





# Adaptief monitoren

## Versterking kennisbasis en verfijning waterbeheer

Bij adaptief monitoren van oppervlaktewateren wordt in de monitoringscyclus iteratief de kennisbasis versterkt en het beheer verfijnd. Naast dit lerend monitoren wordt ook een omslag gemaakt van het beschrijven van patronen naar het begrijpen van processen. Zo kunnen steeds beter locatiespecifieke en doelgerichte kosteneffectieve maatregelen worden genomen. In dit artikel laten we zien welke nieuwe ontwikkelingen in kennis en instrumenten bijdragen aan adaptief monitoren.

Oppervlaktewateren worden al decennia gemonitord met als doel beoordeling en monitoring van (1) de toestand, (2) de trend, (3) de diagnose en (4) de maatregel-effectrelatie. Tot de eeuwwisseling wilde de waterbeheerder weten wat de toestand van het oppervlaktewater is. Met de Kaderrichtlijn Water (KRW) werden ook 'operationele monitoring' en 'monitoring nader onderzoek' geïntroduceerd. Beide hebben betrekking op diagnostische monitoring en maatregel-effectmonitoring. Voor de KRW heeft de toestands- en trendmonitoring (T&T-monitoring) sterk aan belang gewonnen; het grootste deel van het budget gaat er aan op. Daar komt bij dat de andere monitoringstypen (3 en 4) meestal met dezelfde methoden als de T&T-monitoring worden uitgevoerd. Dat is verrassend omdat de investering in deze vorm van monitoring ver uitstijgt boven wat verantwoord is als men beziet wat er met de resultaten wordt gedaan. In dit artikel willen we laten zien dat er een fundamentele omslag in het monitoren mogelijk is: van het beoordelend T&T-monitoren met minder budget naar flexibel diagnostisch en maatregel-effectmonitoren met meer budget. Een dergelijke omslag kan bijdragen aan de verbetering van de kennis over watersystemen en de keuze van maatregelen en daardoor aan het verbeteren van de waterkwaliteit.

### Adaptief monitoren

Het beschrijven van toestanden en die beschrijving op-

slaan in databanken draagt alleen bij aan het geven van een oordeel op een bepaalde plaats op een bepaald moment. Herhaling van dergelijke metingen levert inzicht in een trend op. Maar als alles voortdurend verandert zouden we zó moeten meten dat we de processen die ten grondslag liggen aan de vastgestelde toestand beter gaan begrijpen waardoor we ook beter kunnen diagnosticeren en voorspellen.

Het stellen van een diagnose en het begrijpen van de achterliggende processen vraagt om goede gegevens in ruimte en tijd voor specifieke problemen. Goede gegevens zijn gegevens, die passen bij (1) de doelen en vragen van nu en de toekomst en bij (2) het systeem waarin men meet en de problemen die men wil meten, die (3) worden verzameld volgens wetenschappelijke methoden, (4) naast ruimte ook tijd omvatten en (5) zijn voorzien van onzekerheidsmarges, dus waarvan de betrouwbaarheid ingeschat kan worden. Adaptief monitoren van wateren betekent dat in de monitoringscyclus op iteratieve wijze de kennisbasis wordt versterkt en het beheer verfijnd (figuur 1).

### Ecologische systeemanalyse

Een ecologische systeemanalyse brengt alle relevante biotische en abiotische structuren en processen in beeld die bijdragen aan een goed ecologisch functionerend systeem. Die uitgebreidheid is het grote verschil met een watersysteemanalyse en ecohydrologische analy-

#### Prof. Dr. Ir. P.F.M. (Piet) Verdonshot

Instituut voor Biodiversiteit en Ecosysteemdynamica, Universiteit van Amsterdam, Postbus 94248, 1090 GE Amsterdam en Wageningen Environmental Research  
piet.verdonshot@wur.nl

#### Dr. R.C.M. (Ralf) Verdonshot

Wageningen Environmental Research

#### G.H. (Gea) van der Lee MSc

Instituut voor Biodiversiteit en Ecosysteemdynamica, Universiteit van Amsterdam

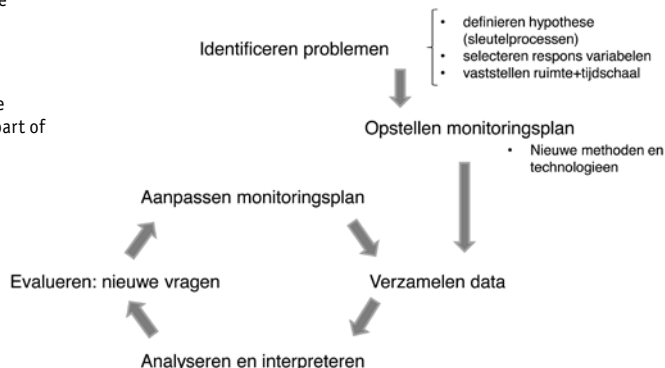
#### M.L. (Milo) de Baat MSc

Instituut voor Biodiversiteit en Ecosysteemdynamica, Universiteit van Amsterdam

Foto **Marije Louwsma**.  
De nieuwe uitstroom van de Heelsumse Beek in de Nederrijn.

**Figuur 1** de iteratieve monitoringscyclus in adaptief monitoren.

**Figure 1** the iterative monitoring cycle as part of adaptive monitoring.



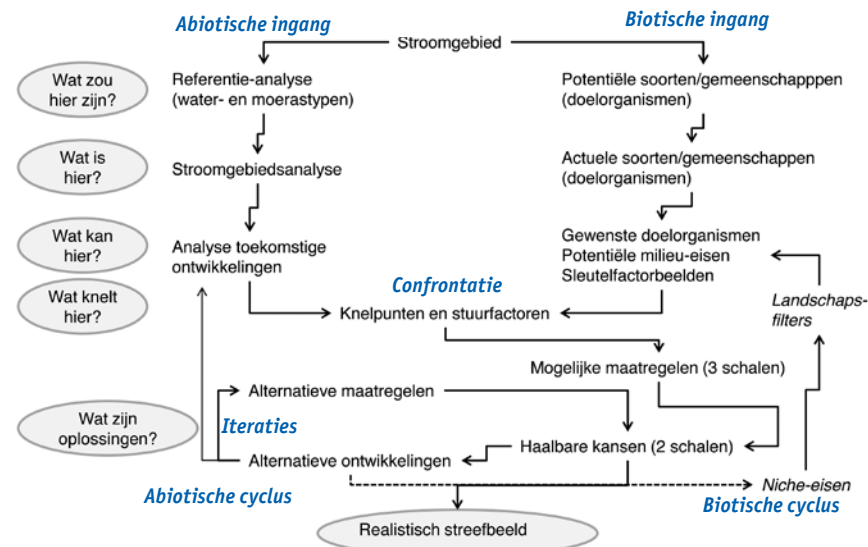
se; eerstgenoemde beperkt zich tot de hydrologie en de tweede tot de interactie hydrologie-vegetatie. Voor een succesvolle ecologische systeemanalyse is doelgericht monitoren van groot belang. Zo kan het doel zijn om hiaten in de kennis over het systeem en haar processen op te vullen, of om te achterhalen waarom ongewenste processen optreden.

Voor een ecologische systeemanalyse is begrip van en informatie over ruimtelijke en temporele schalen waarop doelorganismen functioneren van groot belang: van lokaal naar nationaal, van soorten naar ecosystemen en van dagen naar jaren, via de nodige tussenstappen. In de ecologische systeemanalyse wordt het gehele ecologische functioneren van het stroomgebied betrokken: systeemcondities, processen (bijvoorbeeld hydrologische of biologische) en interacties. Een belangrijk onderdeel zijn de Ecologische Sleutelfactoren (STOWA, 2015; Schep & Buijse, dit nummer): de factoren die op orde moeten zijn wil het ecosysteem gezond functioneren. Om een ecologische systeemanalyse uit te voeren is een denkmodel met essentiële stappen in vraagvorm ontwikkeld (figuur 2).

### Adaptief monitoren binnen handbereik

Op dit moment besteden de meeste waterschappen nog ongeveer 70-80% van hun monitoringsbudget aan statisch beoordelen en slechts 20-30% aan evalueren en diagnosticeren. We pleiten ervoor om in de nabije toekomst deze verdeling om te keren. Om van het meten van toestanden te komen tot het meten van processen is een omslag nodig van meten op een moment en plek naar meten op meerdere plaatsen en over kortere of langere tijdsperioden (tabel 1).

Vier hieronder beschreven voorbeelden van methoden die adaptief monitoren binnen handbereik brengen laten zien dat kennis voor die omslag inmiddels be-



**Figuur 2** denkmodel voor ecologische systeemanalyse ontwikkeld op basis van onderzoek aan de Tungelroyse beek (Verdonschot, 2015).

**Figure 2** conceptual model to perform ecological system analysis developed for the stream Tungelroyse beek (Verdonschot, 2015).

schikbaar is. Adaptief monitoren vraagt om een hogere meetdichtheid en of -frequentie in respectievelijk ruimte en tijd. Quickscanmethoden en passief en effectgericht bemonsteren brengen het meten van veel dichtere ruimtelijke patronen of van hoog frequent herhaalde danwel cumulatieve metingen in de tijd dichtbij, omdat iedere meting afzonderlijk goedkoop is. Diagnosticeren is bruikbaar voor actuele en voorspellende evaluaties, zie figuur 2.

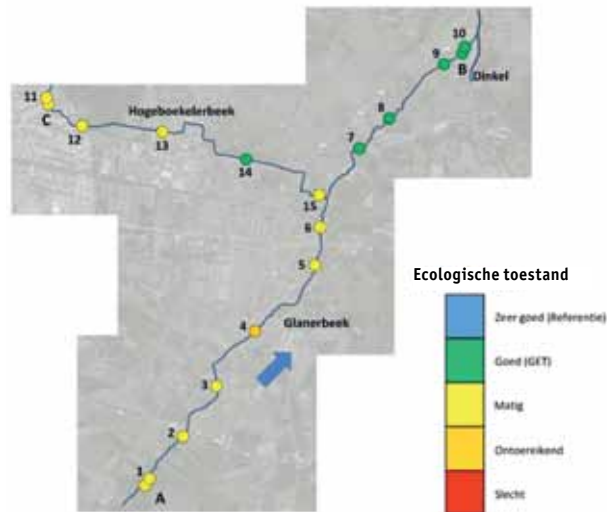
### Quickscan macrofauna

Snelle beoordelingsmethoden van de ecologische toestand zijn bekritiseerd om hun gebrek aan taxonomische resolutie en daarmee zeggingskracht (onder meer Schmidt-Kloiber & Nijboer, 2004). Deze kritiek is terecht wanneer het doel is de biodiversiteit te inventariseren of de aanwezigheid van indicatoren met een lage trefkans aan te tonen. Daartegenover kan een quickscan voor specifieke doelen, zoals het beoordelen van de waterkwaliteit in vijf kwaliteitsklassen, zeer effectief en kostenbesparend zijn. Zo wordt volgens de KRW-werkwijze de ecologische toestand waarin de macrofaunagemeenschap verkeert, bepaald op basis van een bemonstering met een standaard macrofaunanet. Het monster wordt gedetermineerd tot op het hoogst haalbare taxonomische niveau, waaruit vervolgens een score in vijf klassen wordt berekend. Een alternatief is de quickscan. Door kleinere monsters te nemen en deze 'op het oog' te determineren tot op het hoogst zichtbare taxonomische niveau kan bemonstering adequaat zijn en circa 85% van de kosten besparen. Deze financiële ruimte kan gebruikt worden om vervolgens een meer ruimtelijk dekende toestandsbeoordeling of hoog frequente tijdreeks te maken. Onze studie in de Glanerbeek laat zien dat de KRW-score met de quickscanmethode dezelfde uitkomst geeft als de standaardmethode en dat meer loca-

Structuurparameters	Procesparameters
taxon-gebaseerde indices	maten gebaseerd op (dynamische) processen
watertype specifiek	watertype onafhankelijk
aanname van a priori gemeenschappen	generiek en zonder aannames
op basis van successies en klimax (referenties)	mechanistisch begrijpen van functioneren
veelal ruimtelijk en altijd correlatief	processen verlopen in de tijd, causaal

**Tabel 1** schakelen van meten op locatie (toestands- of structuurparameters) naar meten over meer schalen in ruimte én tijd (procesparameters).

**Table 1** development in monitoring from measuring at a site (state or structural parameters) towards measuring over multiple scales in space and time (process parameters).



**Figuur 3** vergelijking in de Glanerbeek van twee macrofauna beoordelingsmethoden om de ecologische toestand in vijf KRW-klassen te bepalen: quickscan (1-15) en bemonstering met standaardnet (A-C).

**Figure 3** comparison of two macroinvertebrate assessment methods to assess the ecological state of the stream Glanerbeek according to the five WFD quality classes: Quickscan (1-15) and sampling with standard net (A-C).

ties worden bemonsterd, waardoor een stroomgebiedsdekkende toestandsbeoordeling mogelijk is (figuur 3).

### Passief bemonsteren van macrofauna

Is bemonstering met het standaard macrofaunanet nodig om tot een voldoende betrouwbare beoordeling te komen? Om die vraag te beantwoorden is een pilotstudie verricht waarin de bemonstering met het standaardnet (actieve techniek) wordt vergeleken met het

fuik > net	net = fuik	net > fuik
Kevers (Coleoptera) (16/12)	Platwormen (Tricladia) (2/2)	Slakken (Gastropoda) (8/16)
	Tweekleppigen (Bivalvia) (1/2)	Zoetwaterborstelwormen (Oligochaeta) (5/11)
	Bloedzuigers (Hirudinea) (6/7)	Haften (Ephemeroptera) (1/4)
	Watermijten (Hydracarina) (21/36)	Vedermuggen (Diptera: Chironomidae) (8/26)
	Waterpissebedden (Isopoda) (2/2)	Overige muggen en vliegen (Diptera: non-Chironomidae) (4/8)
	Vlokreeften (Amphipoda) (1/1)	Kokerjuffers (Trichoptera) (4/11)
	Libellen (Odonata) (3/5)	Vlinders (Lepidoptera) (0/2)
	Wantsen (Heteroptera) (11/12)	
Doelsoorten (Doelsoortenlijst Ministerie EL&I) (2/1)	Kenmerkende soorten Natuurdoeltypen sloten (10/11) Vrij tot zeer zeldzame taxa (10/8) Positieve indicatoren KRW-maatlat sloten (41/46)	Aquatisch Supplement indicatoren (52/61)

**Tabel 2** significante verschillen (fuik>net, fuik=net, net>fuik) tussen 3 meter bemonstering met standaardnet en 15 macrofaunafuikjes in vier verschillende sloten in aantal taxa per taxonomische groep en diverse indicatorlijsten (aantal tussen haakjes fuik/net). Bron: Peeters *et al.* (2014).

**Table 2** significant differences (fyke>net, fyke=net, net>fyke) between 3 m standard net sample and 15 macroinvertebrate fyke samples in four different ditches in number of taxa per taxonomical group and different indicator lists (numbers between quotes fyke/net). Source: Peeters *et al.* (2014).

gebruik van macrofaunafuikjes (passieve techniek) in vier sloten (Peeters *et al.*, 2014). Het net verzamelde 3,5 keer zoveel individuen en 1,7 keer zoveel soorten als de fuikjes. Echter, wanneer alleen de indicatorsoorten worden beschouwd, bleken de verschillen veel kleiner (tabel 2). Daarbij kost de monsternamen en verwerking van de fuikmonsters maar 65% van de tijd die nodig is voor een standaardnetmonster.

### Effectgericht monitoren van toxische druk

De bestaande chemische monitoring analyseert een selecte groep (prioritaire) microverontreinigingen in watermonsters en toetst deze individueel aan milieukwaliteitsnormen. Hiermee is het meestal onmogelijk om een goede indicatie van de aard en omvang van de milieurisico's te geven: de normoverschrijding signaleert een beleidsprobleem, maar niet het risico van te verwachten effecten. Daarom heeft de STOWA de 'Ecologische

Sleutelfactor Toxiciteit' ontwikkeld (en in vijf rapporten beschreven), waarmee een indruk kan worden verkregen van de ecologische risico's van toxische stoffen op een locatie. Deze methode is aanvullend en aansluitend op de gebruikelijke toetsingen van de waterkwaliteit (Posthuma *et al.*, 2016). Een van de beschreven methoden is een screening volgens SIMONI (Slimme Integrale Monitoring, Van der Oost *et al.*, 2017). De bemonstering wordt uitgevoerd met passieve samplers voor apolaire en polaire stoffen (siliconenrubbers en polar organic chemical integrative samplers). Een voordeel van het gebruik van passieve samplers is dat ze een beeld door de tijd heen geven van de natuurlijk schommelende concentraties van biologisch beschikbare stoffen, wat met reguliere watermonsters niet het geval is (momentopname). Daarnaast hopen de passieve samplers de meeste stoffen op die ook worden opgenomen door waterorganismen. Met behulp van referentiestoffen (*Performance Reference Compounds*) in de siliconenrubbers kan een ruwe schatting worden gemaakt van de hoeveelheid water die in het veld is bemonsterd. Met extracten van de passieve samplers wordt vervolgens via een gerichte analyse achterhaald welke stoffen de effecten veroorzaken. Deze effectgestuurde analyse werkt met een serie bioassays. Een deel van deze testen signaleert de aanwezigheid van een ecologisch risico, terwijl een ander deel van de bioassays de aanwezigheid van specifieke families van toxische stoffen meet. Op basis van de verkregen signalen wordt een risicoanalyse uitgevoerd: de bioassayresponsen worden vergeleken met vooraf bepaalde signaalwaarden en aan de locaties wordt een score toegekend. Gebaseerd op deze score kan vervolgens een rangschikking en prioritering gemaakt worden van locaties op basis van ecotoxicologisch risico (Van der Oost *et al.*, 2017). Een voorbeeld van een rangschikking in de vorm van een heat map is te zien in tabel 3.

## Diagnostisch beoordelen en evalueren

Soorten zijn aangepast aan de niche waarin ze zijn geëvolueerd en bezetten daardoor een eigen kenmerkende plaats in het ecosysteem. Die aanpassingen hebben niet betrekking op de honderden milieufactoren waaraan soorten in het oppervlaktewater worden blootgesteld, maar vooral op enkele belangrijke hoofd- of sleutelfactoren (Verdonschot, 2014). Deze aanpassingen kunnen worden gebruikt om een diagnose te stellen voor een water waar betreffende soorten zijn aangetroffen en dus ook de voor hen geschikte combinatie van milieufactoren. Een voorbeeld van een diagnose op basis van aanpassingen is de evaluatie van maatregelen uitgevoerd in de Heelsumse Beek (Verdonschot et al., 2015). Individuele indices, zoals het aandeel rheofiele (stromingsminnende) soorten, geven ieder een diagnostische indicatie voor een bepaalde sleutelfactor (figuur 4). De kracht van deze methode ligt vooral in het diagnosticeren van de invloed van individuele stressoren in de veel voorkomende situatie dat meerdere stressoren tegelijkertijd optreden.

## Het monitoren van processen

Nieuw in het monitoren van generieke kenmerken van waterecosystemen is het parameteriseren van ecosystemprocessen. Zo is de metabolische activiteit, een belangrijke maat voor een waterecosysteem, te modelleren uit data betreffende de zuurstofhuishouding en de mate en snelheid van decompositie.

Er zijn ook nieuwe alternatieve methoden om ecosystemprocessen in beeld te brengen, zoals functionele levenskenmerken (rollen van soorten, Verdonschot, 2014), voedselwebanalyse met stabiele isotopen (Post, 2002) en abundantie-biomassa-verhoudingen (Yemane et al., 2005). Voor stroming, substraatpatronen en andere belangrijke ecosystemprocessen, is nieuwe meettechno-

Bioassay	Locatie					
	HN2	WN3	WN6	D03	PM2	BD3
<i>Daphnia in situ</i>	4.25	0.50	2.50	0.50	0.00	0.00
Microtox	0.00	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00
Algatox	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Daphniatox	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	0.00
cyto CALUX polair	2.68	0.18	0.60	0.60	0.79	0.18
cyto CALUX apolair	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ER CALUX	1.43	5.71	0.63	0.71	0.32	0.00
a-AR CALUX	10.00	2.05	1.17	1.31	0.54	0.74
GR CALUX	0.00	0.00	0.00	0.49	0.00	0.00
Antibiotica totaal	0.04	0.14	0.01	0.62	0.02	0.00
DR CALUX	0.65	0.83	0.41	0.26	0.12	0.15
PAH CALUX	0.24	0.48	0.26	0.15	0.07	0.06
PPAR CALUX	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nrf2 CALUX	1.52	0.56	0.51	0.29	0.53	0.30
PRX CALUX	1.25	1.88	1.16	0.61	0.64	0.81
p53 CALUX -S9	0.06	0.03	0.03	0.01	0.02	0.00
p53 CALUX +S9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SIMONI	2.63	1.29	0.98	0.62	0.31	0.22

logie beschikbaar gekomen, zoals het continu vastleggen van de substraatpatronen met automatische digitale camera's en het vastleggen van stromingspatronen met akoestische dopplerstroommetingen.

Het voordeel van dergelijke methoden is dat er geen taxonomische en geografische beperkingen zijn en dat er 'a priori' een voorspellende kracht vanuit kan gaan omdat hier onderbouwende hypothesen aan ten grondslag liggen.

## Conclusies en vooruitblik

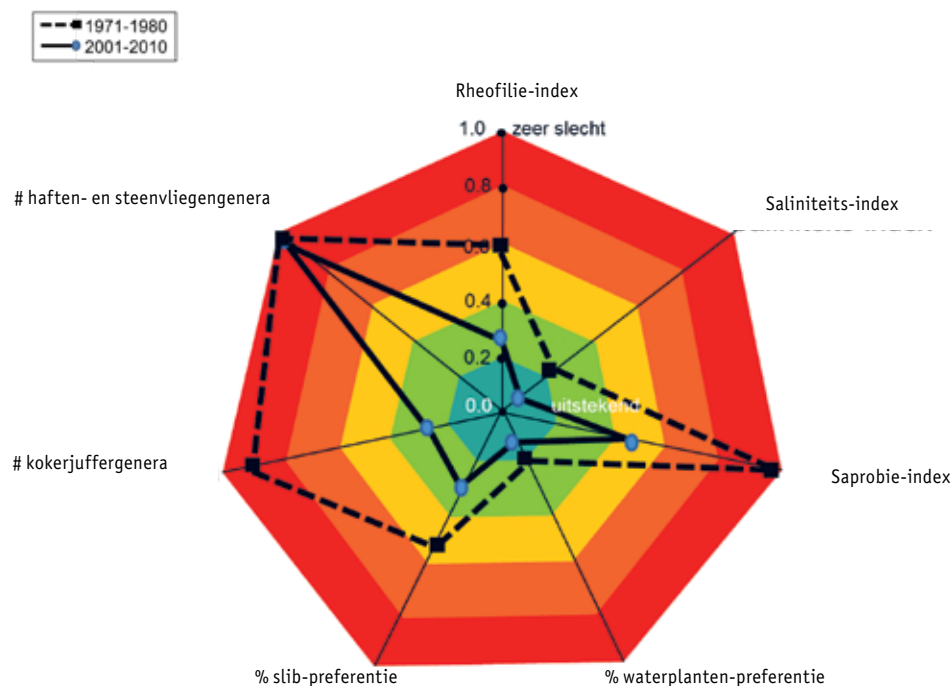
Bij adaptief monitoren van wateren wordt op iteratieve wijze in de monitoringscyclus (figuur 1) de kennisbasis versterkt en kan het waterbeheer steeds verder verfijnd worden. Adaptieve monitoring maakt gebruik van een zo doelgericht mogelijke onderzoeksopzet, waarin het ontwerp met herhaald meten resultaten geeft die statis-

**Tabel 3** heat map van rangschikking onderzoeklocaties naar ecotoxicologisch risico berekend volgens het SIMONI-model (Kamp, 2016; Van der Oost et al., 2017). Voor legenda zie hieronder.

**Table 3** heat map with the order of sampling sites according to ecotoxicological risk calculated by the SIMONI model (Kamp, 2016; Van der Oost et al., 2017). Green: no BR (Bioassay Respons); Yellow: BR < SW (signal value); Orange: BR > SW. Last row SIMONI score: Blank: low ER (Ecotoxicological Risk); Pink: 0.5-1.0 (possible ER); Red: > 1.0 (high ER).

**Figuur 4** diagnose van de toestand van de Heelsumse Beek voor en na herstel op basis van indices (Verdonschot *et al.*, 2015). Indexwaarde varieert tussen 0,0 (uitstekend) tot 1,0 (zeer slecht).

**Figure 4** diagnosis of the state of the stream Heelsumse Beek before and after restoration based on indices (Verdonschot *et al.*, 2015). The index score runs from very good (0) to very bad (1).



tisch toetsbaar zijn en aanzienlijk betrouwbaarder dan bij de gangbare manier.

Adaptief monitoren is lerend monitoren gebaseerd op:

- het begrijpen van de werking (mechanistisch) van het ecosysteem, op grotere en meerdere schalen (ecologische systeemanalyse), met onder meer kennis van biodiversiteit, de ecologie van het voedselweb en sleutelrollen van soorten (*ecosystem engineers*);
- wetenschappelijke methoden;
- het 'a priori' kunnen voorspellen van effecten van verstoringen;
- het door verschillende waterschappen combineren van monitoringsinspanningen.

Om adaptief te monitoren en te beheren dient de bestaande aanpak te worden geïnnoveerd en moeten nieuwe methoden, zoals beschreven in de voorbeelden, worden geïntroduceerd. Met lerend monitoren wordt een beter beeld verkregen van welke maatregelen wel en niet werken in specifieke watersystemen en kunnen we vervolgens de meest effectieve en kostenefficiënte maatregelen inzetten. Op dat moment gaat investeren in monitoring ineens geld besparen, in plaats van dat het een groeiende kostenpost is.



---

## Summary

Adaptive monitoring. Enhancing the knowledge base and refining watermanagement

**Piet Verdonshot, Ralf Verdonshot, Gea van der Lee & Milo de Baat**

learning by monitoring, diagnosis, quickscan macroinvertebrate assessment, passive sampling, process monitoring

In this article the authors plea for a switch from monitoring the static state of surface waters towards an adaptive monitoring approach. An adaptive approach implies

that during each iterative monitoring cycle the knowledge base is increasingly enhanced and management is refined. Adaptive monitoring is based on learning to understand processes, to translate this knowledge into measures and to adjust the measures where necessary as long as the knowledge increases. Various new methods are provided that make the measuring effort needed in adaptive monitoring possible and that are very cost-effective. Thus, in addition to the increase in measure effectiveness, costs are saved as extra measures or re-restoration is prevented.

---

## Literatuur

**Oost, R. van der, G. Sileno, M. Suárez-Muñoz, M.T. Nguyen, H. Besselink & B. Brouwer, 2017.** Simoni (smart integrated monitoring) as a novel bioanalytical strategy for water quality assessment; part i: model design and effect-based trigger values. *Environmental toxicology and chemistry* 36(9): 2385-2399.

**Peeters, E.T.H.M., A.J. Veraart, R.C.M. Verdonshot, J.P. van Zuidam, J.J.M. de Klein & P.F.M. Verdonshot, 2014.** Sloten; ecologisch functioneren en beheer. Zeist, KNNV Uitgeverij.

**Post, D.M. 2002.** Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology* 83(3): 703-718.

**Posthuma, L, D. de Zwart, L. Osté, R. van der Oost & J. Postma, 2016.** Ecologische Sleutelfactor Toxiciteit. Deel 1 Methode voor het in beeld brengen van de effecten van giftige stoffen in oppervlaktewater. STOWArapport 2016-15A, 134 pp. Amersfoort, STOWA.

**Schep & Buijse, 2018.** Ecologische Sleutelfactoren. Handvatten voor aquatische systeemanalyses. *Landschap* 35/1: 25-33.

**Schmidt-Kloiber, A. & R.C. Nijboer, 2004.** The effect of taxonomic resolution on the assessment of ecological water quality classes. *Integrated Assessment of Running Waters in Europe. Hydrobiologia* 516: 269-283.

**STOWA, 2015.** Ecologische sleutelfactoren voor stromende wateren; Een methodiek in ontwikkeling. STOWA rapport 2015-w-06. Amersfoort, STOWA.

**Verdonshot, P.F.M., 2014.** Eenvoud in samenhang: het verbinden van waterbeheer en systeemecologie voor duurzaam oppervlaktewaterherstel. Amersfoort, STOWA.

**Verdonshot, P.F.M., 2015.** Globale werkwijze voor het uitvoeren van een Stroomgebiedsbrede Ecologische Systeemanalyse binnen het beheersgebied van het Waterschap Peel en Maasvallei. Alterra notitie, 44 pp. Wageningen, Alterra.

**Verdonshot, R.C.M., H.H. van Kleef & P.F.M. Verdonshot, 2015.** Herstel van laaglandbeken door het herintroduceren van macrofauna. Rapport nr. 2015/OBN199-BE. Driebergen, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren.

**Yemane, D., J.G. Field & R.W. Leslie, 2005.** Exploring the effects of fishing on fish assemblages using Abundance Biomass Comparison (ABC) curves. *ICES Journal of Marine Science* 62(3): 374-379.