

De belofte van circulair water 2: waterkwaliteit krijgt te weinig aandacht in milieu-analyse

Tessa van den Brand, Roberta Hofman-Caris, Renske Hoondert, Marette Zwamborn (KWR Water Research Institute)

In het verleden werden keuzes voor het toepassen van (waterzuiverings)processen vaak gebaseerd op kosten. Gelukkig wordt tegenwoordig steeds meer rekening gehouden met de milieu-impact van verschillende processen [1], [2]. Onbedoeld kan dit echter een averechts effect hebben, doordat een verbeterde waterzuivering per definitie meer energie en chemicaliën verbruikt. Bij te veel sturen op de klimaatimpact van de zuivering zelf, wordt een suboptimale waterkwaliteit voor lief genomen. In dit artikel wordt een nieuwe rekenmethode beschreven, waarmee de gerealiseerde waterkwaliteit wordt meegewogen in het bepalen van de totale milieu-impact van een waterzuivering.

De bezorgdheid over klimaatverandering, biodiversiteitsverlies en vervuiling neemt toe. Strengere regelgeving, zoals de green deal, het klimaatakkoord, de Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD), de herziene Richtlijn Stedelijk Afvalwater en internationale afspraken stimuleren deze ontwikkeling. Dit heeft ook invloed op de watersector, waar milieuanalyses een steeds grotere rol spelen bij het ontwikkelen en selecteren van (nieuwe) zuiveringstechnieken.

Milieu-impactanalyses geven inzicht, bijvoorbeeld bij de selectie van leveranciers. Zo is met milieu-impactanalyses aangetoond dat de bijdrage van het transport van actieve kool verwaarloosbaar is ten opzichte van die van de productie en reactivatie. Daarom is het dus niet verstandig de keuze voor een leverancier vooral te baseren op transportmiddelen en afstand. Lange tijd werd in dit soort milieu-impactanalyses alleen de (indirecte) CO₂-uitstoot bepaald (berekening in CO₂-equivalenten). Dit kon ertoe leiden dat een goedbedoelde keuze gebaseerd op broeikasgassen schadelijker was voor bijvoorbeeld de biodiversiteit. Pas recent krijgen andere belangrijke milieufactoren, zoals biodiversiteit, vervuiling en grondstoffengebruik, meer aandacht (deze worden berekend in bijvoorbeeld ecopunten of milieukostenindicator). Door deze bredere aanpak ontstaat een completer beeld van de milieu-impact, maar nog steeds is dit niet het volledige plaatje.

In de afvalwatersector worden milieu-impactanalyses van extra zuiveringstechnieken vooral beoordeeld op energie- en chemicaliënverbruik. Het resultaat van de inspanningen - een verbeterde waterkwaliteit - wordt daarbij buiten beschouwing gelaten. Dit leidt tot een vertekend beeld, want het doel van extra zuivering is juist milieuwinst te bereiken door een betere waterkwaliteit. Als deze winst niet wordt meegenomen, kunnen technieken met een hoger energie- en chemicaliënverbruik onterecht worden afgewezen, terwijl ze in werkelijkheid mogelijk voor een veel schoner effluent zorgen (= lagere milieu-impact van het effluent). Door bij milieuanalyse van een zuivering alleen te focussen op energie- en chemicaliënverbruik, en de verbeterde waterkwaliteit niet mee te nemen, kan een verkeerde conclusie worden getrokken, bijvoorbeeld dat niet zuiveren het beste is voor het milieu.

Waarom wordt waterkwaliteit nog niet meegenomen?

In een standaard levenscyclusanalyse kunnen diverse soorten water worden meegenomen met een algemene karakterisering van de impact per type (bijvoorbeeld regenwater, drinkwaterwater, enz.). De kwaliteit van het water zelf, en bijvoorbeeld de aanwezigheid van bepaalde verontreinigingen, kan meestal niet worden aangegeven. Juist bij waterzuiveringsprocessen is dit een essentiële parameter: de zuivering wordt immers uitgevoerd om een betere waterkwaliteit te verkrijgen. Eerder onderzoek toonde al aan dat de nutriëntenconcentratie in het effluent een onverwacht belangrijk aspect in de integrale milieu-impact van Waternet is [3]. Om waterkwaliteit goed mee te kunnen nemen in milieubeoordelingen, zijn verschillende gegevens nodig. Allereerst zijn meetgegevens van het water essentieel: welke stoffen zitten erin en in welke concentraties? Daarnaast zijn karakterisatiewaarden van deze stoffen nodig, die de milieu-impact per kilogram stof aangeven, per indicator. Dit vereist kennis over de toxiciteit voor mens en ecosysteem en de bijdrage aan bijvoorbeeld eutrofiëring. Helaas is deze informatie slechts voor een beperkt aantal stoffen beschikbaar.

Tot nu toe werd dit probleem opgelost door aan te nemen dat zuiveringstechnieken vergeleken konden worden zolang bijvoorbeeld RWZI-effluent aan de wettelijke normen voldeed. Maar als een proces verder zuivert dan wettelijk vereist, wordt deze extra milieuwinst dus niet meegenomen in de analyse, terwijl het wel tot een verbetering van de waterkwaliteit kan leiden. Bovendien zijn lang niet alle schadelijke stoffen in het effluent al opgenomen in wet- en regelgeving. Hierdoor kan een vertekend beeld ontstaan bij de keuze van zuiveringstechnieken.

Waterkwaliteit integreren in LCA

De afgelopen jaren heeft KWR gewerkt aan een verbeterde rekenmethode om waterkwaliteit mee te kunnen nemen in milieu-impactstudies. Hiervoor hebben we de zuivering van RWZI-effluent als voorbeeld genomen. Een veelgebruikte methode voor milieu-impactstudies is de levenscyclusanalyse (LCA). Hierbij wordt gekeken naar de volledige milieubelasting van een product of proces: van grondstofwinning en productie tot transport, gebruik en afvalverwerking (Afbeelding 1). Voor deze analyse kunnen verschillende databases worden gebruikt, en in dit geval is de Ecoinvent 3.10-database gebruikt. Deze database bevat levenscyclusinformatie over tienduizenden processen en materialen.

Zodra alle emissies en het grondstoffenverbruik in kaart zijn gebracht, wordt de milieu-impact berekend. Dit kan met verschillende impactmethoden. In dit onderzoek is gekozen voor de Environmental Footprint 3.1-methode (EF3.1), omdat dit de officiële EU-standaard is volgens EN 15804:2012+A2. Deze EF 3.1 methode werkt met zestien impactcategorieën om de milieu-impact te meten (tabel 1), waarbij elke impactcategorie een specifieke eenheid heeft.

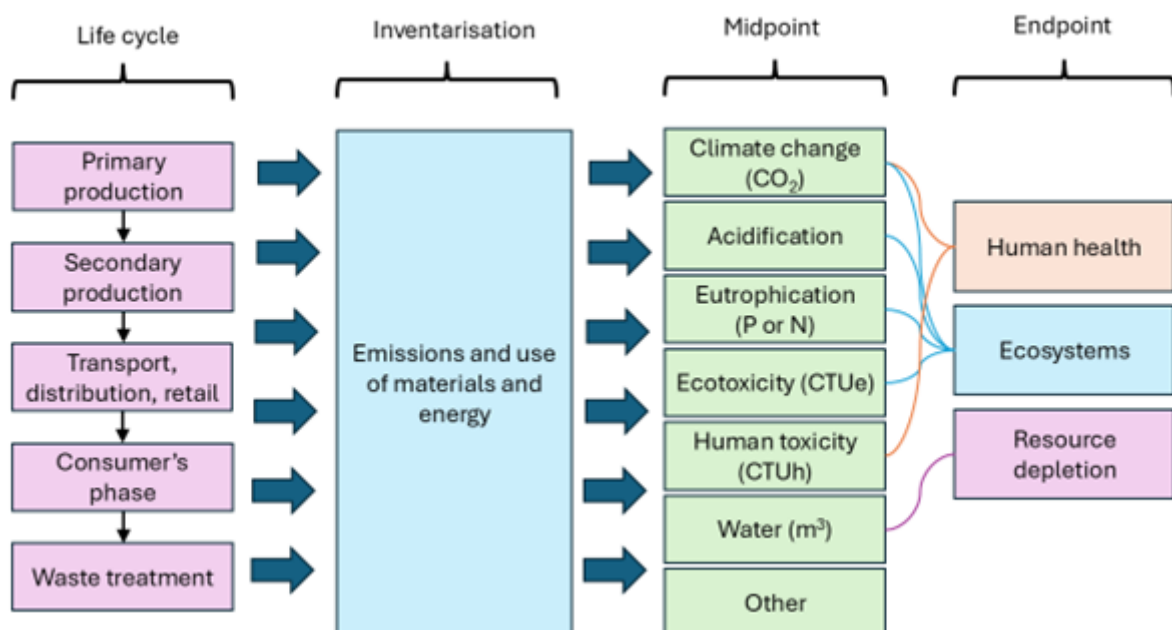
Normaal gesproken analyseren LCA-experts al deze categorieën afzonderlijk. Dit onderzoek richt zich echter vooral op de vraag of en hoe waterkwaliteit meegenomen kan worden in milieu-impactstudies en of dit een significante milieu-impact oplevert. Daarom is gekozen voor een single score-methode. In een single score worden alle categorieën genormaliseerd en gewogen tot één overzichtelijke score, wat de vergelijking eenvoudiger maakt.

Om te komen tot een single score, wordt eerst voor de 16 verschillende milieu-impactcategorieën (de mid-points) de impact vastgesteld. Vervolgens worden deze verschillende categorieën gegroepeerd in drie zogenaamde 'end-points': humane gezondheid,

ecotoxicologische effecten en uitputting van grondstoffen. Humane gezondheid wordt uitgedrukt in 'ziektelast' (disability adjusted life years, DALY's), ecotoxicologische effecten in het verdwijnen van een aantal soorten, en uitputting van grondstoffen in geld. Vervolgens worden deze drie end-points gewogen bij elkaar opgeteld, om tot een overall score te komen (de single score in ecopunten). Ecopunten zijn een manier om de verschillende effecten gewogen bij elkaar op te tellen, en op die manier tot één score voor de milieu-impact te komen. Voor veel beleidsmakers is het bijvoorbeeld handig om gebruik te kunnen maken van één score. In de standaard-LCA worden daarbij de effecten van de waterkwaliteit niet meegenomen, zoals hierboven uitgelegd. Die effecten van waterkwaliteit kunnen echter in principe ook worden uitgedrukt als ziektebelasting en als ecotoxicologische effecten. Door die waarde eraan te geven, kan de waterkwaliteit meegewogen worden in de bepaling van de totale milieu-impact.



Afbeelding 1. Schematisch overzicht van de factoren die worden meegenomen in een LCA



Afbeelding 2. De LCA-stappen en de impactcategorieën in de Environmental footprint 3.1 (EF 3.1)-methode, volgens EN 15804+A2

Waterkwaliteit vertalen naar milieu-impact

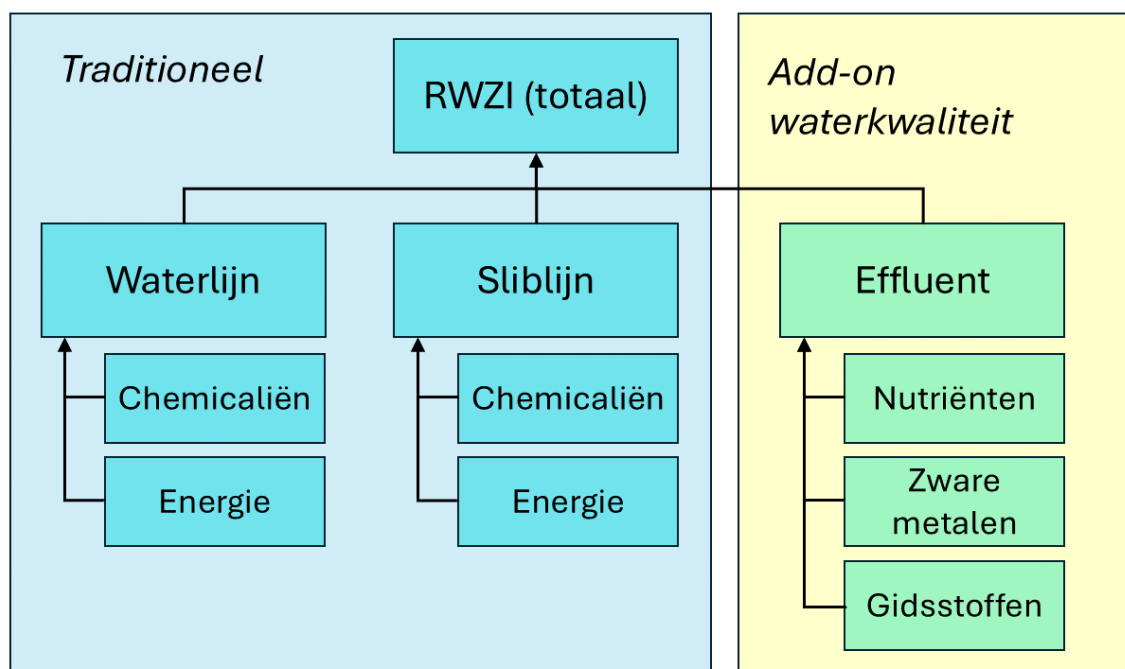
De (emissie)gegevens uit de database worden met behulp van impactmodellen, zoals de EF3.1-methode, omgezet in milieu-impact voor verschillende categorieën (afbeelding 2). De milieu-impact van het effluent wordt vooral verwacht in de categorieën humane toxiciteit, ecotoxiciteit en vermisting. De humane en ecotoxiciteitskarakterisatiewaarden kunnen worden ingeschat met het USETOX-model [4]. USETOX maakt met behulp van blootstellings- en effectmodellen een inschatting van onder meer de toxiciteit. Voor veel nutriënten zijn sinds kort vermistingskarakterisatiewaarden beschikbaar, onder andere in de EF 3.1-methode.

Uitbreiding scope

Het meenemen van waterkwaliteit in de LCA biedt de mogelijkheid om milieu-analyses uit te voeren met een bredere scope. Afbeelding 3 toont hoe de add-on waterkwaliteit (geel) zich verhoudt tot de traditionele scope (blauw), die doorgaans wordt gebruikt bij LCA-onderzoek naar zuiveringstechnieken. Opgemerkt wordt, dat in afbeelding 3 de aanleg van infrastructuur buiten beschouwing blijft.

Bij LCA is het gebruikelijk om een functionele eenheid vast te stellen. Dit is de maatstaf waarop een eerlijke vergelijking tussen processen of scenario's kan worden gemaakt. Voor een afvalwaterzuivering is dit meestal 1 m³ behandeld afvalwater, waarbij de effluentkwaliteit voldoet aan de wettelijke normen (traditioneel). In dit onderzoek wordt voorgesteld om de functionele eenheid aan te passen naar 1 m³ behandeld afvalwater inclusief de waterkwaliteitsparameters, zoals beschreven in Afbeelding 3. Hernieuwde scope, nu waterkwaliteit ook in de milieu-analyse is opgenomen.

Tabel . Dit onderzoek vergelijkt de impact van verschillende zuiveringstechnieken op basis van deze aangepaste eenheid. Deze rekenmethodiek is ook toegepast in het eerste artikel van dit tweeluik [3].



Afbeelding 3. Hernieuwde scope, nu waterkwaliteit ook in de milieu-analyse is opgenomen.

Tabel 1. Waterkwaliteitsparameters van het effluent die worden meegenomen in waterkwaliteitsfootprinting. Als voorbeeld effluent van AWZI Amsterdam-West

	Component	Concentratie in kg/m ³
Nutriënten	COD	0,54
	N	0,05
	P	0,007
	Arseen	3,54 *10 ⁻⁶
	Cadmium	3,74 *10 ⁻⁷
Zware metalen	Chroom	8,8 *10 ⁻⁶
	Koper	7,88 *10 ⁻⁵
	Kwik	1,5 *10 ⁻⁷
	Lood	1,87 *10 ⁻⁵
	nikkel	1,01 * 10 ⁻⁵
	Zink	2,19 *10 ⁻⁴

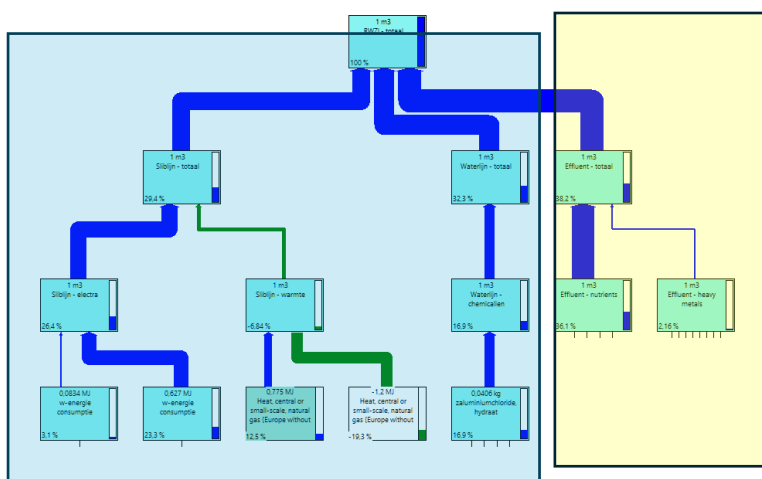
Significant milieu-effect?

Om te beoordelen of het milieu-effect van effluent significant is en verder onderzoek verdient, is een indicatieve studie uitgevoerd. Hiervoor zijn jaargegevens uit 2012 van AWZI Amsterdam-West gebruikt, waaronder gegevens over flow, slibvolume, chemicaliën- en energieverbruik [3]. Helaas waren de effluentgegevens niet beschikbaar. Om toch een inschatting te maken, zijn jaargemiddelden van effluentconcentraties van andere RWZI's gebruikt.

Afbeelding 4 toont opnieuw de milieu-impact op twee manieren: in blauw de traditionele berekening (zonder effluent) en in geel de aanvullende impact van waterkwaliteit. Hieruit blijkt dat het effluent, ondanks de beperkte selectie aan waterkwaliteitsparameters, verantwoordelijk is voor meer dan 35% van de totale milieu-impact in de EF 3.1-methode. Dit is vooral te wijten aan de eutrofiërende werking van nutriënten, die een grote belasting vormen voor ecosystemen.

Daarnaast dragen de geselecteerde zware metalen in het effluent voor ruim 2% bij aan de milieu-impact, met name op de categorieën humane en ecotoxiciteit. Van deze metalen had zink de grootste impact. Op dit moment kunnen echter nog niet de effecten van alle zware metalen in het effluent worden meegewogen, omdat hier onvoldoende data van beschikbaar zijn. De werkelijke impact zal dus zeer waarschijnlijk significant hoger zijn dan 2%.

Deze resultaten tonen aan dat RWZI-effluent een aanzienlijke invloed kan hebben op het milieu, wat het belang onderstreept van een bredere benadering in LCA's. Dit beeld wordt versterkt wanneer meer informatie wordt verzameld over de impact van bijvoorbeeld organische microverontreinigingen op eco- en humane toxiciteit. Door waterkwaliteit structureel mee te nemen in milieu-impactanalyses, ontstaat een realistischer beeld van de werkelijke milieueffecten van zuiveringstechnieken.



Afbeelding 4. Milieu-impact in single-score (ecopoint) van een voorbeeldafvalwaterzuivering

Medicijnresten

Naast nutriënten en zware metalen bevat het effluent ook andere stoffen, zoals medicijnen, pesticiden en (andere) zeer zorgwekkende stoffen. Ondanks hun lage concentratie in het effluent kunnen deze stoffen een aanzienlijke humane en ecotoxicologische impact hebben. Er worden bijvoorbeeld trimethoprim en sulfamethoxazol in het effluent aangetroffen (respectievelijk 0,112 µg/L en 0,178 µg/L). Hoewel de milieu-impact van zowel sulfamethoxazole als trimethoprim klein lijkt (0,003%), is bekend dat tal van stoffen via het effluent in het milieu terechtkomen. De cumulatieve impact hiervan kan dan ook significant zijn.

Bovendien zijn veel toxiciteitsgegevens niet beschikbaar en zijn langetermijneffecten van medicijnemissies onvoldoende onderzocht. Ook zijeffecten, zoals de verspreiding van antibioticaresistentiegenen, worden in de huidige methodiek nog niet belicht. Daarnaast wordt de weging van alle factoren gebaseerd op beleidsstukken. Daarin staat bijvoorbeeld nog onvoldoende informatie over medicijnresten.

De eerste resultaten tonen aan dat effluent (en de verbetering van de waterkwaliteit ervan) een significant effect heeft op mens en milieu. In de toekomst kan dit aandeel mogelijk nog groter blijken, naarmate er meer karakterisatie- en toxiciteitsgegevens beschikbaar komen en nieuwe blootstellingsroutes worden geïdentificeerd. Dit onderstreept het belang van verder onderzoek naar deze routes om de milieu-impact van effluent beter in kaart te brengen.

Uitgebreide LCA in de praktijk

Door de afvalwaterzuivering uit te breiden neemt de milieu-impact in het blauwe deel van afbeelding 3 toe, maar dit wordt gecompenseerd door een kleinere milieu-impact in het gele deel. De nieuwe methode maakt het mogelijk om de milieu-impact van energie- en chemicaliënverbruik af te wegen tegen de milieu-impact van waterkwaliteitsverbetering, en daarmee aan te tonen dat een uitgebreidere zuivering netto tot een kleinere milieu-impact kan leiden. Dit is toegepast in het eerste deel van dit tweeluik over een afvalwaterzuivering bij waterschap Aa en Maas [3]. In dat voorbeeld zijn drie verschillende zuiveringsprocessen uitgewerkt: zandfiltratie (zonder extra verwijdering van medicijnresten), zandfiltratie gevolgd

door biologische actiefkoolfiltratie met ozonatie, en zandfiltratie met omgekeerde osmose erachter. Verdere zuivering vergroot per definitie de milieu-impact van het zuiveringsproces zelf, maar hoe verhoudt zich dat tot de verbeterde waterkwaliteit? Het gezuiverde effluent werd in dit scenario geloosd op het lokale oppervlaktewater, terwijl het behandelde concentraat werd geloosd op een grote rivier. Doordat het behandelde concentraat in de rivier meer wordt verdund, is de impact daarvan lager dan wanneer dit concentraat in de beek zou worden geloosd, en het schone effluent heeft een kleinere impact op het milieu in de beek dan het oorspronkelijke effluent. De LCA-methodiek maakt het op deze manier mogelijk om rekening te houden met de gevoeligheid van het ontvangende water, waarbij een hogere milieulast kan worden toegekend aan de kleine beek dan aan de grote rivier. Op deze manier kan de totale impact van een zuivering beter in kaart worden gebracht.

Toekomstverwachting

De weging in de EF 3,1-methode is grotendeels gebaseerd op beleidsstukken. Die gingen op hun beurt vooral uit van CO₂-waardes. Inmiddels is duidelijk geworden dat het niet voldoende is om alleen op CO₂ te sturen, maar dat ook andere milieucategorieën, zoals biodiversiteit, humane toxiciteit en grondstoffenverbruik, moeten worden meegenomen. Het duurt echter enige tijd voordat een dergelijke trend zicht vertaalt in beleidsstukken, en daarmee in vastgestelde kaders en normen. In de toekomst zal de weging van verschillende factoren dan ook veranderen.

Deze nieuwe rekenmethode neemt uitdrukkelijk de effecten van een behandeling voor de waterkwaliteit mee. De potentie van deze tool is dan ook groot. Er zijn echter nog verschillende uitbreidingsmogelijkheden die de functionaliteit verder kunnen versterken.

Een eerste verbetering is het uitbreiden van het aantal waterkwaliteitsparameters dat de tool kan meenemen. Momenteel zijn er al tal van stoffen geïdentificeerd, maar er zijn nog veel meer relevante parameters toe te voegen. In de Watson-database staan bijvoorbeeld ongeveer 1300 microverontreinigingen die in effluent voorkomen. Naast deze bekende stoffen zijn er mogelijk nog vele onbekende stoffen met een significante milieu-impact. PFAS is bijvoorbeeld nog niet opgenomen in deze database, terwijl deze stoffen een steeds grotere zorg vormen voor het milieu.

Een tweede verbeterpunt is het verder verfijnen en uitbreiden van de data over milieu-impact. Op dit moment worden sommige stoffen als relatief weinig schadelijk ingeschat, terwijl niet alle blootstellingsroutes bekend zijn en de langetermijneffecten nog onvoldoende zijn onderzocht.

Tot slot is er uitbreiding mogelijk op het gebied van microbiologische effecten. Hierbij kan worden gekeken naar blootstellingsroutes via effluent van virussen en bacteriën en de impact van antibioticaresistente genen als neveneffect van bepaalde medicijnemissies. Dit laatste draagt bij aan de toename van antibioticaresistentie in het milieu en vormt een steeds groter probleem.

Door deze uitbreidingen kan de tool een nog krachtiger instrument worden bij het beoordelen van processen om de waterkwaliteit te verbeteren en milieueffecten te verminderen.

In de toekomst zijn mogelijk nog andere toepassingen van deze rekenmethode denkbaar. Zo zou droogte in een natuurgebied kunnen worden gekwantificeerd in termen van natuurimpact. Dit maakt het mogelijk te evalueren of het injecteren van effluent in het gebied zinvol is. De

afweging hierbij is of de geringe vervuiling in het effluent opweegt tegen de voordelen van het tegengaan van droogte.

Conclusie

Er is een rekenmethode ontwikkeld om de milieu-impact van de verbeterde waterkwaliteit mee te wegen in de levenscyclusanalyse van waterzuiveringsprocessen. De impact van het effluent van een RWZI op het ontvangende oppervlaktewater levert een significante bijdrage aan de milieu-impact van het totale zuiveringsproces. Deze conclusie bleek al uit een indicatieve verkenning door KWR, terwijl hierbij sommige milieucategorieën nog onderbelicht bleven, en niet alle effluentparameters volledig konden worden meegenomen in de analyse. Tot nu toe lag de focus vooral op het minimaliseren van energie- en chemicaliëngebruik, maar dit kan tot de foutieve conclusie leiden dat niet zuiveren de beste oplossing is. Nu er beter inzicht is in de milieu-impact van het effluent, kan de inzet van geavanceerde zuiveringstechnologieën, zelfs als die meer energie en chemicaliën vereisen, gerechtvaardigd zijn, mits dit leidt tot een aanzienlijk betere effluentkwaliteit. De ontwikkelde rekenmethode ondersteunt bij die discussie en helpt om waterkwaliteit steeds beter mee te wegen in de analyse. Aanbevolen wordt om de rekenmethode standaard te gaan toepassen bij milieu-analyses van zuiveringen, en daarnaast de rekenmethode verder uit te breiden met aanvullende effluentparameters om een nog completer beeld te krijgen van de milieueffecten.

Referenties

1. Snip, L., Brand, T. van den (2016). 'Beoordeling totale milieueffecten van dynamische procesvoering in de waterketen'. *H2O-Online*, 4 augustus 2016. [Snip-van-den-Brand-Beoordeling-totale-milieueffecten-van-dynamische-procesvoering-in-de-waterketen-H2O-Online-\(2016\)4-augustus.pdf](#)
2. Klaversma, E., Jonkers, N., Hes, T. (2022). 'De integrale milieu-impact van Waternet'. *H2O-Online*, 7 november 2022. <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/de-integrale-milieu-impact-van-waternet>
3. Kiestra, F., Elsen, H. van den, Brand, T. van den (2025). 'De belofte van circulair water 1: verkennende studie naar grootschalig effluentgebruik'. *H2O-Online*, 8 augustus 2025. <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/de-belofte-van-circulair-water-verkennende-studie-naar-grootschalig-effluenthergebruik>
4. Waternet (2012). *Technisch jaarverslag afvalwater*
5. Rosenbaum, R.K. et al. (2008). 'USEtox—the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment'. *Int J Life Cycle Assess* **13**, 532–546 (2008). <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0038-4>