

Gevoeligheid van aquatische doelsoorten voor klimaatadaptatiemaatregelen: van concept naar ruimtelijke vertaling

Lisette de Hoop (Radboud Universiteit Nijmegen), Rens Huisman (waterschap Zuiderzeeland), Harry Bouwhuis (waterschap Zuiderzeeland), Jonathan Matthews & Rob Leuven (Radboud Universiteit Nijmegen)

De toekomstige waterkwaliteit hangt af van de mogelijkheden om ongewenste effecten van klimaatverandering te voorkomen of te beperken door inrichting en beheer van watersystemen. Op grond van de Europese Kaderrichtlijn water (KRW) zijn grote investeringen nodig om in 2027 een goede ecologische toestand van alle watersystemen te realiseren. Maar hoe beïnvloedt klimaatverandering de natte natuur en wat zijn (kosten)effectieve maatregelen voor klimaatadaptatie? Waterschap Zuiderzeeland beschrijft in dit artikel de meerwaarde van soortengevoeligheidsdistributies (SSD's) voor de analyse van de ecologische toestand en toont ruimtelijke visualisaties van kwaliteitsoordelen in individuele watersystemen.

Klimaatverandering heeft grote gevolgen voor het temperatuurregime en neerslagpatroon in Nederland. Deze twee klimaatfactoren beïnvloeden de kwaliteit van het oppervlaktewater en veranderen ecologische processen. Door opwarming van het water zijn effecten te verwachten als zuurstofgebrek voor vissen en snellere groei van algen in voedselrijke wateren, mogelijke verdringing van inheemse waterplanten door exoten en een sterkere groei van ziekterwekkers. Intensere buien kunnen leiden tot een toename van af- en uitspoeling van meststoffen uit landbouwgronden en stedelijk gebied [1]. Deze gevolgen van klimaatverandering kunnen het doel van de Europese Kaderrichtlijn water (KRW) – namelijk het bereiken van een ‘goede ecologische toestand’ van oppervlaktewateren – en de effectiviteit van maatregelen beïnvloeden [2]. Klimaatadaptatie is voor waterbeheerders daarom onlosmakelijk verbonden met het behalen van de KRW-doelen. Reden voor Waterschap Zuiderzeeland om deze relatie nader te onderzoeken in zijn beheergebied.

De waarde van soortengevoeligheidsdistributies

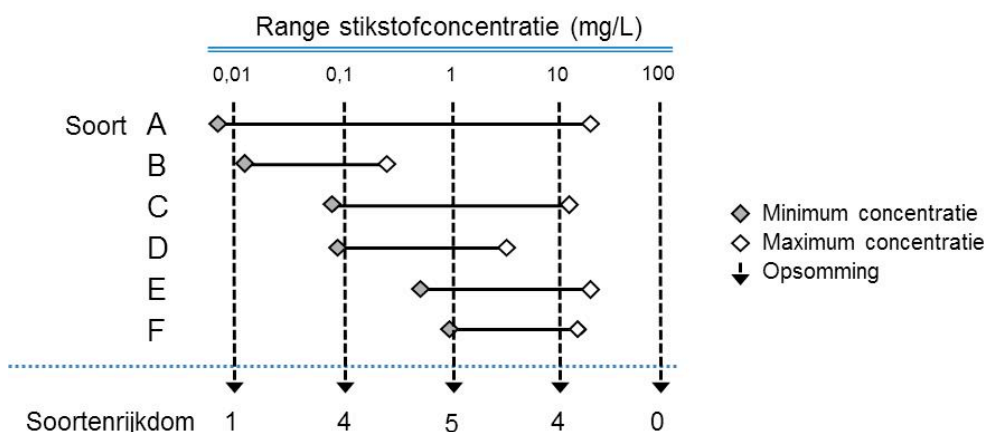
Om de ecologische kwaliteit van waterlichamen te beoordelen worden KRW-maatlatten gebruikt [3]. Aanvullend is onderzoek nodig naar de milieufactoren die de ecologische toestand beïnvloeden en naar (kosten)effectieve maatregelen om haalbare en betaalbare doelen te kunnen stellen. Hiervoor is inzicht vereist in de soortenrijkdom van aquatische doelsoorten in relatie tot klimaatgerelateerde milieufactoren. Dit inzicht is verkregen met behulp van soortengevoeligheidsdistributies (SSD's) die de statistische relatie van de gevoeligheid van planten- en diersoorten voor een individuele milieufactor of combinatie van milieufactoren beschrijven. SSD's zijn inzetbaar op diverse schaalniveaus: stroomgebieden, waterlichamen, watertypen en specifieke watersystemen. Daarnaast kunnen SSD's worden opgesteld voor de gehele aquatische biodiversiteit, specifieke soortgroepen (bijvoorbeeld KRW-doelsoorten van watertypes, inheemse en uitheemse soorten) of verschillende individuele soorten. Het

opstellen van SSD's is een algemeen geaccepteerde en frequent toegepaste methodiek voor het onderbouwen van milieunormen [4, 5, 6, 7, 8].

Dit artikel beschrijft de meerwaarde van SSD's bij het interpreteren van de ecologische toestand op basis van KRW-maatlatten en het afleiden van (kosten)effectieve maatregelen voor de realisatie van het KRW-doelbereik.

Concept voor het afleiden van SSD's

SSD's worden afgeleid uit de beschikbare meetdata over de aanwezigheid of afwezigheid van doelsoorten in relatie tot milieufactoren. Belangrijke klimaatgerelateerde milieufactoren voor oppervlaktewateren zijn bijvoorbeeld de temperatuur, het zuurstofgehalte en concentraties totaal fosfaat, totaal stikstof, orthofosfaat, ammonium en nitraat [1, 9]. Voor elke doelsoort is een minimum- en maximumwaarde per milieufactor afgeleid waarbinnen die soort daadwerkelijk in het onderzoeksgebied voorkomt [9]. Deze range indiceert de milieutolerantie van een doelsoort, op voorwaarde dat veel waarnemingen beschikbaar zijn. De soortspecifieke milieutoleranties worden gebruikt om de potentiële soortenrijkdom te berekenen bij bepaalde waarden van milieufactoren (afbeelding 1).

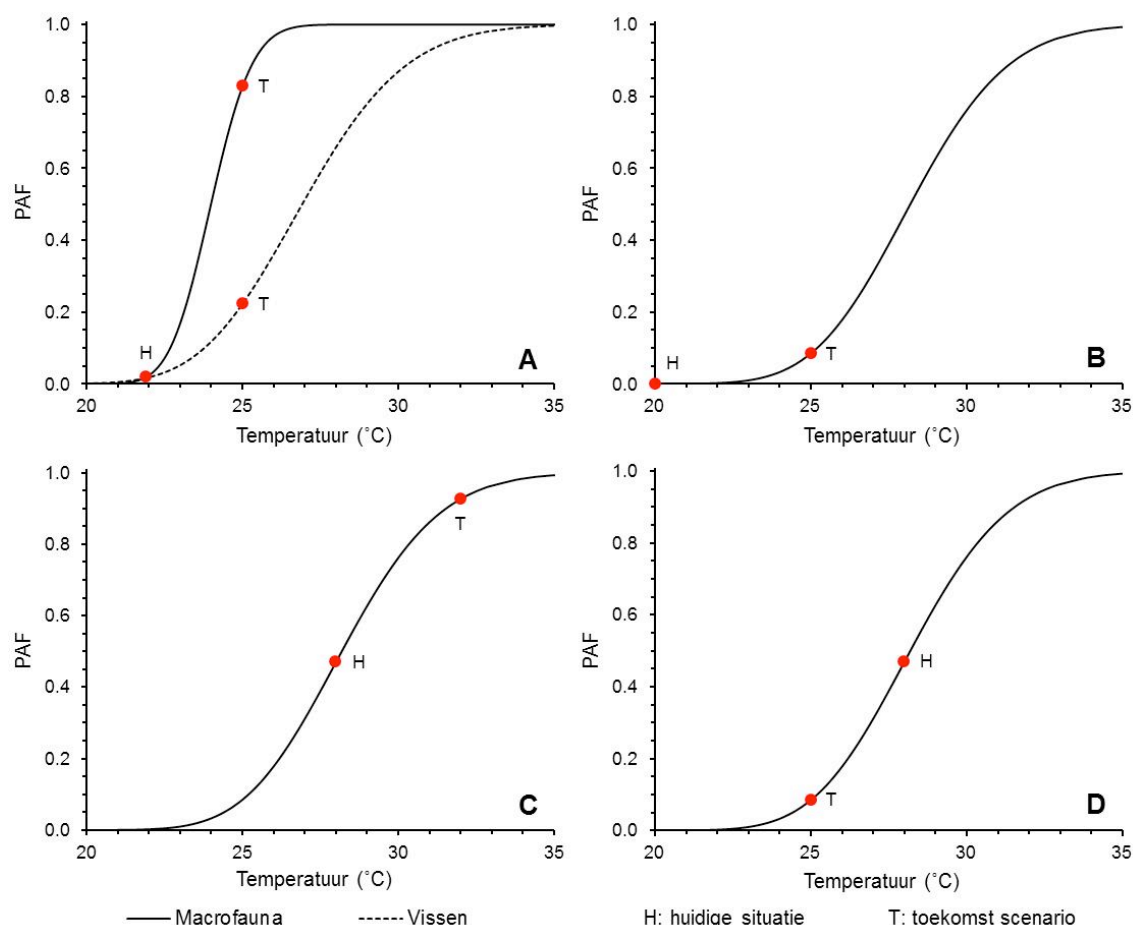


Afbeelding 1. Bepaling van de soortenrijkdom aan de hand van de verspreiding van soorten in relatie tot een milieufactor (voorbeeld: stikstofconcentratie)

In een SSD indiceert de maximale soortenrijkdom het aantal aanwezige soorten bij optimale omstandigheden van de milieufactor. Bij niet-optimale omstandigheden wordt de soortenrijkdom uitgedrukt in een afnamepercentage ten opzichte van de maximale soortenrijkdom, de potentieel afwezige fractie (PAF). Met andere woorden: de PAF is het percentage soorten dat verdwijnt bij toename of afname van de waarde van milieufactoren [9]. Door te extrapoleren worden vervolgens PAF's voor specifieke waarden voor een milieufactor berekend om een statistische verdeling van de soortengevoeligheid te maken (afbeelding 2). Met behulp van SSD's zijn de PAF's van een specifieke soortgroep afgeleid en vergeleken voor verschillende scenario's van de waterkwaliteit (huidige en toekomstige situatie). De toekomstscenario's zijn gebaseerd op extrapolaties van historische trends in de waterkwaliteit, zoals voor het beheergebied van waterschap Zuiderzeeland is gedaan [9].

Interpretatie van SSD's

Afbeelding 2 toont ter illustratie SSD's van de gevoeligheid van doelsoorten voor de watertemperatuur in verschillende watertypen binnen een beheergebied. Twee aspecten zijn van belang bij de interpretatie van de gevoeligheid van een soortgroep, namelijk de helling van de curve en de range van de milieufactor waarbinnen de PAF verandert. Een steile curve geeft aan dat een kleine verandering in een milieufactor grote invloed heeft op de soortenrijkdom. De range van de milieufactor waarbinnen de PAF aanzienlijk verandert geeft aan of eventuele veranderingen in de waterkwaliteit door klimaatverandering of beheer significante effecten hebben op de soortenrijkdom. Zo heeft in watertype A een hogere toekomstige temperatuur de grootste negatieve invloed op de soortenrijkdom van macrofauna. Maatregelen gericht op het voorkomen van een temperatuurstijging hebben bijvoorbeeld een groter effect op de soortenrijkdom in watertype C dan in watertype B. In watertype D kan een mitigerende maatregel gericht op temperatuurdaling mogelijk leiden tot een grote toename van de soortenrijkdom in de toekomst. SSD's hebben dus een duidelijke meerwaarde voor de bepaling van de (kosten)effectiviteit van maatregelen in waterlichamen.

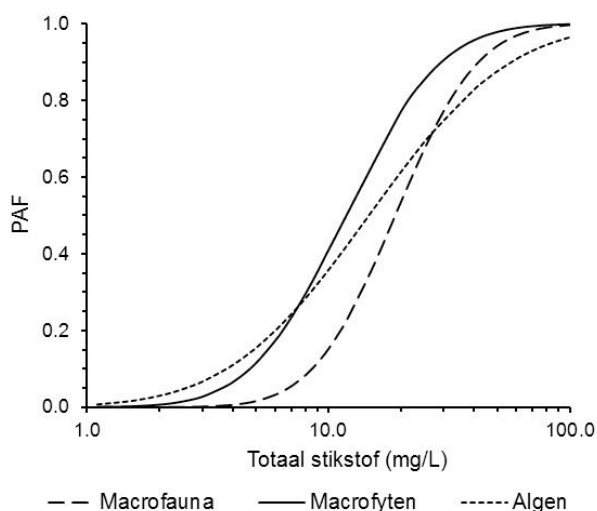


Afbeelding 2. Voorbeelden van effecten van veranderingen in de watertemperatuur op potentieel afwezige fracties (PAF) van aquatische soorten voor verschillende watertypen (A-D) [9]

Toepassing op KRW-doelsoorten in Zuiderzeeland

Waterschap Zuiderzeeland verzamelde tussen 1989 en 2011 een groot aantal gebiedsspecifieke meetwaarden van milieufactoren en de aanwezigheid of afwezigheid van soorten tijdens de reguliere bemonstering van oppervlaktewatersystemen in Flevoland. Hierdoor was voor elke KRW-doelsoort een minimum- en maximumwaarde per klimaatgerelateerde milieufactor beschikbaar waarbinnen die soort in het onderzoeksgebied voorkwam [9]. Deze soortspecifieke tolerantiegrenzen zijn gebruikt om SSD's af te leiden voor een selectie van milieufactoren. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen fyto-benthos (algen), macrofyten, macrofauna en vissen.

Afbeelding 3 toont de gevolgen van mogelijke veranderingen in de totaal-stikstofconcentratie voor de biodiversiteit in het KRW-watertype M20 (matig grote, diepe en gebufferde plassen) in het beheergebied van waterschap Zuiderzeeland [9]. Hier zijn macrofyten gevoeliger voor stikstof dan macrofauna en algen. Afbeelding 3 is maar één voorbeeld van de vele toepassingsmogelijkheden van het SSD-concept. SSD's zijn opgesteld voor de verschillende watertypen, soortgroepen, individuele milieufactoren en combinaties van factoren.



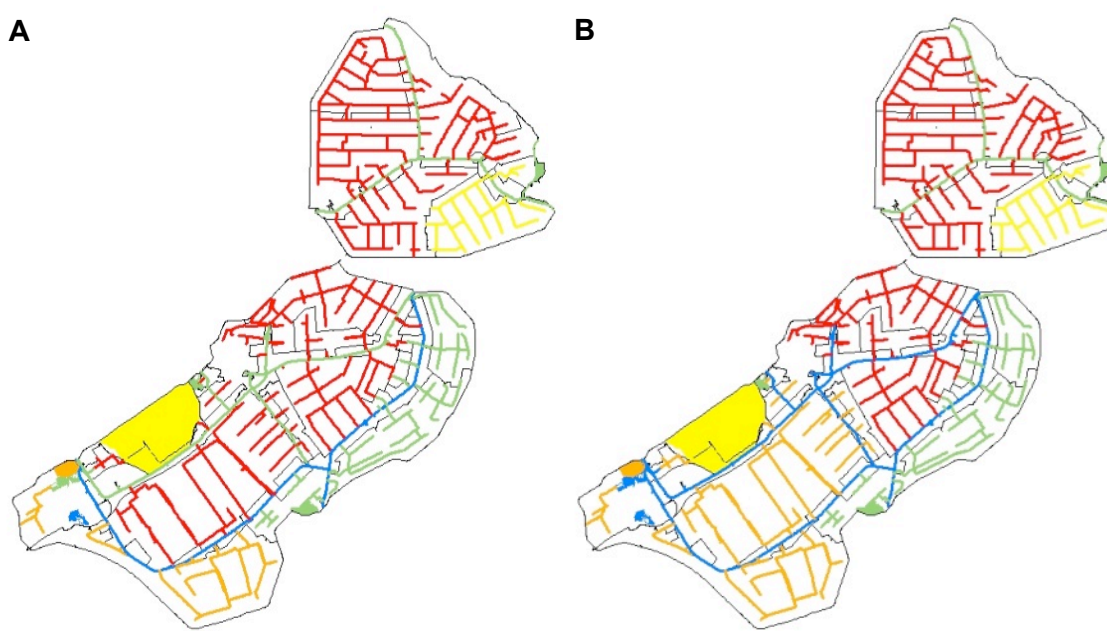
Afbeelding 3. De potentieel afwezige fractie (PAF) van KRW-doelsoorten in relatie tot de totaal stikstof concentratie (mg/L) voor matig grote, diepe, gebufferde plassen (watertype M20) in het beheergebied van het waterschap Zuiderzeeland [9]

Ruimtelijke vertaling

Het met SSD's verworven inzicht in de aan- en afwezigheid van doelsoorten in relatie tot milieufactoren is ook ruimtelijk weergegeven [10]. Hiervoor zijn bij een specifieke waterkwaliteit behorende PAF-waarden getransformeerd naar vijf kwaliteitsklassen met ieder een eigen kleurcode (zie legenda bij afbeelding 4). Het hoge kwaliteitsoordeel (blauw) komt overeen met de gangbare aanname dat ecosystemen beschermd zijn wanneer tenminste 95% van de soorten geen nadelige effecten ondervindt. Het slechte kwaliteitsoordeel (rood) komt

overeen met de grens waarbij urgente interventie in een gebied nodig is, namelijk waarbij minimaal 50% van de soorten negatieve effecten ondervindt. De kwaliteitsoordelen zijn vervolgens ruimtelijk vertaald. Tenslotte is met behulp van deze kwaliteitsoordelen de benodigde toestandsverbetering in een gebied bepaald aan de hand van de huidige situatie (waterkwaliteit tussen 2006 en 2011) en toekomstige situatie (extrapolatie huidige trend).

Afbeelding 4 toont de KRW-waterlichamenkaart van het beheergebied van waterschap Zuiderzeeland met de kwaliteitsoordelen voor macrofyten in de huidige en toekomstige situatie [10]. Het toekomstscenario geeft een indicatie van de potentiële gevolgen van veranderingen in de waterkwaliteit voor de doelsoorten bij ongewijzigd waterbeheer en klimaatverandering. De resultaten laten zien dat de toekomstige totaal-stikstofconcentraties en bijbehorende kwaliteitsoordelen in de meeste waterlichamen gelijk blijven. Echter, in sommige waterlichamen zal door het toekomstig mestbeleid en een veranderend landgebruik de af- en uitspoeling van stikstof afnemen. De invloed van de totaal-stikstofconcentraties op de soortenrijkdom zal daardoor minder worden.



Kwaliteitsoordeel	Potentieel afwezige fractie (PAF)	Kleurcode	Kwaliteitsoordeel	Potentieel afwezige fractie (PAF)	Kleurcode
Hoog	$PAF < 0,05$	Blauw	Matig	$0,35 \leq PAF < 0,50$	Oranje
Goed	$0,05 \leq PAF < 0,20$	Groen	Slecht	$PAF \geq 0,50$	Rood
Gemiddeld	$0,20 \leq PAF < 0,35$	Geel	Geen data	Geen data	Grijs

Afbeelding 4. Totaal-stikstofgerelateerde kwaliteitsoordelen voor macrofyten per waterlichaam in het beheergebied van waterschap Zuiderzeeland in A) de huidige situatie en B) het gemiddelde toekomstscenario [10]

Twee complementaire methoden

Het SSD-concept is een nieuwe benadering om de ecologische toestand van waterlichamen te beoordelen. De KRW beschrijft een andere methode, die gebruik maakt van de ecologische kwaliteitsratio (EKR) [11]. EKR-scores worden bepaald door de huidige toestand te vergelijken met de min of meer natuurlijke referentiewaarden van vastgestelde biologische indicatoren (KRW-maatlatten). Hierbij wordt onder andere rekening gehouden met de abundantie en groeivormen van doelsoorten en de aanwezigheid van ongewenste soorten. Er worden vijf klassen onderscheiden, lopend van een zeer goede (score 1) tot een slechte (score 0) ecologische toestand van een kwaliteitselement.

De SSD- en de EKR-methode zijn gebaseerd op verschillende benaderingen en meetgegevens. De SSD methode is daarom niet bedoeld om EKR-scores te vervangen of te voorspellen, maar biedt in combinatie met toekomstscenario's voor de waterkwaliteit veelbelovende perspectieven om de benodigde beheerinspanningen en maatregelen af te leiden of om de effectiviteit van de maatregelen voor specifieke soorten of soortgroepen te beoordelen.

Betrouwbaarheid en randvoorwaarden

Het is van belang om bij de interpretatie van de resultaten rekening te houden met de representativiteit van milieumetingen voor een gebied vanwege mogelijke ruimtelijke en temporele variatie in omgevingsfactoren [9]. Lokale kwel van grondwater, vegetatiegradiënten en windomstandigheden kunnen bijvoorbeeld verschillen in waterkwaliteit veroorzaken. Daarom geldt: hoe meer meetdata, hoe betrouwbaarder het beeld is dat gebiedspecifieke SSD's geven. Voorts zijn de resultaten van de toekomstscenario's een gecombineerd effect van klimaatverandering en autonome ontwikkelingen van de waterkwaliteit door bijvoorbeeld veranderingen in landgebruik en waterbeheer.

Meerwaarde

De soortengevoeligheidsmethodiek heeft een duidelijke meerwaarde bij het interpreteren van de ecologische toestand in oppervlaktewateren. De soortenrijkdom van doelsoorten wordt in relatie tot milieufactoren in kaart gebracht, waardoor het een goede aanvulling is op de EKR-methode. Op basis van SSD's kan kwantitatief en kwalitatief de benodigde toestandsverbetering van specifieke milieufactoren worden afgeleid om de KRW-doelen te bereiken. Dat maakt het mogelijk om te bepalen wat de meest (kosten)effectieve maatregelen zijn om deze verbetering te realiseren en waar in het gebied of bij welke kwaliteitselementen prioriteit gelegd moet worden. SSD's zijn bruikbaar voor specifieke gebieden, soortgroepen, milieufactoren en zelfs voor een combinatie van milieufactoren [9]. Ook in het buitenland zijn verschillende concepten ontwikkeld om de SSD-methode voor doelsoorten te integreren in ecologische beoordelingssystemen voor de KRW [12, 13].

De SSD-methode kan voor verschillende doeleinden gebruikt worden. In dit artikel is beschreven hoe waterschap Zuiderzeeland SSD's gebruikt om de gevoeligheid van aquatische doelsoorten voor klimaatadaptatiemaatregelen te bepalen. Een andere toepassingsmogelijkheid is het voorspellen van het verdwijnen van een soort uit een bepaalde soortgemeenschap, bijvoorbeeld door eutrofiëring van Europese meren en stromen [4]. SSD's

zijn tevens gebruikt om mogelijke verschillen in gevoeligheid te onderzoeken tussen inheemse en uitheemse vissoorten voor zuurstof- en temperatuurveranderingen en om de gevoeligheid voor verdroging bij weekdieren in Nederlandse rivieren te bepalen [5, 7, 8]. In gematigde gebieden en poolgebieden is de gevoeligheid van mariene soorten voor petroleum vergeleken aan de hand van SSD's [6].

Nieuwe inzichten

Waterbeheerders kunnen met de soortengevoeligheidsmethodiek uitspraken doen over de belemmerende milieufactoren voor het bereiken van de KRW-doelen. Afhankelijk van de plaats op de SSD zal een verandering in een milieufactor leiden tot een verbetering of verslechtering in de soortenrijkdom. Ruimtelijk inzicht in de waterkwaliteit met behulp van SSD's geeft waterbeheerders een indicatie over de zin en (kosten)effectiviteit van bepaalde maatregelen in specifieke gebieden. Bij waterschap Zuiderzeeland leidde het gebruik van SSD's bijvoorbeeld tot het inzicht dat in hun beheergebied de extra invloed van klimaatverandering op het KRW-doelbereik beperkt is. In de huidige situatie belemmeren de hoge stikstof- en fosfaatgehalten al een optimale ontwikkeling van KRW-doelsoorten. SSD's geven een goede indicatie van de relatie tussen de waterkwaliteit en de aan- of aanwezigheid van plant- en diersoorten. De methode kan behalve bij onderzoek naar effecten van klimaatverandering of het afleiden van normen ook gebruikt worden bij de analyse van een breed spectrum aan andere waterkwaliteitsproblemen.

Referenties

1. Zoetendal, J. R., Volkers, B., Swart, E. & Maessen, M. (2012). Klimaatverandering & Waterkwaliteit - Gebiedsuitwerking beheersgebied waterschap Zuiderzeeland. Grontmij. GM-0059328. pp. 192.
2. Europese Commissie (2000). Richtlijn 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid. Luxemburg.
3. Altenburg, W. & et al. (2007). Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water. STOWA. Utrecht. 2007-32. pp. 375
4. Azevedo, L. B., Van Zelm, R., Leuven, R. S. E. W., Hendriks, A. J. & Huijbregts, M. A. J. (2015). Combined ecological risks of nitrogen and phosphorus in European freshwaters. *Environmental Pollution*, 200, 85-92.
5. Collas, F. P. L., Koopman, K. R., Hendriks, A. J., Van der Velde, G., Verbrugge, L. N. H. & Leuven, R. S. E. W. (2014). Effects of desiccation on native and non-native molluscs in rivers. *Freshwater Biology*, 59 (1), 41-55.
6. De Hoop, L., Schipper, A. M., Leuven, R. S. E. W., Huijbregts, M. A. J., Olsen, G. H., Smit, M. G. D. & Hendriks, A. J. (2011). Sensitivity of polar and temperate marine organisms to oil components. *Environmental Science and Technology*, 45 (20), 9017-9023.

7. Elshout, P. M. F., Dionisio Pires, L. M., Leuven, R. S. E. W., Wendelaar Bonga, S. E. & Hendriks, A. J. (2013). Low oxygen tolerance of different life stages of temperate freshwater fish species. *Journal of Fish Biology*, 83 (1), 190-206.
8. Leuven, R. S. E. W., Hendriks, A. J., Huijbregts, M. A. J., Lenders, H. J. R., Matthews, J. & Van der Velde, G. (2011). Differences in sensitivity of native and exotic fish species to changes in river temperature. *Current Zoology*, 57 (6), 852-862.
9. Matthews, J., Oudendijk, M. J. J. M., Huijbregts, M. A. J., Schipper, A. M. & Leuven, R. S. E. W. (2013). Gevoeligheid van aquatische soorten voor veranderingen in klimaatgerelateerde waterkwaliteitsparameters. Radboud Universiteit. Nijmegen. Verslagen Milieukunde 428. pp. 101.
10. Matthews, J., Oudendijk, M. J. J. M. & Leuven, R. S. E. W. (2014). Gevoeligheid van aquatische soorten voor veranderingen in klimaatgerelateerde waterkwaliteitsparameters 1: Ruimtelijke vertaling voor KRW doelsoorten. Radboud Universiteit. Nijmegen. Verslagen Milieukunde 449. pp. 101.
11. Matthews, J., Oudendijk, M. J. J. M. & Leuven, R. S. E. W. (2014). Gevoeligheid van aquatische soorten voor veranderingen in klimaatgerelateerde waterkwaliteitsparameters 3: Relaties tussen ecologische kwaliteitsratios en potentieel afwezige fracties van KRW doelsoorten. Radboud Universiteit. Nijmegen. Verslagen Milieukunde 451. pp. 39.
12. Gottardo, S., Semenzin, E., Giove, S., Zabeo, A., Critto, A., De Zwart, D., Ginebreda, A., Von der Ohe, P. C. & Marcomini, A. (2011). Integrated Risk Assessment for WFD Ecological Status classification applied to Llobregat river basin (Spain). Part II - Evaluation process applied to five environmental Lines of Evidence. *Science of the Total Environment*, 409 (22), 4681-4692.
13. Vighi, M., Finizio, A. & Villa, S. (2006). The evolution of the Environmental Quality Concept: From the US EPA Red Book to the European Water Framework Directive. *Environmental Science & Pollution Research*, 13 (1), 9-14.