Ecologische Sleutelfactoren

Handvatten voor aquatische systeemanalyses

Verbetering van de ecologische waterkwaliteit met generieke maatregelen leidt niet tot het beoogde resultaat. Er is een betere afstemming nodig van maatregelen op de specifieke situatie van individuele watersystemen. Ecologische Sleutelfactoren (ESF's) structureren bestaande kennis en instrumenten ten behoeve van de watersysteemanalyse. Daarmee worden knelpunten voor een goede waterkwaliteit in stilstaande en stromende wateren geïdentificeerd. In dit artikel leggen we uit wat ESF's zijn, hoe ze zijn ontwikkeld en geven we een voorbeeld van toepassing.

Drs. Ing. S.A. (Sebastiaan) Schep
Witteveen+Bos, Deventer, Postbus 233, 7400 AE Deventer
sebastiaan.schep@witteveen-bos.com

Drs. S.K. (Steven) Verbeek
STOWA, Amersfoort

Eén van de kerntaken van waterbeheerders is de verbetering van de ecologische waterkwaliteit, waarbij de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) richtinggevend is. Voor een effectieve invulling van deze kerntaak is begrip nodig van de werking van individuele watersystemen. Een (water)systeemanalyse (gebaseerd op het systeemdenken, zie kader) is een methode om tot dit begrip te komen. Sinds een aantal jaren is een methodiek in ontwikkeling ter ondersteuning van watersysteemanalyses. Deze methodiek gaat uit van zogenaamde Ecologische Sleutelfactoren (ESF's; STOWA, 2014). Iedere ESF legt een deel van de werking van het (oppervlakte)watersysteem bloot. Een ESF omvat relaties tussen systeemkenmerken, processen, milieufactoren en soortgemeenschappen. Ze worden zowel voor stilstaande als stromende wateren ontwikkeld. Bij iedere ESF worden beslisschema's en instrumenten ontwikkeld of ontsloten. Hiermee bepaalt een gebruiker of de betreffende ESF een probleem vormt voor het watersysteem. Het toepassen van het ESF-instrumentarium draagt zo bij aan een beter begrip van het functioneren van een watersysteem.

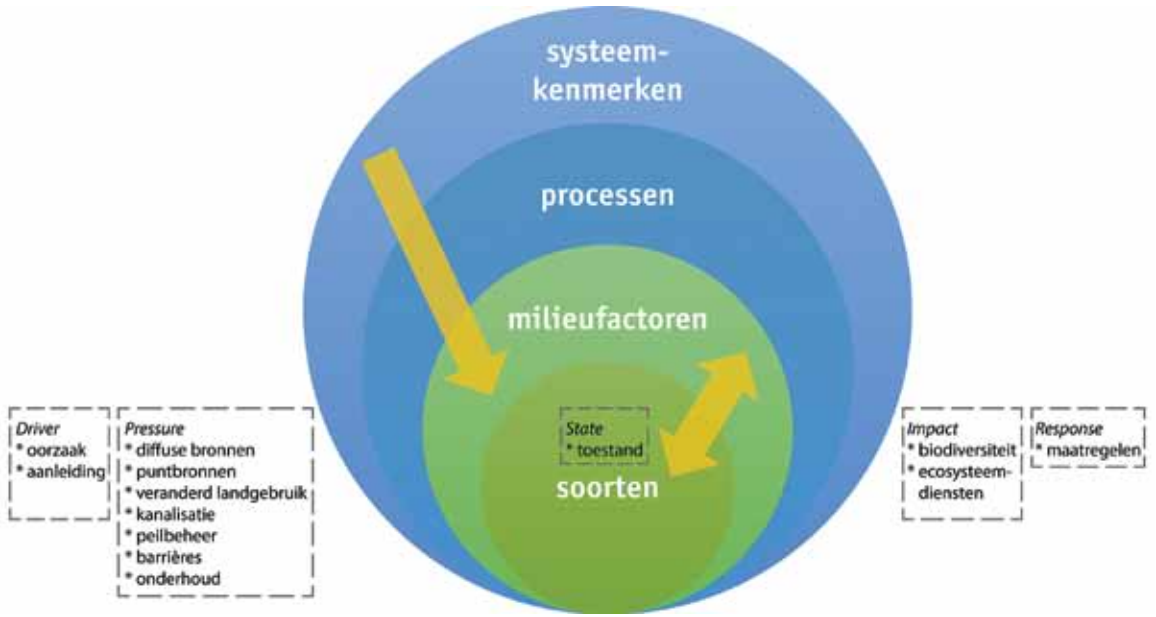
Het systeemdenken gaat uit van twee uitgangspunten: (1) de werkelijkheid wordt beschouwd vanuit 'het geheel' en (2) de omgeving wordt als essentieel gegeven beschouwd (Kramer & De Smit, 1974). Kenmerkend voor de systeemanalytische benadering is de nadruk op de relaties tussen relevant geachte factoren; relaties – zo objectief mogelijk weergegeven – en kwantificering van die relaties zijn sleutelbegrippen voor deze benaderingswijze (RWS, 1988).

De ESF-methodiek (eerder stoplichtenmethodiek) is ontstaan als praktisch hulpmiddel voor een gestructureerde, reproduceerbare en hiërarchische systeemanalyse (Schep *et al.*, 2011). Tijdens de ontwikkeling is wetenschappelijke kennis zoveel mogelijk benut. Uitgangspunten zijn een stroomgebiedsbenadering, een hiërarchie in sturende factoren en een werkwijze van grof naar fijn. Verder wordt gebruik gemaakt van ecosysteemtoestanden. Aan de hand van ESF's worden 'omslagpunten' tussen verschillende ecosysteemtoestanden in beeld gebracht (Beisner *et al.*, 2003; Scheffer *et al.*, 1993).

De ESF's zijn breder toepasbaar. Ze helpen bijvoorbeeld bij de inrichting van nieuwe watersystemen. Ecologische eisen kunnen worden vertaald in ontwerprichtlijnen voor plannen en bestekken. ESF's ondersteunen verder een integrale afweging tussen functies binnen een stroomgebied, inclusief die tussen aquatische en terrestrische natuur.

In dit artikel gaan we in op de uitgangspunten, de aansluiting bij bestaande kaders en uitwerking van de ESF-methodiek voor stilstaande wateren. Naast het beschrijven van de ontwikkelingen en wetenschappelijke achtergronden, geven we ook een voorbeeld van een praktische toepassing.

Foto **Barend Hazeleger** bvbeeld.nl. Renkumse Molenbeek. Toepassing van het ESF-instrumentarium draagt bij aan een beter begrip van een watersysteem.



Figuur 1 een watersysteemanalyse integreert de analyses van ecologische toestanden ('bottom-up') en van systeemkenmerken en processen ('top-down'). De relatie van een watersysteemanalyse met het DPSIR conceptuele raamwerk (Smeets & Weterings 1999) is weergegeven.

Figure 1 a water system analysis integrates the analysis of ecological conditions ('bottom-up') and of system characteristics and processes ('top-down'). The relation of a water system analysis with the DPSIR conceptual framework (Smeets & Weterings 1999) is indicated.

Watersysteemanalyse

Een ecologische watersysteemanalyse omvat drie stappen: (1) een analyse van de (ecologische) toestand van soorten en milieufactoren, (2) een analyse van het systeem en (3) een integratieslag van voorgaande stappen die leidt tot een beter begrip van de werking van het watersysteem.

Stap 1 onderzoekt de aan- en afwezigheid van soorten in relatie tot aanwezige milieufactoren. Voor deze toestandsanalyse zijn al diverse instrumenten beschikbaar die veelvuldig gebruikt worden, zoals CUWVO (CUWVO, 1976), EBEO (Franken *et al.*, 2006) en AqMad (Van Oorschot *et al.*, 2012). Deze analyse wordt in figuur 1 verbeeld met de korte dubbele pijl.

Bij de analyse van stap 2 vormen systeemkenmerken en processen het vertrekpunt. De belangrijkste vragen zijn: hoe ziet het systeem eruit, welke processen treden hierdoor op en hoe werken deze uiteindelijk door op de ecologische toestand? Deze analysestap wordt in figuur 1 verbeeld met de lange pijl.

De integratie van beide analyses is nodig voor een beter begrip van het functioneren van het watersysteem. Afzonderlijk geven zowel de analyse van de ecologische toestand als de analyse van het systeem een beperkt en soms misleidend beeld. Zo kan een plas, ondanks een hoge belasting met nutriënten, helder zijn door de aanwezigheid van filterende mosselen. De hoge belasting zou niet aan het licht komen na een analyse van de ecologische toestand (helder water, lage algenconcentraties).

Aansluiting bij bestaande concepten

De ESF-methodiek sluit aan bij en bouwt voort op bestaande concepten, zoals de DPSIR-methodiek (Smeets & Weterings 1999), het 5S-model (Verdonschot *et al.*,

1995), de theorie van alternatieve stabiele toestanden (Scheffer *et al.*, 1993), en de ecohydrologische systeemanalyse (Besselink *et al.*, dit nummer).

De DPSIR-methodiek (*Driver Pressure State Impact Response*) kan worden beschreven als een systeemanalyse van de relaties tussen mens en milieu (Smeets & Weterings, 1999). *Drivers* zijn de sociale, demografische en economische ontwikkelingen binnen een maatschappij en de bijbehorende veranderingen in levensstijl, productie- en consumptiepatronen. Deze ontwikkelingen oefenen druk (*pressure*) uit op het milieu met als consequentie dat de toestand (*state*) van het milieu kan veranderen. Veranderingen in de toestand van het milieu kunnen allerlei gevolgen hebben voor milieu en maatschappij (*impact*). Het maatschappelijk antwoord (*response*) ten slotte beschrijft op welke wijze ongewenste gevolgen ongedaan of gemitigeerd worden. In figuur 1 is de relatie tussen de watersysteemanalyse en het DPSIR-raamwerk weergegeven.

Het 5S-model (Verdonschot *et al.*, 1995) is een concept met een hiërarchische ordening van relevante factoren in vijf groepen: systeemvoorwaarden, stroming, structuren, stoffen en soorten. Het functioneren van het ecosysteem (en daarmee de biodiversiteit) wordt bepaald door de werking van de vijf factorgroepen, door de hierarchie tussen deze factoren en door terugkoppelingsmechanismen. Het 5S-model zorgt voor een logische ordening van factoren in ruimte (van stroomgebied naar beek, naar habitat) en in tijd (van tientallen jaren tot dagen).

De ESF-methodiek heeft een andere insteek dan het handboek Ecohydrologische Systeemanalyse Beekdallandschappen dat Besselink *et al.* (dit nummer, p. 7-13) beschrijft. Het handboek biedt een werkwijze voor een systeemanalyse van het beekdal en brengt hiervoor de benodigde kennis en instrumenten samen. De ESF-systematiek is gericht op het verklaren van de ecologische toestand van het oppervlaktewater. Een samenhangend geheel van sleutelfactoren, ecosysteemtoestanden en omslagpunten ondersteunt de hiervoor benodigde systeemanalyse.

Ecosysteemtoestanden

Een ecosysteemtoestand is een beschrijving van een groep soorten die onder bepaalde abiotische condities kan worden aangetroffen. Door de meest voorkomende combinaties van milieufactoren en groepen soorten te beschrijven en daarin expliciet de relaties met systeemkenmerken en processen te leggen, ontstaat een overzicht van herkenbare karakteristieke toestanden. Voor stilstaande wateren wordt bijvoorbeeld gebruik gemaakt van het voorkomen van alternatieve stabiele toestanden. Zo kan onderscheid worden gemaakt in algen-gedomineerde troebele wateren en heldere plantenrijke wateren (Scheffer *et al.*, 1993). Voor stromende wateren wordt gebruik gemaakt van het wel of niet kunnen ontstaan van een substraatmozaïek (Verdonschot, 1990; Verdonschot *et al.*, 2000). Er wordt bij het tot stand komen van ecosysteemtoestanden geredeneerd vanuit in Nederland veel voorkomende systeemkenmerken en processen. Veel ESF's zijn benoemd op de overgangen van ecosysteemtoestanden. Een hoge externe nutriëntenbelasting (ESF *Productiviteit water*) leidt in stilstaande wateren bijvoorbeeld vaak tot een algen-gedomineerd troebel water.

Ecologische Sleutelfactoren

De ESF's voor zowel stilstaande als stromende wateren zijn nog in ontwikkeling. De insteek is om met een beperkte set van sleutelfactoren (< 10) de belangrijkste systeemkenmerken, processen en milieufactoren te vatten. Er staan drie vragen centraal bij de selectie en karakterisering van de ESF's: (1) is het huis voor de soorten op

Figuur 2 Ecologische Sleutelfactoren voor stilstaande wateren.

Figure 2 Ecological Key Factors for stagnant waters.

orde, (2) kunnen de soorten er komen en (3) kunnen de soorten er blijven?

Hieronder schetsen we de stand van zaken voor stilstaande wateren. De precieze indeling en invulling van de ESF's voor stromende wateren volgt in de loop van 2018.

Er zijn acht Ecologische Sleutelfactoren voor stilstaande wateren plus de Sleutelfactor Context (Van Bodengom *et al.*, dit nummer), zie figuur 2. Ze zijn opgedeeld in drie groepen (STOWA, 2014) en hiërarchisch geordend.

De eerste groep ESF's, die bepaalt of het huis 'op orde' is, bestaat uit de ESF's *Productiviteit water*, *Lichtklimaat* en *Productiviteit bodem*. Deze ESF's zijn bepalend voor het herstel van ondergedoken waterplanten, dè basisvoorwaarde voor een gezond ecosysteem in stilstaande wateren. De ESF's *Habitatgeschiktheid*, *Organische belasting* en *Toxiciteit* vormen aanvullende voorwaarden voor het op orde zijn van het huis. Met de ecologische sleutelfactoren *Verspreiding* en *Verwijdering* wordt bepaald of de gewenste organismen in staat zijn het watersysteem te bereiken en of ze zich daar kunnen handhaven. Met de sleutelfactor Context wordt een belangenafweging tussen de ecologische waterkwaliteit en andere functies gemaakt. Hieronder worden de ESF's meer in detail geduid.

ESF's en diverse gemeenschap

Een diverse gemeenschap van ondergedoken waterplanten vormt een belangrijk habitat voor andere organismen, zoals vis en macrofauna. De voorwaarden hiervoor worden door de eerste groep ESF's geadresseerd: de externe nutriëntenbelasting moet lager zijn dan de kritische belasting (*Productiviteit water*), er moet voldoende licht zijn voor plantengroei (*Lichtklimaat*) en het totaal fosforgehalte in de waterbodem mag niet te hoog zijn (*Productiviteit bodem*), zie Schep *et al.* (2015) en kader. Ecosysteemtoestanden bij deze ESF´s zijn: troebel en algenrijk water (*Productiviteit water* voldoet niet), troebel water (*Lichtklimaat* voldoet niet), helder water gedomineerd door één algemene soort als waterpest, grof hoornblad of aarvederkruid (*Productiviteit water* en *Lichtklimaat* voldoen wel, *Productiviteit bodem* voldoet niet) of helder water met een gevarieerde gemeenschap van waterplanten, waarbij verschillende plantensoorten naast elkaar kunnen voorkomen (alle drie de ESF's voldoen).

Als voldaan is aan de basisvoorwaarden voor een diver-

Bepaling ESF *Productiviteit water*

Zijn de condities zodanig dat algen- of kroosdominantie *geen* belemmering vormt voor de groei van ondergedoken waterplanten? Dat is de centrale vraag bij de ESF *Productiviteit water.* Als het antwoord nee is – dus ondergedoken waterplanten kunnen niet (optimaal) groeien – vormt deze ESF het belangrijkste knelpunt voor de waterkwaliteit en zijn alleen maatregelen gericht op deze sleutelfactor effectief. Om genoemde centrale vraag te beantwoorde worden vier stappen doorlopen (zie ook figuur 3).

1.Stel een waterbalans op voor het betreffende watersysteem door, op basis van systeemkenmerken als omvang van het stroomgebied, in- en uitgaande waterstromen (kwel en wegzijging, neerslag en verdamping) te kwantificeren. Deze waterbalans wordt gecontroleerd aan de hand van gemeten in- en uitlaatgegevens, chlorideconcentraties en waterstanden.

2.Bepaal op basis van deze waterbalans, de verblijftijd van water in het systeem. Bij een gemiddelde verblijftijd korter dan drie dagen, is een systeem vaak overwegend 'transportgestuurd' (onder meer. Baranyi *et.al.*, 2002) en bepaalt de samenstelling van het toestromende water of er algen en/of kroos in het water aanwezig zullen zijn. Algen- en kroosgroei in het ontvangende oppervlaktewater zijn ondergeschikt aan de samenstelling van het toestromende water.

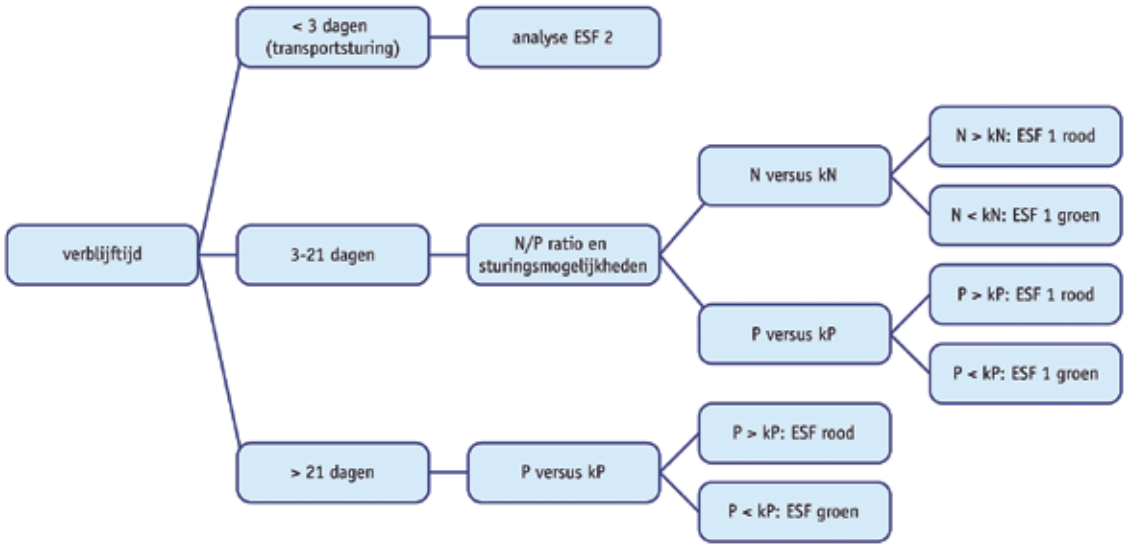
3.Maak een vergelijking tussen de (externe) belasting met nutriënten en de kritische belasting. Bij een belasting hoger dan de kritische grens kunnen algen of kroos domineren en voldoet de ESF niet. De externe belasting wordt bepaald aan de hand van de waterbalans, waarbij aan alle waterstromen nutriëntenconcentraties worden toegekend. De kritische belasting wordt bepaald met de ecologische modellen PCLake en PCDitch (Janse, 2005), waarbij systeemkenmerken als de strijklengte en waterdiepte onderscheidend zijn, zie figuur 4. Hoe groter en dieper het watersysteem hoe lager de kritische belasting.

4.Bepaal of er een duidelijke beeld uit de analyse volgt en of dit beeld overeenkomt met de kennis van het watersysteem (evaluatie). Herhaal bij twijfel de voorgaande stappen in meer detail.

Als er voldoende begrip is, kan bepaald worden welke type maatregelen effectief zijn en welke niet. Bronmaatregelen als het omleiden van voedselrijke waterstromen of het defosfateren van het inlaatwater zijn bijvoorbeeld nodig als de belasting ver boven de kritische grens ligt. Ligt de belasting in de buurt van de kritische grens dan kunnen systeemmaatregelen als het verondiepen van delen van het watersysteem, waarmee de kritische belasting wordt verhoogd, effectief zijn. En een maatregel als visstandbeheer kan helpen als de belasting onder de kritische grens ligt, maar het systeem nog troebel is (STOWA, 2008).

se gemeenschap van ondergedoken waterplanten, worden eisen die specifieke organismen stellen belangrijk. Deze komen aan bod bij de ESF *Habitatgeschiktheid*. Bij deze sleutelfactor wordt niet alleen de geschiktheid voor ondergedoken waterplanten beoordeeld, maar ook voor oeverplanten en andere organismen, zoals vissen en macrofauna. Er is gekozen voor een beperkt aantal veel voorkomende (en nog niet definitief vastgestelde) ecosysteemtoestanden voor de uitwerking van deze sleutelfactor. Een water gedomineerd door krabbenscheer is een voorbeeld van een ecosysteemtoestand behorend bij de ESF *Habitatgeschiktheid*. Krabbenscheer stelt aanvullende eisen aan het habitat in vergelijking met bijvoorbeeld waterpest (Smolders, 1995)

De ESF's *Organische belasting* en *Toxiciteit* zijn van belang in specifieke situaties. De eerste sleutelfactor betreft de relatie tussen organische belasting en het zuurstofgehalte en is voornamelijk relevant in het stedelijk gebied. Toxiciteit heeft betrekking op verontreinigingen met milieuvreemde stoffen en speelt vooral in gebieden met intensieve teelten (glastuinbouw en bollenteelt) en in gebieden met (historische) verontreiniging vanuit de industrie. Als ze een knelpunt vormen, worden deze sleutelfactoren vaak het eerst aangepakt. Een water waar



Figuur 3 beslisschema voor ESF *Productiviteit water* voor stilstaande wateren (kN is de kritische N-belasting, kP is de kritische P-belasting).

Figure 3 decision model for Ecological Key Factors *Water productivity* for stagnant waters (kN is the critical N-load, kP is the critical P-load).

regelmatig vissterfte optreedt is een voorbeeld van een ecosysteemtoestand waarvan de ESF *Organische belasting* waarschijnlijk niet voldoet.

Casus Achterplas

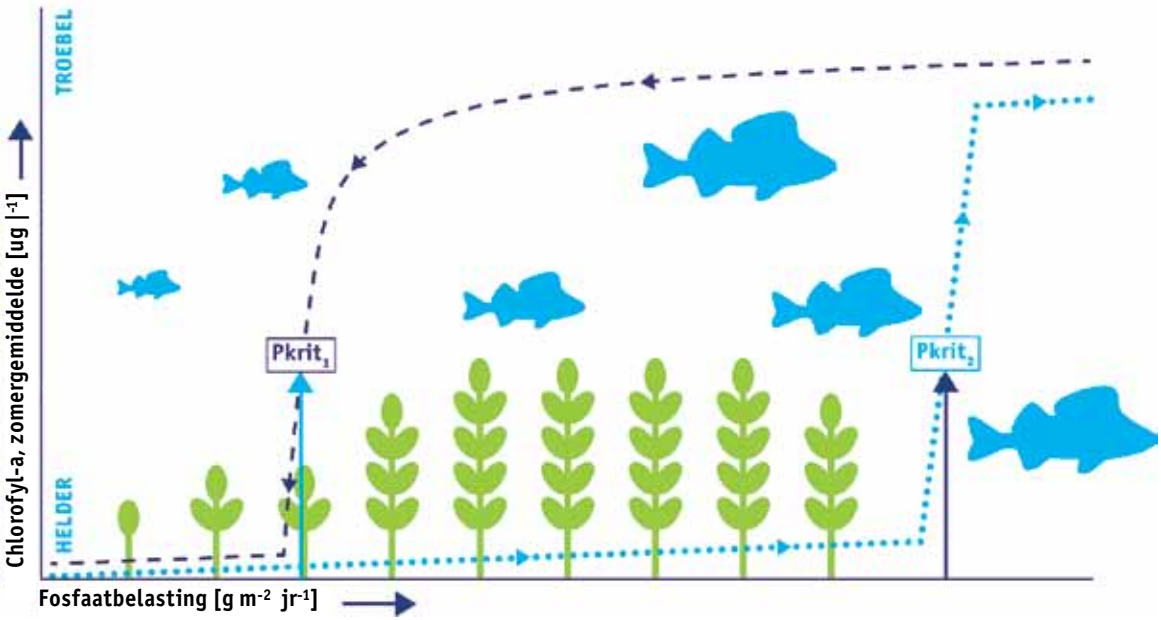
De ESF's zijn nog in ontwikkeling, maar voor stilstaande wateren is een deel van de ESF's al ingevuld en bruikbaar. Dit wordt geïllustreerd met de casus (Bergse) Achterplas in het beheergebied van Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard.

In de voorheen troebele en algenrijke Achterplas in Rotterdam zijn in het verleden al veel maatregelen getroffen om een heldere en plantenrijke plas te creëren:

- het baggeren en afdekken met zand van de waterbodem. Deze maatregel heeft vooral invloed op ESF *Productiviteit bodem*. Het totaal P-gehalte is verlaagd doordat het nutriëntenrijke slib is verwijderd en vervangen door nutriëntenarm zand;
- de aanleg van een defosfateringsinstallatie. Deze maatregel heeft vooral invloed op ESF *Productiviteit water*. De externe belasting is afgenomen doordat de nutriëntenconcentratie in het inlaatwater is verlaagd;
- actief visstandsbeheer. Deze maatregel heeft vooral invloed op ESF *Lichtklimaat*. Het doorzicht is toegenomen doordat bodemwoelende vis is verwijderd;
- de aanleg van een viswering bij gemaal Berg en Broekverlaat (vooral van invloed op ESF *Verspreiding*). Door vissen zo veel mogelijk weg te leiden van de schutsluis wordt intrek van vis zo veel mogelijk voorkomen;
- het aansluiten van 196 recreatiewoningen op de riolering (vooral van invloed op ESF *Organische belasting*).

Ten slotte is er veel aandacht geweest voor intensieve communicatie met de omgeving (ESF *Context*). Via bijeenkomsten, huis aan huis folders, gesprekken met recreatievaart en dergelijke is een breed draagvlak voor de uitvoering van het project bereikt.

Uit een toestandsanalyse volgde dat de situatie na het uitvoeren van de maatregelen sterk verbeterd is met



Figuur 4 algenconcentratie (y-as) in relatie tot de externe P-belasting (x-as), zoals gemodelleerd met het ecologisch model PCLake. De lichtblauwe lijn geeft de omslag van helder naar troebel water weer, de donkerblauwe lijn laat de weg terug zien. De kritische belastingen voor de omslag vanuit de heldere toestand (Pkrit2) en vanuit de troebele toestand (Pkrit1) zijn eveneens weergegeven. Voor de vergelijking tussen de belasting en de kritische belasting wordt uitgegaan van de zogenaamde hoogste kritische grens (Pkrit2). Naar: STOWA (2008); Janse (2005).

Figure 4 algae concentration (y-axis) in relation to the external P-load (x-axis), as modeled with the ecological model PCLake. The light blue line shows the shift from clear to turbid, the dark blue line shows the way back. The critical loads for the shift starting from the clear state (Pkrit2) and starting from the turbid state (Pkrit1) are also shown. For the comparison between the load and the critical load, the so-called highest critical load is assumed (Pkrit2). After: STOWA (2008); Janse (2005).

(veel) lagere stikstof-, fosfor- en chlorofylconcentraties dan voor die tijd. Wel schommelt de bedekking met ondergedoken waterplanten in de tijd, waardoor er nog geen sprake lijkt van een stabiele heldere en plantenrijke plas.

Het omleiden van het gedefosfateerde polderwater uit de polder Schiebroek stond nog als maatregel gepland. Omdat de waterkwaliteit al sterk verbeterd was, werd bestuurlijk de vraag gesteld of die maatregel nog wel noodzakelijk was. Om deze vraag goed te kunnen beantwoorden is een analyse van het systeem met de focus op de ESF *Productiviteit water* uitgevoerd. Uit die analyse (voor stappen zie kader op p. 29) bleek dat de externe nutriëntenbelasting vanuit de polder Schiebroek te hoog was voor duurzaam herstel van de waterkwaliteit. Het gedefosfateerde water is verantwoordelijk voor circa 70% van de totale nutriëntenbelasting van de Achterplas.

Met de ESF´s is aangetoond dat de eerder genomen maatregelen gericht waren op processen die ondergeschikt zijn aan de externe nutriëntenbelasting, zoals actief visstandbeheer, of dat maatregelen wel op het juiste proces ingrepen, maar niet ver genoeg gingen voor blijvend herstel. Het defosfateren van het polderwater uit Schiebroek bracht het fosfaatgehalte niet voldoende omlaag. De analyse met behulp van PCLake maakte duidelijk dat het niet de vraag was of de Achterplas weer in een troebele toestand zou terugvallen, maar wanneer dat zou optreden. Vervolgens is berekend of het om de plas leiden van water uit polder Schiebroek tot voldoende reductie van de externe nutriëntenbelasting zou leiden. Gedetailleerdere berekeningen met PCLake, waar-

bij de temporele dynamiek in de water- en nutriëntenstromen is meegenomen en de situatie zonder en met omleiding van het polderwater is vergeleken, bevestigde dit. Op basis van deze analyse heeft het waterschap besloten tot omleiding van het polderwater en bouw van een nieuwe gemaal.
De ESF's hebben geholpen om de belangrijkste systeemkenmerken en processen in beeld te brengen, te relateren aan de toekomstige toestand en op basis daarvan te komen tot een advies over mogelijke maatregelen. Met een analyse van alleen de toestand was dit niet mogelijk geweest.

Conclusie

ESF´s benadrukken het belang van bepalende kenmerken en processen van een watersysteem zoals de water- en nutriëntenstromen. Op zichzelf is het niet nieuw om deze stromen te analyseren (onder meer Buyse, 1989). De toegevoegde waarde van de ESF's is dat een heldere structuur wordt geboden, waarin alle voor de waterkwaliteit relevante processen worden beschouwd aan de hand van bestaande kennis en instrumenten.
Ten slotte maakt de ESF-methodiek een logische koppeling met effectieve maatregelen mogelijk door (1) de hiërarchische opzet, waardoor hoofd- en bijzaken van elkaar kunnen worden gescheiden en oorzaak-gevolgrelaties kunnen worden geduid en (2) door te werken met vuistregels als de nutriëntenbelasting ten opzichte van de kritische grens, waarmee zowel de huidige toestand als het effect van maatregelen kwantitatief in beeld kan worden gebracht.
Het Nederlandse waterbeheer wil de ESF-methodiek verder ontwikkelen omdat deze verschillende disciplines verbindt (ecologie, hydrologie, geomorfologie en chemische waterkwaliteit) en daarmee de samenwerking van verschillende experts en actoren bevordert: onderzoekers, planners, water- en terreinbeheerders, civiele ingenieurs enzovoort. Dit pleit ervoor de methodiek verder uit te werken tot een operationeel instrumentarium.

Summary

Ecological key factors. Tool kit for aquatic system analysis

Sebastiaan Schep & Steven Verbeek

ecological key factors, watersystems analysis, ecosystem state, Water Framework Directive

Water managers work on improving (ecological) water quality mainly with generic measures. This does not lead to the aimed result. Objectives and measures will therefore have to be evaluated in view of the specific functioning and sensitivity of the individual water systems. Ecological Key Factors are intended to give support for this purpose and are developed as a toolkit for a holistic water system analysis, which identifies the major bottlenecks through an improved understanding of ecosystem functioning. Two sets of factors are under development respectively for stagnant and running waters covering water quality, hydrology, morphology, connectivity, vegetation and the wider socio-economic context.

Literatuur

Baranyi, C., T. Hein, C. Holarek, S. Keckeis & F. Schiemer, 2002. Zooplankton biomass and community structure in a Danube River floodplain system: effects of hydrology. Freshwater Biology, 47.3: 473-482.

Beisner, B.E., D.T. Haydon & K. Cuddington, 2003. Alternative stable states in ecology. Frontiers in Ecology and the Environment, 1: 376-382.

Besselink, D.G.B., A.J.M. Jansen, D. Logemann & A.J.G. Reeze, 2018. Ecohydrologische systeemanalyse beekdalen. Wetenschappelijke grondslagen en toepassing van het handboek. Landschap 35/1: 7-13.

Bodegom, P.M. van, A.P.E. van Oudenhoven, K. Van der Biest, B. Pijpers, M. van 't Zelfde & B. Besteman, 2018. Sleutelfactor Context. Ecosysteemdiensten van watersystemen inzichtelijk gemaakt. Landschap 35/1: 43-49.

Buyse, J. J., 1989. Water- en stofbalansmodellen voor de Loosdrechtse Plassen WQL-report 1988–7. Amsterdam. Free University, Institute of Earth Sciences.

CUWVO, 1976. Schets van de eutrofiëringssituatie van het Nederlandse oppervlaktewater en overzicht van de onderzoeksactiviteiten van de verschillende waterkwaliteitsbeheerders. Resultaten van de eerste eutrofiëringsenquete. Lelystad. Coördinatiecommissie Uitvoering WVO/ RIZA.

Franken, R.J.M., J.J.P. Gardeniers & E.T.H.M. Peeters, 2006. Handboek Nederlandse Ecologische Beoordelingssystemen. Rapport 2006-04. Amersfoort. STOWA.

Janse, J. H., 2005. Model studies on the eutrophication of shallow lakes and ditches. Diss., Wageningen, Universiteit Wageningen.

Kramer, N.J.T.A. & J. de Smit, 1974. Systeemdenken, Leiden. Stenfert Kroese.

Oorschot, M. van, G. van Geest, A. de Niet & R. Riegman, 2012. Handleiding plus instrument AqMaD, Macrofyten. Rapport 2012-09. Amersfoort. STOWA.

RWS, 1988. Beleidsanalyse. Nota van Rijkswaterstaat, code IdB/ ws88-19.

Scheffer, M. , S.H. Hosper, M.L. Meijer , B. Moss & E. Jeppesen, 1993. Alternative equilibria in shallow lakes. Trends in Ecology & Evolution 8: 275-79.

Schep, S., L. Moria, G. van Geest & M. Ouboter, 2011. De stoplichtenmethodiek: toepassing in stilstaande wateren. Document versie 1.0. Amsterdam. Waternet.

Schep, S, B. van der Wal & T. van der Wijngaart, 2015. Ecologische sleutelfactoren voor het herstel van onderwatervegetatie; Toe-passing van de ecologische sleutelfactoren 1, 2 en 3 in de praktijk. Rapport 2015-17. Amersfoort. STOWA.

Smeets, E. & R. Weterings, 1999. Environmental indicators: Typology and overview. EEA Technical Report 25. Copenhagen. European Environment Agency.

Smolders, A.J.P., 1995. Mechanisms involved in the decline of aquatic macrophytes; in particular of Stratiotes aloides L. Proefschrift. Nijmegen. Katholieke Universiteit Nijmegen..

STOWA, 2008. Van helder naar troebel en weer terug: een ecologische systeemanalyse en diagnose van ondiepe meren en plassen voor de kaderrichtlijn water. Rapport 2008-04. Amersfoort. STOWA

STOWA, 2014. Ecologische sleutelfactoren. Begrip van het watersysteem als basis voor beslissingen. Rapport 2014-19. Amersfoort. STOWA.

Verdonschot P.F.M., 1990. Ecological characterization of surface waters in the province of Overijssel (The Netherlands). Ph.D. Thesis. Wageningen. Agricultural University.

Verdonschot, P.F.M., O. Driessen, W. van der Hoek, J. de Klein, A. Paarlberg, G. Schmidt, J. Schot & D. de Vries, 1995. Beken stromen. Leidraad voor ecologisch beekherstel. Rapport 1995-03. Amersfoort. STOWA.

Verdonschot, P.F.M., R.C. Nijboer, S.N. Janssen & M.W. van den Hoorn, 2000. Ecologische typologie, ontwikkelingsreeksen en waterstreefbeelden Limburg; IIb: cenotypenbeschrijvingen. Wageningen. Alterra.