



## Het belang van schaal bij systeemanalyse en maatregelkeuze

1. INLEIDING .....	2
2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS .....	2
3. STRATEGIE.....	2
4. SCHEMATISCHE WEERGAVE.....	3
5. WERKING.....	5
Milieubouwstenen .....	5
Biologische bouwstenen .....	6
De soorten vertellen het verhaal.....	7
Milieu- en biologische bouwstenen werken als filters.....	7
De systeemgerichte ecologische stress analyse.....	7
6. KOSTEN EN BATEN .....	8
7. RANDVOORWAARDEN .....	9
8. GOVERNANCE.....	10
9. PRAKTIJKERVARINGEN EN LOPENDE INITIATIEVEN.....	10
10. KENNISLEEMTES .....	11
11. BRONNEN & LINKS .....	11
12. COLOFON .....	12
13. DISCLAIMER.....	12

## 1. INLEIDING

Sommige milieufactoren werken op lokale schaal, terwijl andere werken op landschaps- of regionale schaal. De milieuecondities op een locatie zijn dan ook een optelsom van processen die op verschillende schaalniveaus spelen. Vanuit de soorten geredeneerd kan dit leiden tot milieuecondities die passend zijn, wanneer deze binnen de geprefereerde range van een soort vallen, maar juist stress opleveren voor een andere soort die andere milieuevereisten heeft. Om verbetering van de ecologische kwaliteit van watersystemen te bereiken is het belangrijk te weten op welke schaal verstoringen en herstel inwerken. Met een ecologische systeemanalyse wordt de werkingsschaal van milieufactoren duidelijk en dat biedt handvatten om effectieve maatregelpakketten te kiezen.

## 2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS

Verdonschot P.F.M. & Verdonschot R.C.M. (2021). [Ecologische systeembenadering en ecologische systeemanalyse](#). Rapport Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. 129 pp.

Verdonschot P.F.M. & Verdonschot R.C.M. (2021). [Indicatiewaarden van aquatische organismen](#). Kennisdocument Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. 46 pp.

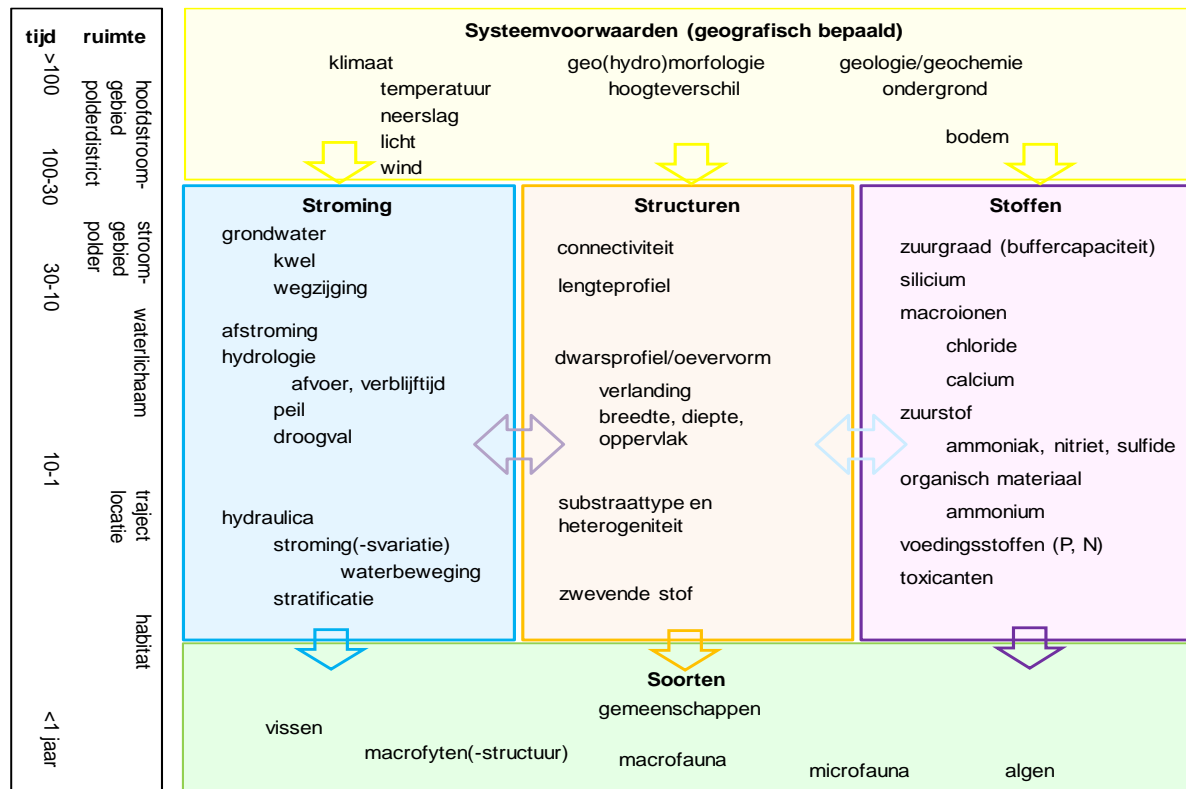
de Vries, Jip; Verdonschot, Ralf C.M.; Verdonschot, Piet F.M. (2021). [Regionale benadering voor effectief waterkwaliteitsbeheer](#). Notitie Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. 20 pp.

## 3. STRATEGIE

Processen die op verschillende schalen in ruimte en tijd een rol spelen werken door in de toestand van een oppervlaktewater. Ook het menselijk handelen maakt hier onderdeel van uit. Ook organismen kennen ieder hun eigen schalen. Zo heeft een alg een zeer korte levensduur van een paar dagen en bezet een paar vierkante centimeters terwijl een vis wel enkele tientallen jaren kan leven en zich over een

tientallen kilometers kan verplaatsen. Met het besef dat ecosystemen gevormd worden door processen die over verschillende schalen, van landschap tot habitat en van dagen tot decades, werken kan het waterbeheer versterkt worden. In deze Deltafact worden de bouwstenen beschreven die dit besef van inhoud kunnen voorzien.

#### 4. SCHEMATISCHE WEERGAVE



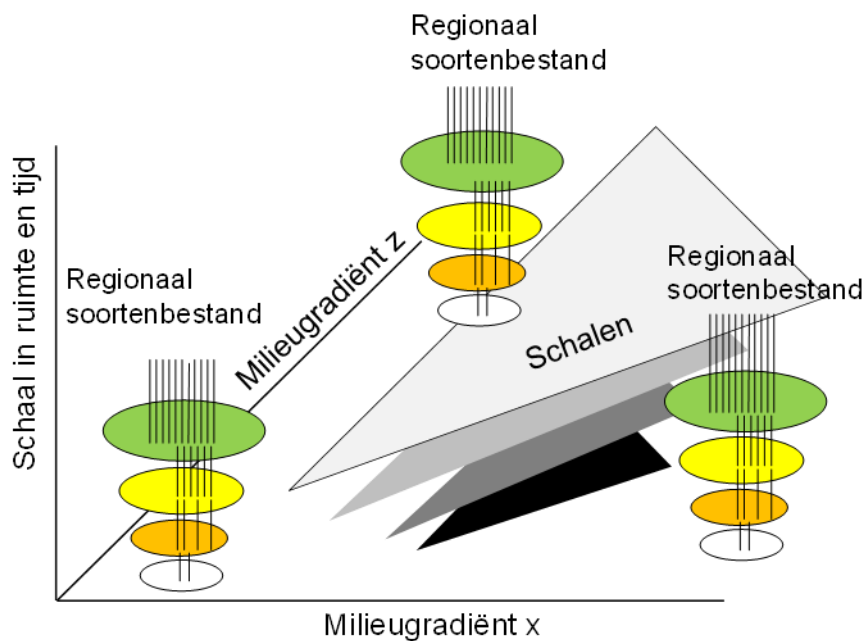
**Afbeelding 1:** Het 5-S-model met abiotische en biotische milieufactoren (Verdonschot et al. 1995).



**Afbeelding 2:** De regionale soortenpoule wordt door verschillende filters uitgedund tot een lokale soortenpoule, die in een waterlichaam of deel daarvan wordt aangetroffen; de zogenaamde gemeenschaps- of assemblage-filters (bewerkt naar Lake et al. 2007

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.564.5830&rep=rep1&type=pdf>

).



**Afbeelding 3:** Het 'filteren' van soorten door de aan- of afwezigheid van heterogeniteit in ruimte en tijd op de schaal van het landschap (groen), het biotoop (geel), het waterlichaam (oranje) en het habitat (wit), zoals aangegeven door het steeds kleiner worden van de regionale soortenpoule (zie afbeelding 2).

## 5. WERKING

Milieufactoren en biologische factoren die op verschillende schalen in ruimte en tijd een rol spelen werken door in de ecologische toestand van een oppervlaktewater. Kennis van deze processen kan worden ingezet als bouwstenen om het ecologisch functioneren van een waterlichaam te verbeteren.

### Milieubouwstenen

De ecologische sleutelfactoren (ESF) benoemen de voor de ecologie belangrijkste milieufactoren. Om deze sleutelfactoren hanteerbaar te maken zijn ze in het 5S-model (Afb. 1) gerangschikt naar de mate waarop ze invloed hebben op de werking van het waterecosysteem. Deze schematisatie van het waterecosysteem omvat vijf hoofdgroepen van factoren: systeemvoorwaarden, hydrologische, morfologische, fysisch-chemische en biologische factoren (Verdonschot et al. 1995). Binnen iedere groep zijn de belangrijkste ecologische sleutel- en stuurfactoren benoemd.

De grootschalige lange-termijn-factoren of "systeemvoorwaarden" zijn bijvoorbeeld klimaat, geologie en geomorfologie. De regionale en lokale grond- en oppervlaktewater hydrologie en hydraulica of "stroming" betreffen bijvoorbeeld grondwaterstroming, afvoer en verblijftijd. De vorm en substraten of "structuren" verwijzen naar bijvoorbeeld oevervorm, lengteprofiel en substraten (incl. planten). De chemische stoffen of "stoffen" betreffen bijvoorbeeld de nutriënten, het zuurstof of het opgelost organisch materiaal. Tenslotte reageert de biologie of "soorten", zoals de algen of vissen, op bovengenoemde groepen van factoren.

Al deze milieubouwstenen worden door de mens beïnvloed waarbij de parameterwaarden zodanig kunnen gaan afwijken dat een milieufactor een negatief effect op een organisme krijgt, m.a.w. een stressor wordt. Dergelijke stress kan op een andere schaal worden veroorzaakt dan de oorspronkelijke werkingsschaal van betreffende milieufactor. Zo is bijvoorbeeld het voedingsstoffengehalte van een watersysteem oorspronkelijk afhankelijk van de bodemsamenstelling en de directe omgeving maar door een rioolwaterlozing of diffuse afspoeling van agrarisch land kan de herkomst van voedingsstoffen juist vanuit een veel groter gebied afkomstig zijn dan van nature het geval zou zijn.

### Biologische bouwstenen

Bacteriën zijn vooral afhankelijk van de chemische waterkwaliteit. De algensamenstelling van een water wordt vooral op lokale schaal en op korte termijn (dagen) bepaald door de beschikbaarheid van voedingsstoffen. Waterplanten daarentegen geven een tragere langere-termijn-indicatie van de effecten van voedingsstoffen, maar ook de oevervorm en het waterpeil op lokale schaal. Macroinvertebraten zijn door hun grote soortenrijkdom divers in termen van preferenties en reageren op kortere tot langere termijn (maanden-jaren) op lokale en regionale hydrologische, morfologische en fysisch-chemische factoren. De samenstelling van vispopulaties wordt vooral door regionale hydromorfologische omstandigheden en verbindingen op de schaal van het stroomgebied over de middellange termijn (jaren) bepaald.

Verschillende soortgroepen geven dus complementaire informatie over het water waarin ze worden aangetroffen. Wanneer het effect van een bepaalde milieufactor gediagnosticeerd moet worden, dan kan op basis van de te verwachten respons de

meest indicatieve organismegroep zorgvuldig worden gekozen. Dergelijke keuzes zijn nodig om doelgericht en kosteneffectief waterbeheer uit te voeren.

### De soorten vertellen het verhaal

Wanneer de waarden van milieufactoren buiten hun natuurlijke bandbreedten komen en hierdoor stress veroorzaken zullen de soorten met de grootste gevoeligheid voor een verandering in deze factor het snelst verdwijnen. Dergelijke soorten zijn geschikte indicatoren voor de eerste signalen van achteruitgang voor deze stressor. Het kan zijn dat dezelfde soort juist weer minder gevoelig is voor een andere stressor. Indien dat niet het geval is dan is deze soort een algemene indicatorsoort terwijl in het andere geval de soort juist een hoge diagnostische waarde heeft. Door soorten te ordenen voor hun gevoeligheid voor een stressor kan de mate van achteruitgang geduid worden.

### Milieu- en biologische bouwstenen werken als filters

Het samenspel van milieufactoren en organismen speelt van lokale (habitat) tot regionale (stroomgebied, polder) schaal en verschilt in de tijd. Bepaalde systeemvoorwaarden zorgen dat soorten wel of niet kunnen voorkomen. In een hellend gebied stroomt water in één richting af en vormt een beek. Soorten die stroming vereisen kunnen alleen in hellende gebieden voorkomen. Vervolgens bepaalt de stroomsnelheid of soorten uit snelstromende beken wel of niet kunnen voorkomen, daarnaast kan de aanwezigheid van dood hout bepalen of snelstromende houtbewoners kunnen overleven enzovoorts. Soorten die in meren leven en afhankelijk zijn van een goed ontwikkelde oeverzone kunnen alleen in meren met goed ontwikkelde land-water-overgangen gedijen. De kwaliteit en omvang van oeverzone langs meren is niet alleen afhankelijk van de waterkwaliteit, maar ook van peilvariatie. Zonder peilvariatie worden deze zone smal. Dit samenspel van milieufactoren en organismen vormt een set van zogenoemde 'filters' die bepalend kunnen zijn of soorten ergens wel of niet kunnen gedijen (Afb. 2). Tussen deze filters bestaat ook een hiërarchie, zoals die in het 5S-model wordt omschreven (Afb. 3).

### De systeemgerichte ecologische stress analyse

Door de ecologie als uitgangspunt te nemen en oorzaken te zoeken op de schaal van het stroomgebied en deze te bekijken over een langere tijdschaal kan de werking van aquatische ecosystemen in beeld worden gebracht. Dit geeft een beter inzicht in

waar de bronnen van de problemen voor de ecologie te vinden zijn. Hiervoor is de Systeemgerichte ecologische stress analyse (SESA) methodiek ontwikkeld, die is uitgewerkt voor stromende wateren (Verdonschot & Verdonschot 2021a <https://kennisimpulswaterkwaliteit.nl/nl/publicaties/ecologische-systeembenadering-en-ecologische-systeemanalyse>). In een SESA wordt een analyse uitgevoerd waarin wordt vastgesteld wat de oorspronkelijke situatie was, die helpt bij het vormen van een beeld van de doelsituatie op langere termijn en het natuurlijke systeem functioneren. Vervolgens wordt de huidige toestand bepaald met daarbij de aanwezige knelpunten/stressoren en biologie. Met deze informatie kunnen realistische ontwikkelingsbeelden voor de nabije toekomst worden opgesteld met bijpassende maatregelpakketten waarmee ecologisch gestelde doelen kunnen worden behaald. Een belangrijk aspect van SESA is het meenemen van samenhang tussen factoren onderling en tussen factoren en organismen.

Samenhang verwijst hier naar het voorkomen van soorten en gemeenschappen in de 'milieu'ruimte en het samenspel tussen een groot aantal milieufactoren. De meeste, maar zeker niet alle, oorzaken/bronnen van stress ontstaan buiten het waterlichaam en hebben een opstapeling van stress in het waterlichaam tot gevolg. Dit wordt aangeduid als 'multiple stress'. In Nederlandse oppervlaktewateren is bijna altijd sprake van multiple stress, soms door één en vaak door meerdere oorzaken buiten het waterlichaam. Als voorbeeld is de veelvoudige samenhang/interactie tussen verschillende stressoren en ecologische hoofdsleutelprocessen voor stromende wateren weergegeven (Tabel 1).

## 6. KOSTEN EN BATEN

SESA is een methode om op basis van de huidige toestand van een beek en de herstelpotentie knelpunten binnen een stroomgebied in kaart te brengen en te kwantificeren. Hieraan wordt vervolgens een streefbeeld gekoppeld en worden maatregelpakketten voorgesteld die nodig zijn om dit streefbeeld te bereiken. Dit maakt het ingrijpen met maatregelen veel effectiever en maakt het daarnaast mogelijk gedifferentieerder te werk te gaan bij het herstellen van een beekstelsel. SESA voorziet daarmee in de behoefte bij waterbeheerders aan concrete, haalbare en betaalbare ontwikkelingsbeelden in termen van maatregelpakketten en ecologische effecten, die binnen een termijn van circa 15 jaar gerealiseerd moeten kunnen worden en die gebaseerd zijn op een samenhangende benadering van het watersysteem over verschillende schalen.



Tabel 1: De multiple samenhang tussen multiple stressoren en ecologische hoofdsleutelprocessen in stromende watersystemen over drie schalen (Verdonschot & Verdonschot 2021a

[https://kennisimpulswaterkwaliteit.nl/nl/publicaties/ecologische-systeembenadering-en-](https://kennisimpulswaterkwaliteit.nl/nl/publicaties/ecologische-systeembenadering-en-ecologische-systeemanalyse)

[ecologische-systeemanalyse](https://kennisimpulswaterkwaliteit.nl/nl/publicaties/ecologische-systeembenadering-en-ecologische-systeemanalyse)). Licht groen matige samenhang, donkergroen sterke samenhang.

Schaal	Ecologische sleutelfactoren  Stressor-groepen	Temperatuur-regime	Licht-regime	Stromings-regime	Substraat-variatie	Organische materiaal	Zuurstof-huishouding	Nutriënten-huishouding	Macro-ionen-huishouding	Toxische stoffen	Verbinding
Stroomgebied	Geohydrologische stress	Donkergroen		Donkergroen	Donkergroen				Lichtgroen		
	Geomorfologische stress	Donkergroen	Donkergroen	Donkergroen	Lichtgroen	Lichtgroen					Donkergroen
	Geochemische stress						Lichtgroen	Lichtgroen	Donkergroen		
	Chemische stress diffuse bronnen		Lichtgroen		Donkergroen	Donkergroen	Donkergroen	Donkergroen	Donkergroen	Donkergroen	
	Stress puntbronnen	Lichtgroen	Donkergroen	Donkergroen	Donkergroen	Donkergroen	Donkergroen	Donkergroen	Donkergroen	Donkergroen	
Bufferzone	Hydrologische stress	Donkergroen	Lichtgroen			Lichtgroen	Lichtgroen		Donkergroen		Donkergroen
	Morfologische stress	Donkergroen	Donkergroen	Donkergroen	Donkergroen	Donkergroen					Donkergroen
	Chemische stress diffuse bronnen		Lichtgroen		Donkergroen	Donkergroen	Donkergroen	Donkergroen	Donkergroen	Donkergroen	
Waterlichaam	Fysische stress (systeem)	Donkergroen	Donkergroen			Lichtgroen					
	Hydraulische stress			Donkergroen	Donkergroen	Donkergroen	Donkergroen				
	Morfologische stress	Donkergroen		Donkergroen	Donkergroen	Donkergroen					Donkergroen
	Stress beheer en onderhoud		Lichtgroen	Donkergroen	Donkergroen	Donkergroen	Donkergroen	Lichtgroen			

## 7. RANDVOORWAARDEN

Om de meest effectieve maatregelen op de juiste schaal in ruimte en tijd te nemen is een hiërarchisch geordend overzicht nodig van de belangrijkste sturende factoren, functies en interacties in een ecosysteem. Het 5S-model biedt dit overzicht, is transparant, voorkomt doublures en is in de praktijk gemakkelijk hanteerbaar getuige de toepassing op een breed scala aan ecosystemen; van beken, sloten en meren tot koraalriffen.

## 8. GOVERNANCE

Doordat SESA de focus verlegt naar het 'landschap' — met het stroomgebied waar het waterlichaam deel van uitmaakt — is het vaststellen van oorzaak-effect relaties/ketens beter mogelijk dan bij een locatiespecifieke benadering, mede doordat naar en over meerdere schalen wordt gekeken. Hierbij komt ook de sociaaleconomische context, oftewel de relatie met menselijke activiteiten, duidelijk in beeld.

Omdat het wegnemen van multiple stress situaties in de meeste gevallen vraagt om combinaties van maatregelen, worden maatregelpakketten samengesteld die samen tot een verbetering van de ecologie leiden. Maatregelpakketten kunnen bestaan uit verschillende combinaties van maatregelen, spelen vaak op een landschapsbrede schaal en iedere combinatie kan als scenario met SESA worden getest. De methode voor het in kaart brengen van stressoren in de huidige situatie wordt ook gebruikt om de effecten van scenario's in beeld te brengen zodat deze één op één vergelijkbaar zijn.

Bij het samenstellen van scenario's worden ook de toekomstige ontwikkelingen in land- en ruimtegebruik en andere socio-economische ontwikkelingen meegenomen. Scenario's zijn realistisch als tegelijkertijd wordt afgeleid wat er mogelijk en haalbaar is in het gebied wat betreft de terugkeer van doelsoorten en de milieueisen die deze stellen in relatie tot de door de maatregelen verbeterde kwaliteit van het watersysteem.

## 9. PRAKTIJKERVARINGEN EN LOPENDE INITIATIEVEN

De SESA-methodiek is ontwikkeld en toegepast op de stroomgebieden van de laaglandbeken de Tungelroyse beek en de Groote Molenbeek binnen het beheergebied van waterschap Limburg (De Vries et al. 2019 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719335557> , Verdonschot et al. 2021c <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/545036>). Later is dit uitgebreid met de Oostrumsche beek, de Tongelreep (Waterschap de Dommel), de Glanerbeek (Waterschap Vechtstromen) en de Hunze (Waterschap Hunze en Aa's) ([link naar KIWK SESA laaglandbeken](#)). Ook zijn er stappen gezet om de SESA toepasbaar te maken voor sloten en kanalen ([link naar KIWK SESA sloten en](#)

kanalen) en is een SESA voor heuvellandbeken opgesteld (De Vries et al., in voorbereiding).

## 10. KENNISLEEMTES

De belangrijkste kennisleemten zijn de kwantificering van schaalafhankelijkheid, inzichten in de mate van effect van tijdsaspecten, zoals de historische doorwerking, irreversibele veranderingen, de weging van watertype-specifieke stress-effecten in SESA, de diagnostische kenmerken van individuele soorten en de rol van dispersie en connectiviteit bij ongewervelden.

## 11. BRONNEN & LINKS

Allan, T. F. H., & Starr, T. B. (1982). Hierarchy. Perspectives for ecological complexity, Chicago.

de Vries, J. (2021). Biology-based approaches to unravel multiple stressor impacts on aquatic ecosystems (Doctoral dissertation, Thesis University of Amsterdam).

<https://dare.uva.nl/search?identifier=70b60e58-2926-4a01-a8fe-169530cfb988>

de Vries, J., Kraak, M. H., Verdonschot, R. C., & Verdonschot, P. F. (2019). Quantifying cumulative stress acting on macroinvertebrate assemblages in lowland streams. *Science of the Total Environment*, 694, 133630.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719335557>

Johnson, R. K., & Hering, D. (2009). Response of taxonomic groups in streams to gradients in resource and habitat characteristics. *Journal of Applied Ecology*, 46(1), 175-186.

<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2664.2008.01583.x>

Lake, P. S., Bond, N., & Reich, P. (2007). Linking ecological theory with stream restoration. *Freshwater biology*, 52(4), 597-615.

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.564.5830&rep=rep1&type=pdf>

Poff N.L. (1997). Landscape filters and species traits: towards mechanistic understanding and prediction in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society* 16(2): 391-409. [https://pofflab.colostate.edu/wp-content/uploads/2019/08/Poff\\_1997\\_Landscapefiltersandspeciestraits.pdf](https://pofflab.colostate.edu/wp-content/uploads/2019/08/Poff_1997_Landscapefiltersandspeciestraits.pdf)

Verdonschot, P. F. M. (1990). Ecological characterization of surface waters in the province of Overijssel, The Netherlands (Doctoral dissertation, Verdonschot).

<https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/202209>

Verdonschot P.F.M. et al. (red.) (1995). Beken stromen. Leidraad voor ecologisch beekherstel. Werkgroep Ecologisch Waterbeheer, subgroep Beekherstel, WEW-06. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, STOWA 95-03, Utrecht. 1-236.

Verdonschot P.F.M. & Verdonschot R.C.M. (2021a). Ecologische systeembenadering en ecologische systeemanalyse. Rapport Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. 129 pp.

<https://kennisimpulswaterkwaliteit.nl/nl/publicaties/ecologische-systeembenadering-en-ecologische-systeemanalyse>

Verdonschot P.F.M. & Verdonschot R.C.M. (2021b). Indicatiewaarden van aquatische organismen. Kennisdocument Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. 46 pp.

<https://www.stowa.nl/publicaties/indicatiewaarden-van-aquatische-organismen-kiwk>

Verdonschot, P. F. M., Verdonschot, R. C. M., de Jong, E., Soetens, A., van Maanen, B., van Mil, J., Vreemans, N., & Verdonschot, F. (2021c). Stroomgebiedsbrede Ecologische Systeem Analyse (SESA) : van het stroomgebied van de Groote Molenbeek. (Notitie Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research). Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research.

<https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/545036>

de Vries J., Verdonschot R.C.M. & Verdonschot P.F.M. (2021). Regionale benadering voor effectief waterkwaliteitsbeheer. Notitie Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. 20 pp.  
<https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PROJECTEN/Projecten%20Kennisimpuls%20Waterkwaliteit/Projectresultaten/Ecologie/20211214%20KIWK-ptoject%20Ecologie%20Regionale%20benadering%20voor%20effectief%20waterkwaliteitsbeheer.pdf>

## 12. COLOFON

Auteur: Piet FM. Verdonschot, Jip de Vries, Ralf Verdonschot, Wageningen Environmental Research

Leescie: Tom Buijse (Deltares), Peter van Puijenbroek (PBL)

Datum: november 2021

*Deze notitie/memo is geschreven in het kader van het project Systeemkennis ecologie en waterkwaliteit van de Kennisimpuls Waterkwaliteit. In de Kennisimpuls werken Rijk, provincies, waterschappen, drinkwaterbedrijven en kennisinstituten aan meer inzicht in de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater en de factoren die deze kwaliteit beïnvloeden. Daarmee kunnen waterbeheerders en andere partijen de juiste maatregelen nemen om de waterkwaliteit te verbeteren en de biodiversiteit te vergroten.*

*In het programma brengen partijen bestaande en nieuwe kennis bijeen, en maken ze deze kennis (beter) toepasbaar voor de praktijk. Hiermee verstevigen ze de basis onder het waterkwaliteitsbeleid. Het programma is gestart in 2018 en duurt vier jaar. Het wordt gefinancierd door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, STOWA, waterschappen, provincies en drinkwaterbedrijven.*

## 13. DISCLAIMER

Dit is een standaardtekst. Door STOWA in te vullen