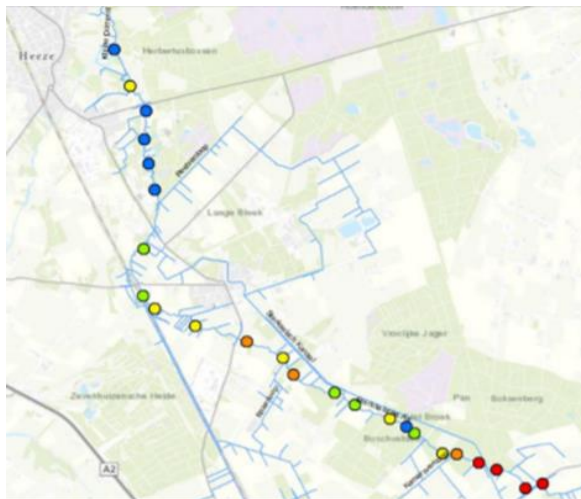
gedaan hangt af van het aantal herhalingen in de ruimte en tijd. Dit hangt bijvoorbeeld weer samen met het economische factoren (beschikbaar budget, capaciteit etc.) en hoe snel een antwoord genereerd moet worden.

3. **De locatie/context.** Niet iedere methode kan worden toegepast in elk systeem. Dit kunnen bijvoorbeeld hydromorfologische randvoorwaarden zijn, omdat bepaalde meetmethoden alleen kunnen worden toegepast wanneer een watergang een zekere diepte of afvoer heeft. Ook andere factoren kunnen een rol spelen, zoals fysieke bereikbaarheid van meetpunten en risico op verstoring/vernieling van meetopstellingen.

Verschillende technische ontwikkelingen maken het mogelijk om enerzijds specifiek (diagnosticeren van stressoren) en anderzijds op een grotere ruimtelijke schaal uitspraken te kunnen doen over het doelbereik van maatregelen. Voorbeelden van biologische en hydromorfologische monitoringsinnovaties zijn:

#### *Metten van maatregelleffectiviteit aan de hand van biologische quickscans*

Wanneer het doel van de monitoring het bepalen van de toestand van een waterlichaam is, dan is het vaak niet nodig complete soortenlijsten te genereren zoals dit nu met de huidige KRW-methoden plaatsvindt. Er zijn verschillende snellere



*Afbeelding 2 Impressie quickscan macrofauna in de Sterkselsche Aa, de kaart geeft een ruimtelijk beeld van de invloed van de factor toxiciteit op de macrofauna.*

beoordelingsmethoden ontwikkeld voor stromende wateren waarmee een snelle beoordeling in kwaliteitsklassen mogelijk is op basis van bepaalde goed herkenbare indicatoren ([Verdonschot & Verdonschot 2020](#)). Eventueel kan de behaalde effectiviteitswinst worden ingezet om meer meetpunten in een waterlichaam te onderzoeken, waardoor ruimtelijk een beter beeld verkregen wordt van de situatie ([Verdonschot & Verdonschot 2019a](#), Afbeelding 2).

#### *Gebruik van biologische en ecologische traits (milieu- en habitatpreferenties)*

Er zijn ook quickscans op basis waarvan een relatie gelegd kan worden met bepaalde milieufactoren (Verdonschot & Verdonschot 2019a). Hiervoor wordt de



levensgemeenschap gescreend op het voorkomen van bepaalde eigenschappen gebonden aan specifieke milieumomstandigheden (*trait-based-assessment*; [Verberk et al. 2012](#)). Voor veel soorten macrofauna is een brede set aan eigenschappen bekend, variërend van lichaamsgrootte tot de preferentie voor bepaalde stroomsnelheden. Deze database is [hier](#) te vinden. Enkele habitatvereisten van andere soortgroepen zijn [hier](#) beschikbaar.

Door veranderingen in het milieu, bijvoorbeeld na het uitvoeren van maatregelen, neemt het aandeel van bepaalde eigenschappen af en andere toe, zo neemt bijvoorbeeld na het saneren van een overstort het aandeel polysaprobe organismen af. Op basis van de verhoudingen in aangetroffen eigenschappen in de levensgemeenschap kan een uitspraak worden gedaan over de effectiviteit of het doelbereik, bijvoorbeeld door een vergelijking te maken met de verhoudingen onder referentieomstandigheden. Voordelen van het gebruik van eigenschappen zijn onder andere dat er minder taxonomische en geografische beperkingen zijn dan bij het gebruik van taxonomische informatie en dat er 'a priori' een voorspellende kracht vanuit gaat.

#### *Alternatieven voor de gangbare biologische indicatoren*

Uit recent onderzoek blijkt dat succesvol beek- en rivierherstel afgeleid kon worden van de ontwikkelingen die zich in de beekbegeleidende zone afspelen ([Hering et al. 2015](#)). Met name de semi-terrestrische fauna bleek erg indicatief voor hydrologische en morfologische ontwikkelingen langs beken en rivieren door hun sterke respons op verschillende milieufactoren ([Januschke & Verdonschot 2016](#)). Net zoals voor macrofauna is er een groot aantal eigenschappen (milieu- en habitatpreferenties, 'traits') beschreven die in verband te brengen zijn met stressoren. Een voordeel van deze semi-terrestrische groepen is dat, in tegenstelling tot veel macrofauna, de meeste soorten een goed dispersievermogen hebben, waardoor ze relatief snel kunnen opduiken op het moment dat de omstandigheden geschikt zijn.

#### *Moleculaire detectie en identificatie van organismen*

Door het DNA van organismen te vergelijken met een referentiedatabase is het mogelijk deze op naam te brengen, zonder dat hiervoor op de klassieke manier (op basis van morfologische kenmerken) gedetermineerd hoeft te worden. Deze techniek kan worden toegepast op de biologische monsters die in het waterbeheer verzameld worden en zou een flinke tijdsbesparing kunnen opleveren omdat de determinatiestap in de monitoringscyclus achterwege kan blijven ([Beentjes et al.](#)

[2018](#)). Daarnaast is het in sommige gevallen, bijvoorbeeld voor vis, ook mogelijk een watermonster te nemen en daaruit af te leiden welke soorten er voorkomen (op basis van het door de organismen losgelaten DNA in het water: eDNA). Voor meer details zie de Deltafact [DNA-technieken voor waterbeheerders](#).

### *Isotopen*

De verschillende isotopen van stikstof kunnen gebruikt worden om bronnen en omzettingen van stikstof vanuit niet natuurlijke bronnen te volgen in aquatische systemen ([Hershey et al. 2017](#)). Zo kan bijvoorbeeld op basis van de stikstofisotopen in het sediment van waterbodems de eutrofiëringsgraad en de herkomst worden gedetecteerd (zie ook [Kennisimpuls waterkwaliteit thema nutriënten](#)). Ook kan de natuurlijke radioactiviteit gebruikt worden om de samenstelling en de textuur van de bodem in beeld te brengen, waaronder de onderwaterbodem ([IAEA 2003](#)).

## **Van het vaststellen van de toestand naar het monitoren van processen**

Met het kleiner worden van dataloggers, ontwikkelingen in sensor- en digitale beeldvorming en beeldanalysetechnologie, de toegenomen digitale opslagcapaciteit en verbeterende batterijen en koppeling met zonnecollectoren is het mogelijk continu over langere perioden te meten aan processen die in het water spelen. Voorbeelden zijn:

### *Remote sensing; voor een beter begrip van de ruimtelijke heterogeniteit*

De ruimtelijke heterogeniteit in een gebied is met traditionele 'punt'-monitoringstechnieken vaak lastig in kaart te brengen. Remote sensing kan hierin een oplossing bieden, doordat er vanaf een grotere afstand met een vliegend platform vlakdekkend naar een groter gebied gekeken kan worden. We onderscheiden de volgende typen platformen: satellieten, vliegtuigen en drones.

Afhankelijk van de gewenste resolutie en vraag kan voor één van deze drie platformen worden gekozen, in combinatie met daarop aanwezige sensoren. We onderscheiden verschillende groepen sensoren voor remote sensing toepassingen: sensoren die gebruik maken van elektromagnetische golven (grondradar (GPR) en gammaspectrometrie voor de opbouw en samenstelling van de bodem en bathymetrie), lichtgolven (multi- en hyperspectrale camera's voor o.a. optische



Afbeelding 3 Metingen met een gammaspectrometer vanaf een boot om de substraatsamenstelling van de onderwaterbodem in kaart te brengen.

waarneming, groen-indexen, en laser-sensoren voor hoogtemetingen en bathymetrie) en geluidsgolven (sonar, veelal op varende platforms voor bathymetrie). Een voorbeeld van innovatief gebruik remote sensing in beeksystemen is de inzet van GPR en gammaspectrometrie op drijvende platforms voor bathymetrie en substraatmonitoring (Afbeelding 3).

De keuze voor een combinatie van een platform en sensoren is afhankelijk van de vraag en de benodigde resolutie (Blaas et al. 2016). Momenteel leveren enkele Europese satellieten, zoals die van het Copernicusprogramma (onder andere

de Sentinel 1,2 en 3) gratis beelden met een resolutie die acceptabel is voor analyses op een groot ruimtelijk schaalniveau. Zo levert de Sentinel 2 hyperspectrale beelden met een resolutie van 10x10 meter en een frequentie van iedere 5 dagen. Voor de uiterwaarden van de grote rivieren is dit detailniveau voldoende, maar in kleinschaligere landschappen zoals beekdalen is een hoger detailniveau nodig. Er zijn momenteel enkele commerciële satellieten die al beelden met een resolutie van 0.5 x 0.5 meter leveren, waarvan de TripleSat en Superview via de NSO beschikbaar worden gesteld. Deze beelden kunnen o.a. worden gebruikt voor de schouw, zoals in een pilot bij Waterschap Drents Overijsselse Delta heeft plaatsgevonden. Een andere toepassing zijn vlakdekkende bedekkingsanalyses door het jaar heen voor watergangen vanaf ongeveer 10 m breedte (Berends et al. 2019).

In vergelijking met satellietbeelden is vanuit een vliegtuig vaak een hogere resolutie te bereiken en kan de vlucht ook op bewolkte dagen worden uitgevoerd voor een specifiek aandachtsgebied (resolutie ca. 7 x 7 cm). Met drones zijn nog hogere resoluties (0.03 x 0.03 m) haalbaar. Deze zijn met name geschikt om in te zetten bij het monitoren van kleinere of smalle lijnvormige objecten of het volgen van processen met een geringe ruimtelijke impact zoals oeverwalvorming langs een

beek. Hierbij is de afweging uiteraard hoe groot het te beschouwen gebied is en in hoeverre het vliegen met een vliegtuig of drone een kosteneffectieve aanpak levert op de benodigde ruimtelijke schaal. Op de schaal van één watergang kan bijvoorbeeld het beste een quad- of hexacopter-drone worden ingezet, terwijl bij het in beeld brengen van meerdere watergangen of een beekdalbrede monitoring de inzet van een fixed-wing drone efficiënter is. Wanneer een deelstroomgebied in beeld moet worden gebracht is hiervoor een vliegtuig meer geschikt. Daarnaast is er wet- en regelgeving die eisen stelt aan het vliegen met drones, bijvoorbeeld door restricties in reikwijdte en luchtruimtoegankelijkheid. Tenslotte geldt ook dat hogere resolutie beelden met zich meebrengen dat het verwerken en de opslag van data bewerkelijker worden.

Meer informatie over dit onderwerp is te vinden in de deltafacts [Remote sensing waterkwantiteits- en waterkwaliteitsbeheer](#) en [Peilen en vegetatie in stromende wateren](#).

*Online en real time in-situ sensoren; voor beter begrip van ontwikkelingen in de tijd*

Vaste meetpalen worden soms onder 'remote sensing' genoemd, zijnde 'op afstand ingewonnen data', als deze data zonder veldbezoek kunnen worden doorgestuurd naar een server voor verdere verwerking. Vaste meetpalen leveren een gedetailleerd beeld van de ontwikkelingen door de tijd. Bijvoorbeeld time-lapse camera's die met een bepaalde frequentie foto's nemen of een bepaalde parameter meten (temperatuur, wind, stroming, waterhoogte, geleidbaarheid, zuurstof etc.).

Door technologische ontwikkelingen zoals het kleiner worden van dataloggers, ontwikkelingen in sensor- en digitale beeldvorming en beeldanalysetechnologie, de toegenomen digitale opslagcapaciteit, het vrijwel landsdekkend mobiel netwerk en een verbeterende stroomvoorziening (batterijen, zonnepanelen etc.) is het mogelijk continu over langere perioden te meten aan processen die in het water en omliggende stroomgebied spelen. Dit kan waardevolle inzichten opleveren. Voor organismen is bijvoorbeeld de zuurstofhuishouding of het temperatuurverloop essentieel, maar de knelpunten hierin treden in veel waterlichamen maar af en toe op. Met reguliere monitoring zijn deze momenten moeilijk te vangen.



*Afbeelding 4 Optische zuurstofsensoren in een nevengeul van de Overijsselse Vecht, waarmee hoogfrequent de zuurstofconcentratie wordt geregistreerd.*

Continu metingen met dataloggers zijn een goede oplossing om meer inzicht in deze tijdscomponent te krijgen ([Van der Lee 2020](#); Afbeelding 4). Voorbeelden van op dit moment te meten parameters zijn waterhoogte, zuurstof, temperatuur, geleidbaarheid, zuurgraad, stikstof, fosfor, chlorofyl-a. Wanneer ook een ruimtelijke component hierin gewenst is, zijn glasvezelkabels een efficiënte optie voor de monitoring van kilometers watergang. Deze techniek wordt op dit moment ingezet voor het meten van de watertemperatuur ([Kaandorp et al.](#)

[2017](#)).

Andere belangrijke ecosysteemprocessen zijn bijvoorbeeld de stabiliteit in tijd en variatie in ruimte van stroming en substraatpatronen in stromende wateren. Voor het meten van veranderingen in beddingmorfologie en substraatpatronen kunnen digitale camera's worden gebruikt, welke op vaste tijdstippen beelden maken en deze via het GSM-netwerk versturen. Het vast te leggen oppervlak is relatief klein (in de orde van grootte van vierkante meters, afhankelijk van het type lens van de camera), waardoor het wenselijke is meerdere camera's in een traject te plaatsen om voldoende grip te krijgen op de variatie die in een traject aanwezig is. Een dergelijk systeem wordt al [gebruikt](#) om de morfologie van zandige kusten op verschillende locaties direct online en automatisch te volgen.

Een toepassing in beken en rivieren zou bijvoorbeeld kunnen zijn in de tijd te beoordelen of bepaalde voor de fauna belangrijke onderdelen van het habitat (zoals grindbedden als paaiplaats voor vissen of habitat voor grindbewonende macrofauna) niet bedekt raken met een laag slib gedurende het jaar. Dit is moeilijk vast te stellen tijdens een eenmalig bezoek van een locatie. Andere voorbeelden van continue metingen die kunnen worden uitgevoerd zijn bijv. stromings-, en afvoerpatronen door middel van akoestische dopplerstroommetingen, waterstands-, en golfmetingen middels drukmeters en troebelheidsmeters op basis van backscatter-technologie.

Tenslotte is de mate en snelheid van decompositie (de afbraak van organisch materiaal) is ook een uiterst belangrijk ecosysteemproces. Dit wordt niet met technologie vastgesteld, maar gemeten aan de hand van het verlies van organisch materiaal in vooraf gestandaardiseerde eenheden die in de beek worden geplaatst, bijvoorbeeld in de vorm van DECOTABS ([Kampfraath et al. 2012](#)).

*Tabel 1: Overzicht monitoringsinnovaties en hun toepassing. Alle voorbeelden zijn in meer detail beschreven in de Deltafact.*

Inzet	Voorbeeld(en) toepassingen
Met minder meten toch informatie verzamelen	Biologische quickscans
	Eigenschappen (milieu-en habitatpreferenties) van aanwezige soorten gebruiken als proxy voor veranderingen in milieufactoren
Nieuwe technieken voor bestaande indicatoren inzetten	Moleculaire detectie en identificatie
	Isotopen
Nog onbekende relaties of veranderingen in het milieu aantonen	Nieuwe indicatoren
Op grotere ruimtelijke schaal data verzamelen	Remote sensing
Met een hogere resolutie ontwikkelingen in de tijd vastleggen voor stoffen, structuren en processen	Continu metingen met dataloggers
	Beelden vastleggen met time lapse camera's
	Gestandaardiseerd afbraak van organisch materiaal volgen

## 5. Governance

Om te kunnen leren van projecten is het vastleggen/documenteren van het proces (de stappen die doorlopen zijn bij de uitvoering) en de veranderingen in het systeem die dit teweeg heeft gebracht (maatregelleffectiviteit of doelbereik) cruciaal ([Dos Reis Oliveira et al. 2020](#)). Hiermee kan namelijk de opgedane ervaring toegepast en geoptimaliseerd worden in toekomstige projecten.

De opzet en inbedding van de monitoring moet al vroeg in het planproces van de beoogde maatregelen worden besproken met alle betrokken partijen. Waarborging van financiering van de projectmonitoring, maar ook aspecten als vergunningverlening en databeschikbaarheid en opslag voor een voldoende lange tijd moeten hierbij ook aan de orde komen. Als al ruim voor de daadwerkelijke ingreep



nulmetingen kunnen worden uitgevoerd, levert dit een solide basis om de maatregel uiteindelijk correct te kunnen evalueren.

Een goed opgezet monitoringsprogramma ondersteunt de mogelijkheid maatregelen ook op andere plekken in te zetten of binnen het gebied op te schalen, omdat beter bekend is wat de mogelijkheden en beperkingen zijn. Het hebben van deze monitoringsresultaten vergemakkelijkt ook de communicatie naar betrokkenen, zowel intern als extern. Het kunnen uitleggen waarom maatregelen worden genomen en wat de te verwachten effecten zijn is belangrijk voor het krijgen van draagvlak ([Verdonschot et al. 2018b](#)).

Waarom de bovengenoemde aanpak momenteel slechts in een klein aantal projecten wordt gevolgd, is niet duidelijk en wordt door middel van interviews onderzocht binnen het kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (OBN) project [Aangepast beheer en kleinschalige maatregelen in beken](#). Komt dit voort uit de beschikbare middelen of speelt bijvoorbeeld onbekendheid bij de betrokkenen met het opzetten van monitoring een rol?

## 6. Kosten en baten

Ondanks dat sommige nieuwe monitoringstechnieken, zoals quickscans, op een snellere en kosteneffectievere manier informatie kunnen opleveren (voor macrofauna bijvoorbeeld 20% van de kosten van een regulier KRW-monster, [Verdonschot & Verdonschot 2019a](#)), vraagt het opzetten van een nieuw monitoringsprogramma een investering. Echter, door passende monitoring uit te voeren komt beter in beeld welke beekherstelmaatregelen wel en niet werken in specifieke situaties, waardoor in de toekomst in nieuwe projecten direct op de meest effectieve en kostenefficiënte maatregelen ingezet kan worden. Op dat moment gaat de investering renderen en zorgen voor een besparing.

Ook het inzetten van veel van de eerder genoemde innovatieve technieken vraagt om investeringen. Bijvoorbeeld de aanschaf van de benodigde apparatuur (dataloggers) kan relatief prijzig zijn.

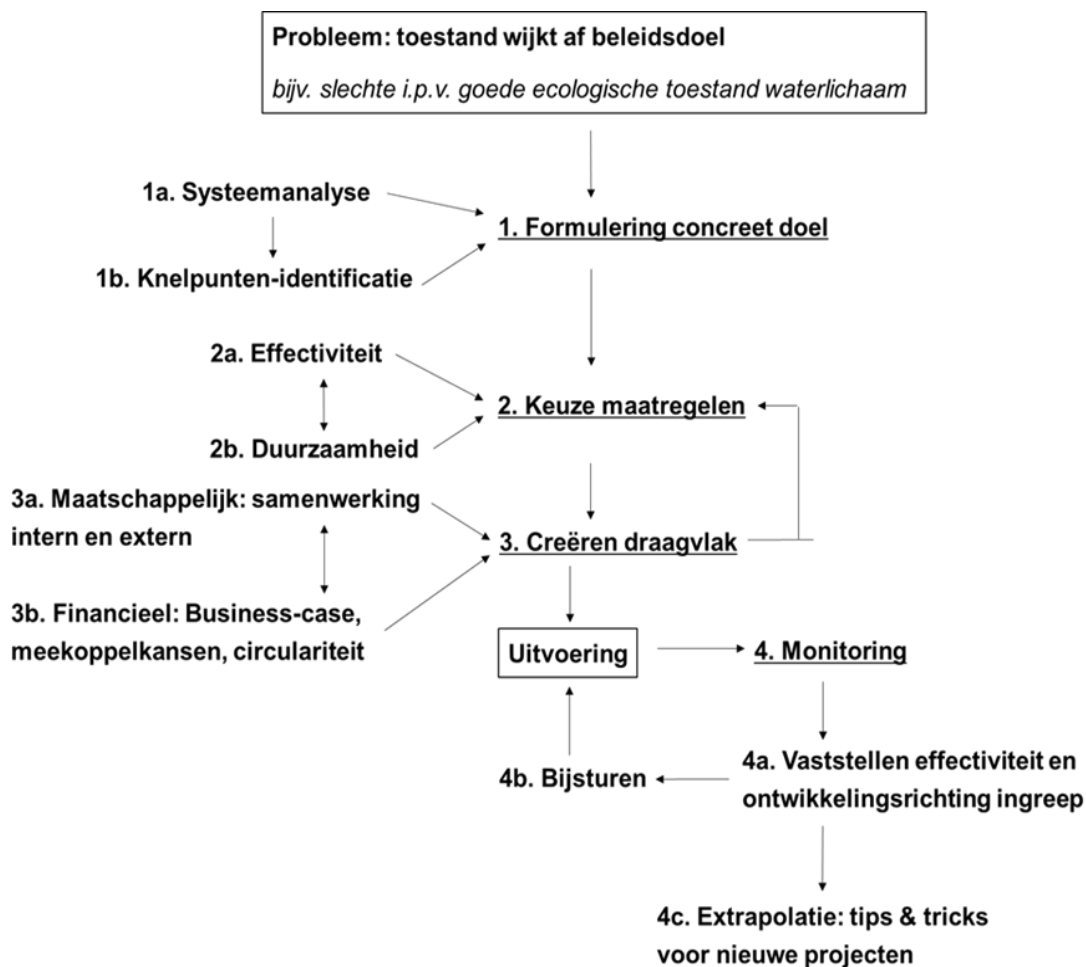
Het is daarom de moeite waard budget over te hevelen van het statisch beoordelen van de toestand (nu circa 75% van de totale monitoringskosten) naar monitoring die het evalueren-diagnosticeren tot doel heeft (nu slechts circa 25% van de kosten; [Verdonschot et al. 2018a](#)).

Verder kunnen, door te werken met gestandaardiseerde repliceerbare monitoring, de monitoringsinspanningen van verschillende waterbeheerders gecombineerd worden om zo bepaalde vragen te beantwoorden. Deze opschaling van lokaal naar regionaal



of landelijk vergroot de zeggingskracht van de resultaten en kan leiden tot het sneller detecteren van generieke patronen. Daarnaast kunnen de kosten gedeeld worden, bijvoorbeeld via een gecombineerde analyse van de verzamelde gegevens. Hierdoor leveren projecten relatief meer op dan wanneer ieder voor zich in isolatie een bepaalde maatregel onderzoekt.

De inbedding van monitoring binnen een herstelprojecten en de context eromheen in termen van governance aspecten wordt gegeven in Verdonschot & Verdonschot (2019b) (Afbeelding 5).



Afbeelding 5 Schematische weergave van de samenhang tussen de onderdelen van een beekherstelproject, afgebeeld als een stappenplan. Meer details over de verschillende stappen zijn te vinden in Verdonschot & Verdonschot 2019b.

## 7. Praktijkervaring en lopend onderzoek

De keuze voor de verschillende monitoringsstrategieën is afhankelijk van de gestelde doelen en de beschikbare middelen. De hierboven beschreven manieren om

maatregel-evaluaties op te zetten en het inzetten van innovatieve methoden zijn nog niet gangbaar in de dagelijkse praktijk en worden nu vooral gerelateerd aan meerjarige veldexperimenten en -onderzoeken die uitgevoerd worden in samenwerking met kennisinstellingen, waaronder het project "Kleinschalige maatregelen Brabantse wateren" van de waterschappen Aa en Maas, de Dommel en Brabantse Delta en de Provincie Noord-Brabant ([Verdonschot et al. 2016](#)), "Impuls Hierdense beek" van Waterschap Vallei en Veluwe en Natuurmonumenten ([Verdonschot et al. 2018b](#)), het onderzoek '[Aangepast beheer en onderhoud en kleinschalige maatregelen in beken](#)' aan beekdalen binnen het kennisnetwerk OBN en het kennisprogramma voor een klimaatrobuust bodem- en watersysteem [Lumbricus](#).

In veel herstelprojecten lag en ligt het zwaartepunt van de inspanning nog steeds op de uitvoering van het project, terwijl de monitoring van de effectiviteit weinig aandacht krijgt ([Didderen & Verdonschot 2009](#), [Dos Reis Oliveira et al. 2020](#)). Gevolg is dat er in de meeste gevallen niet of met een te lage frequentie gemeten wordt om de doelrealisatie, mits die meetbaar is geformuleerd, in beeld te krijgen op een statistisch onderbouwde manier. Het probleem zit hem vaak in het ontwerp van het meetprogramma, waarbij controlemeetpunten en metingen voorafgaand aan maatregelen (nulmetingen) niet worden opgenomen. Om dit te kunnen veranderen is het belangrijk het monitoringsprogramma al ver voorafgaand aan de daadwerkelijke uitvoering van het project in beeld te hebben en hier vervolgens ook niet meer van af te wijken: waar wordt gemeten en hoeveel herhalingen zijn er nodig om een statistisch onderbouwde uitspraak te kunnen doen over de effectiviteit?

In sommige gevallen is er nog niet veel ervaring met een maatregel, zoals de vernatting van het beekdal van de Leuvenumse beek op de Veluwe door middel van zandsuppletie ([Verdonschot et al. 2018b](#), [Dos Reis Oliveira et al. 2019](#)). Een goede monitoringsopzet biedt dan de mogelijkheid de 'vinger aan de pols' te houden en eventueel bij te sturen om het proces te optimaliseren, de zogenoemde adaptieve monitoring. Daarnaast hebben ecosystemen altijd een zekere onvoorspelbaarheid in zich, zowel door externe (bijvoorbeeld een extreem droog jaar tijdens uitvoering) als interne processen (er is nog veel niet bekend over bijvoorbeeld interacties tussen processen, waardoor onverwachte ontwikkelingen kunnen optreden). Het is dus sowieso belangrijk tijdens en na uitvoering van een project de ontwikkelingen te

volgen en eventueel bij te sturen als er signalen zijn dat er iets verkeerd gaat. Dit betekent dus ook dat dit ingecalculeerd moet zijn in het project.

## 8. Kennisleemtes

Om stappen te kunnen maken in het waterbeheer moet in de toekomst meer worden geïnvesteerd in het vaststellen van effecten van maatregelen in plaats van routinematige monitoring. Het beter begrijpen van de werking van watersystemen (sturende processen en de invloed van stressoren hierop) en de effecten die ingrepen in deze systemen hebben is van groot belang. Het maakt duidelijk welke maatregelen wel en niet werken en vooral het waarom hierachter. Daarnaast maakt een vergroot inzicht in het watersysteem het inspelen op nieuwe problemen in de toekomst makkelijker.

Met de voortschrijdende wetenschappelijke kennis van de biologische, hydromorfologische en fysisch-chemische processen in beken en rivieren en de toename van de mogelijkheden in monitoring door onder andere de digitalisering komen steeds meer mogelijkheden voor monitoring. De vraag is echter hoe deze kennis en nieuwe technieken ingebed kunnen worden in de praktijk. Waarom gebeurt dit nu niet en wat is er voor nodig om deze doorstroming van wetenschap naar de praktijk sneller te laten verlopen? Ook het proces vraagt aandacht, hoe wordt dit type monitoring een integraal onderdeel van een project zodat voldoende en ook voorafgaand aan de maatregelen metingen kunnen worden verricht?

Er is daarnaast ook een optimalisatieslag nodig om te komen tot de juiste meetfrequentie en ruimtelijke schaal van meten. Hoeveel herhalingen zijn er eigenlijk nodig om een betrouwbare uitspraak te doen en hoe moeten die over een waterlichaam verdeeld zijn? Dit is theoretisch te beredeneren, maar een goede verificatie heeft in beken nooit plaatsgevonden omdat de monitoringsgegevens die in het verleden zijn verzameld hier niet voor bedoeld waren.

Nieuwe technieken leiden tot kennisleemtes op een heel ander vlak, namelijk een efficiënte afhandeling van de geproduceerde datastromen. Hiervoor moeten nieuwe manieren worden bedacht om dit goed op te slaan, te beheren en informatie eruit beschikbaar te maken. Tegenwoordig is veel data maken niet meer het probleem, er iets nuttigs uit destilleren des te meer.

Tenslotte zijn er ook nog kennishiaten op het terrein van de hydromorfologie en de ecologie die nader onderzoek vragen. Belangrijke kennisleemtes liggen op het gebied van het grootschalig meten van sedimenttransport in beken en rivieren en er zijn veel vragen over de mechanismen achter verslibbing van beken. Wat betreft de ecologie is er amper kennis over dispersiemogelijkheden en daarmee kans op terugkeer van macrofauna en water- en oeverplanten in herstelde trajecten.

## 9. Literatuur

- Beentjes, K.K., Speksnijder, A.G.C.L., Schilthuizen, M., Schaub, B.E.M., van der Hoorn, B.B. (2018) The influence of macroinvertebrate abundance on the assessment of freshwater quality in The Netherlands. Metabarcoding and Metagenomics 2:e26744. <https://mbmg.pensoft.net/article/26744/>
- Berends, K., Fraaije, R., Gaytan Aguilera, S., Verdonschot, R., Penning, E. (2019) Efficient vegetation management through remote sensing in small streams. NCR DAYS 2019 p. 54-55. Utrecht University, Utrecht. [https://ris.utwente.nl/ws/files/94264692/NCR\\_2019\\_Berends.pdf](https://ris.utwente.nl/ws/files/94264692/NCR_2019_Berends.pdf)
- Besselink, D., Logemann, D., van de Werfhorst, H., Jansen, A., Reeze, B. (2017) Handboek ecohydrologische systeemanalyse beekdallandschappen. STOWA rapport 2017-05, STOWA, Amersfoort. [https://www.natuurkennis.nl/Uploaded\\_files/Publicaties/handboek-ecohydrologische-systeemanalyse-beekdallandschappen.021812.pdf](https://www.natuurkennis.nl/Uploaded_files/Publicaties/handboek-ecohydrologische-systeemanalyse-beekdallandschappen.021812.pdf)
- Bijkerk, R. (red.) (2014) Handboek Hydrobiologie. STOWA rapport 2014-02. STOWA, Amersfoort <https://www.stowa.nl/publicaties/handboek-hydrobiologie>
- Blaas, M. Penning E, Eleveld M, Dionisio Pires M, & Blauw A (2016) Waterkwaliteitsbeheer – Remote sensing komt steeds meer binnen bereik. H2O online 1612-06. <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/waterkwaliteitsbeheer-remote-sensing-komt-steeds-meer-binnen-bereik>
- Didderen, K.; Verdonschot, P.F.M. (2009) De actuele toestand van beekherstel in Nederland. H2O 42: 4-5. <https://edepot.wur.nl/5151>
- Dos Reis Oliveira, P.C., Van der Geest, H.G., Kraak, M.H.S., Westveer, J.J., Verdonschot, R.C.M., Verdonschot P.F.M. (2020) Over forty years of lowland stream restoration: lessons learned? Journal of Environmental Management 264:110417. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720303510>

- Dos Reis Oliveira P.C., Kraak M.H.S., Verdonschot, P.F.M., Verdonschot R.C.M. (2019) Lowland stream restoration by sand addition: impact, recovery and beneficial effects on benthic invertebrates. *River Research and Applications* 35:1023-1033. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/rra.3465>
- Hering, D., Aroviita, J., Baattrup-Pedersen, A., Brabec, K., Buijse, T., Ecke, F., Friberg, N., Gielczewski, M., Januschke, K., Köhler, J., Kupilas, B., Lorenz, A.W., Muhar, S., Paillex, A., Poppe, M., Schmidt, T., Schmutz, S., Vermaat, J., Verdonschot, P.F.M., Verdonschot, R.C.M., Wolter, C. & J. Kail (2015) Contrasting the roles of section length and instream habitat enhancement for river restoration success: a field study on 20 European restoration projects. *Journal of Applied Ecology* 52: 1518-1527. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2664.12531>
- Hershey, A.E., Northington, R.M., Finlay, J.C., Peterson, B.J. (2017) Stable isotopes in stream food webs. In: Lamberti, G.A., Hauer, F.R. (eds.) *Methods in stream ecology. Volume 2: ecosystem function. Third edition* P. 3-20. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128130476000012>
- IAEA (2003) Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data. AEA-TECDOC-1363, IAEA, Vienna. [https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/te\\_1363\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/te_1363_web.pdf)
- Januschke, K. & R.C.M. Verdonschot (2016) Effects of river restoration on riparian ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in Europe. *Hydrobiologia* 769: 93-104. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10750-015-2532-6>
- Kaandorp, V., De Louw, P., Doornenbal, P. (2017) Monitoring met glasvezelkabels in beken laat lokale effecten en heterogeniteit in watertemperatuur zien. *Water Matters* 2:36-39. [https://www.h2o-watermatters.com/includes/partials/printArticle.php?ed=201712&art=09\\_Artikel](https://www.h2o-watermatters.com/includes/partials/printArticle.php?ed=201712&art=09_Artikel)
- Kail, J., Lorenz, A., Hering, D. (2014) Effects of large- and small-scale river restoration on hydromorphology and ecology. EU Deliverable D4.3 REFORM <https://reformrivers.eu/system/files/4.3%20Effects%20of%20large-%20and%20small-scale%20restoration.pdf>
- Kampfraath, A.A., Hunting, E.R., Mulder, C., Breure, A.M., Gessner, M.O., Kraak, M.H., Admiraal, W. (2012). DECOTAB: a multipurpose standard substrate to assess effects of litter quality on microbial decomposition and

invertebrate consumption. *Freshwater Science* 31:1156-1162.

<https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1899/12-075.1>

- Niemi, G.J., McDonald, M.E. (2004). Application of ecological indicators. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 89-111.  
<https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.ecolsys.35.112202.130132>
- Reeze, B., Lensen, J. (2015) Handleiding monitoring beekherstel. SOTWA rapport 2015-11, STOWA, Amersfoort.  
<https://www.stowa.nl/publicaties/handleiding-monitoring-beekherstel>
- Van der Lee, G.H. (2020) Organisms make ecosystems function. Identifying functional indicators of anthropogenic stress in aquatic ecosystems. PhD thesis Universiteit van Amsterdam, Amsterdam.  
<https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PROJECTEN/Projecten%202016/443324%20Smart%20monitoring/Gea%20van%20der%20lee.pdf>
- Van der Molen, P.C., Baaijens, G.J., Grootjans, A., Jansen, A. (2010) Landschapsecologische Systemanalyse. Brochure  
<https://edepot.wur.nl/345262>
- Verberk, W.C.E.P., Verdonschot, P.F.M., Haaren, T. van, Maanen, B. van. 2012. Milieu- en habitatpreferenties van Nederlandse zoetwatermacrofauna. WEW Themanummer 23. Van de Garde-Jémé, Eindhoven  
<https://www.stowa.nl/publicaties/milieu-en-habitatpreferenties-nederlandse-zoetwatermacrofauna>
- Verdonschot, P.F.M., Verdonschot, R.C.M., van der Lee, G.H., de Baat, M.L (2018a) Adaptief monitoren: versterking kennisbasis en verfijning waterbeheer. *Landschap* 35: 59-65.  
<https://www.landschap.nl/tijdschrift/archief/laatste-nummer-2018-1/adaptief-montoren/>
- Verdonschot, P., Verdonschot, R., Bauwens, J., Brugmans, B., Dees, A., Kits, M., Moeleker, M., Hoog, J. de, Scheepens, M., Barten, I., Coenen, D., Vught, A. van, Roovers, S. (2016) Kennisoverzicht kleinschalige maatregelen in Brabantse beken. STOWA rapport 2017-16, STOWA, Amersfoort.  
<https://www.stowa.nl/publicaties/kennisoverzicht-kleinschalige-maatregelen-brabantse-beken>
- Verdonschot, P.F.M., Verdonschot, R.C.M., Besse-Lototskaya, A (2015) ESF stromende wateren en stroomgebiedsbrede ecologische systemanalyse. H2O

online 27 augustus 2015. <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/esf-stromende-wateren-en-stroomgebiedsbrede-ecologische-systeemanalyse>.

- Verdonschot, P., Besse, A., De Brouwer, J., Eekhout, J., Fraaije, R. 2012. Beekdalbreed hermeanderen. STOWA rapport 2012-36, STOWA, Amersfoort. <https://www.stowa.nl/publicaties/beekdalbreed-hermeanderen>
- Verdonschot R.C.M., Verdonschot P.F.M. (2020) Ontwikkeling van een quickscan ecologische kwaliteit voor langzaam stromende wateren in Zuid-Nederland op basis van macrofauna. Notitie Zoetwatersystemen, Wageningen Environmental Research. <https://edepot.wur.nl/522621>
- Verdonschot R.C.M., Verdonschot P.F.M. (2019a) QuickScan macrofauna Sterkselsche Aa 2018 Notitie Zoetwatersystemen, Wageningen Environmental Research. <https://edepot.wur.nl/510055>
- Verdonschot R.C.M., Verdonschot P.F.M. (2019b) Icoonprojecten waterkwaliteit. Bouwstenen voor iconprojecten in overige wateren. Notitie Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. <https://www.natuurenmilieu.nl/wp-content/uploads/2019/03/Bouwstenen-voor-icoonprojecten-waterkwaliteit-rapport.pdf>
- Verdonschot, R.C.M., Brugmans, B.T.M.J., Veldhuis, M., Verdonschot, P.F.M. (2018b) Beekherstel door kleinschalige maatregelen. Landschap 35: 51-57 <https://www.landschap.nl/tijdschrift/archief/laatste-nummer-2018-1/beekherstel-door-kleinschalige-maatregelen/>
- Verdonschot, R.C.M., Verdonschot P.F.M. (2017) Relatie KRW-doelen en macrofauna in beken in Noord-Brabant. Notitie Zoetwatersystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. <https://edepot.wur.nl/418564>

## 10. Colofon

Deze Deltafact is opgesteld in het kader van het onderzoeksprogramma Lumbricus, onderdeel Boeiende Beekdalen door Wageningen Environmental Research en Deltares. Auteurs: Ralf Verdonschot (WEnR), Gilbert Maas (WEnR) & Ellis Penning (Deltares). December 2020.