

Sleutelfactor Toxiciteit



Waterkwaliteitsindex zuiveringsopgave-inspanning (WKI ZOI)

Kleuren voor de waterkwaliteit voor drinkwaterproductie

Auteurs:

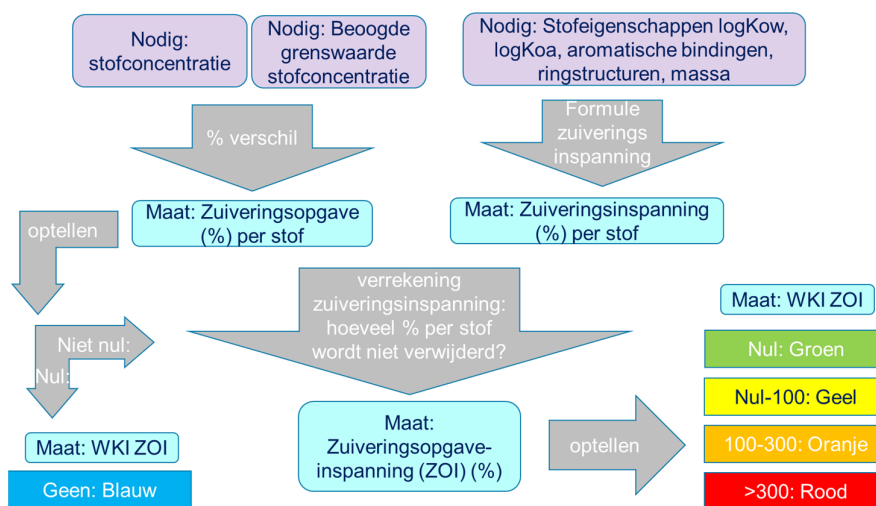
Tessa Pronk, Roberta Hofman (KWR Water Research Institute)

Data levering:

RIWA-Rijn (meetgegevens microverontreiniging Rijn)

Versie: september 2021

Visuele samenvatting, vijf kleuren waterkwaliteit voor zuiveringsopgave-inspanning:



1. Berekening van de zuiveringsinspanning

In deze notitie beschrijven we de indeling van water in vijf klassen van waterkwaliteit in termen van benodigde zuiveringsopgave-inspanning voor drinkwater. Dit wordt gedaan met de vijf kleuren die al gebruikt worden in de Sleutelfactor Toxiciteit. We maken hierbij gebruik van berekeningen van de zuiveringsefficiënties voor microverontreinigingen op basis van stoffeigenschappen per zuiveringstechniek zoals gebruikt in drinkwaterzuivering, van conventioneel tot geavanceerd. Hoe minder de berekende ‘inspanning’ is waarmee de microverontreiniging kan worden verwijderd uit het water, hoe beter de waterkwaliteit. Hiermee, en met de zuiveringsopgave (hoeveel moet er van een stof verwijderd worden om op een beoogde grenswaarde uit te komen, zie [Pronk et al., 2021](#)), kan de waterkwaliteit worden vastgesteld in termen van benodigde zuiveringsopgave-inspanning voor het maken van drinkwater.

1.1 Achtergrond

Voor een goede kwaliteit drinkwater is een bepaald niveau van zuiveringsinspanning nodig. De belangrijkste doelstelling van de KRW is de bescherming en verbetering van de waterkwaliteit, dat is inclusief water bestemd voor de productie van drinkwater. KRW-artikel 7.3 zegt: “De lidstaten dragen zorg voor de nodige bescherming van de aangewezen waterlichamen met de bedoeling de achteruitgang van de kwaliteit daarvan te voorkomen, teneinde het niveau van zuivering dat voor de productie van drinkwater is vereist, te verlagen.” RIWA-Rijn heeft om dit te kunnen kwantificeren een waterkwaliteitsindex laten ontwikkelen ([RIWA-Rijn jaarrapport, 2018](#); [Pronk et al., 2019](#)). Hierover is ook gepubliceerd in een internationaal tijdschrift ([Pronk et al., 2021](#)). In feite gaat het om een raamwerk van indices: een voor de zuiveringsopgave (alles wat boven een beoogde grenswaarde aanwezig is) en een voor de zuiveringsinspanning (hoe makkelijk dit gezuiverd kan worden, op basis van stoffeigenschappen). Gecombineerd geven deze het benodigde niveau van zuivering. Eerder was de zuiveringsinspanning gebaseerd op een fictieve ‘simpele’ zuivering op basis van biodegradeerbaarheid en adsorptie (Pronk et al., 2021). In deze notitie beschrijven we de integratie van losse vuistregels voor de berekening van zuiveringsefficiënties van stoffen naar een nieuwe maat voor zuiveringsinspanning. Daarnaast beschrijven we hoe de waterkwaliteit beschreven kan worden in 5 kleuren.

1.2 Zuiveringstechnieken

We beschouwen verschillende zuiveringstechnieken. Tabel 1 geeft een overzicht van zuiveringstechnieken die gebruikt worden in drinkwaterzuiveringsinstallaties. Elk van de technieken staat voor een bepaalde ‘inspanning’. We definiëren ‘inspanning’ niet heel precies. De technieken in Tabel 1 worden ingedeeld van conventioneel naar geavanceerd vanwege benodigde (verwachte) investeringen in de implementatie of onderhoud.



Tabel 1. Overzicht van technieken voor zuivering, van boven naar onder met toenemende inspanning.

Klasse inspanning	Techniek	Bijzonderheid
Conventioneel	Coagulatie Flocculatie (sedimentatie) met snelfiltratie	Bij oppervlaktewater kunnen hier diverse vlokmiddelen worden toegevoegd. Bij grondwater is dit niet nodig.
Extra (een van deze technieken)	Oxidatie (Ozon)	Dit volgt op conventioneel. Na oxidatie wordt actieve kool toegepast.
	MembraanFiltratie (ultra- of nano-)	Dit volgt op conventioneel.
	Actieve Kool (poeder of granulair)	Dit volgt op conventioneel. Stoffen kunnen hier na verloop van tijd verdrongen worden door andere, beter adsorberende stoffen. Granulaire kool kan geactiveerd worden. De standtijd en contacttijd is bij granulaire kool belangrijk voor de zuiveringsefficiëntie. De kwantiteit is belangrijk bij poederkool.
Geavanceerd (een van deze technieken)	Omgekeerde osmose (RO)	Dit volgt op conventioneel. In plaats van 'Extra'.
	Geavanceerde oxidatie (AOP) (H ₂ O ₂ en Ozon of UV)	Dit volgt op conventioneel. In plaats van 'Extra'. Na oxidatie wordt actieve kool of een ander filtratieproces toegepast.

1.3 Vuistregels voor zuiveringsefficiëntie van stoffen

In de notitie 'Vuistregels voor zuiveringsefficiëntie van stoffen op basis van stoffeigenschappen' zijn een aantal vuistregels afgeleid voor de zuiveringsefficiëntie van stoffen op basis van stoffeigenschappen voor de technieken in Tabel 1. Dit zijn vergelijking 1-5

$$V_{conv} = \frac{98}{1+e^{-1.2 \cdot (\log P - 2.4)}} \quad \text{Vergelijking 1}$$

$$V_{ak} = \frac{73.4}{1+e^{-1.99 \cdot (\log K_{oa} - 3.8)}} \quad \text{Vergelijking 2}$$

$$V_{ox} = \frac{83.5}{1+e^{-0.39 \cdot (\text{abonds} - 2.71)}} \quad \text{Vergelijking 3}$$

$$V_{advox} = \frac{82.6}{1+e^{-4.4 \cdot (\text{FeatureRingCount3D} - 0.26)}} \quad \text{Vergelijking 4}$$



$$V_{ro} = \frac{100}{1 + e^{-2.95 \cdot (\log(Mass) - 4.63)}}$$

Vergelijking 5

De eigenschappen ‘logP’ (octanol water partitioning coefficient), ‘logKoa’ (octanol air partitioning coefficient), ‘abonds’ (aromatische verbindingen), ‘FeatureRingCount3D’ (ringstructuren) en ‘Mass’ (massa) moeten voor elke stof die gemeten is en de streefwaarde overschrijdt worden opgezocht of berekend. Er zijn diverse publieke ‘Quantitative structure–activity relationship’ (QSAR) gebaseerde applicaties beschikbaar waarmee deze eigenschappen voor een grote groep stoffen berekend kan worden. Massa, en berekende logKoa, logP uit Opera modellen (Mansouri et al., 2018) kunnen bijvoorbeeld via het Chemistry Dashboard worden gedownload (via ‘Batch search’). LogP kan ook berekend worden via de EpiSuite modellen (US EPA, 2012). Eigenschappen FeatureRingCount3D (uit PubChem) en abonds uit OpenBabel (O’Boyle et al., 2011) kunnen worden gedownload via een script in de open source statistische software R met het ChemmineR pakket (Cao et al., 2008).

In de bestaande literatuur worden wel veelvuldig bepaalde eigenschappen gekoppeld aan een mate van zuivering maar dit is altijd kwalitatief. De data-gedreven vuistregels zijn dus nieuw. De data-gedreven aanpak stelt de relatie vast tussen eigenschappen en zuivering in de praktijk, in plaats van uit de theorie. De vuistregels die de verwijdering voor elke zuiveringstechniek berekenen zijn grove indicatoren aan de hand van stoffeigenschappen, voor een gemiddelde zuivering van een bepaalde zuiveringstechniek. De vuistregels geven een indicatie van de waterkwaliteit en geven niet de kwaliteit aan van *specifieke* zuiveringsinstallaties.

1.4 De berekening van de zuiveringsinspanning

Op basis van deze vuistregels kan per stof een zuivering per ‘inspanning’ gedefinieerd worden, door het gemiddelde te nemen van de zuiveringsefficiënties van de technieken per inspanningsniveau (Tabel 1). Dit is weergegeven in Vergelijking 6-8. Het is namelijk zo dat verschillende drinkwaterzuiveringsinstallaties verschillende technieken toepassen. Door middeling krijg je een gemiddelde efficiëntie van de zuivering van de stof in technieken die bij een bepaalde inspanning (Tabel 1) horen.

$$Z_{conv} = V_{conv} \quad \text{Vergelijking 6}$$

$$Z_{extra} = (V_{ak} + V_{ox})/2 \quad \text{Vergelijking 7}$$

$$Z_{geav} = (V_{adv} + V_{ro})/2 \quad \text{Vergelijking 8}$$

De zuiveringsinspanning per stof definiëren we vervolgens als een gewogen gemiddelde van de zuiveringsefficiëntie die in de zuiveringsinspanningsniveaus wordt berekend. Om van



efficiëntie naar inspanning te komen, berekenen we wat *niet* wordt verwijderd en hiervoor trekken we de gemiddelde efficiëntie af van 100 (Vergelijking 9).

$$ZI = 100 - \sum_1^n (Z_{conv} * 3 + Z_{extra} * 2 + Z_{geav} * 1) / 6 \quad \text{Vergelijking 9}$$

Hier is *ZI* de zuiveringsinspanning over alle *n* stoffen die de DWB waarde overschrijden, *Z_{conv}* is de berekende zuiveringsefficiëntie bij conventionele zuivering, *Z_{extra}* is het gemiddelde van de berekende zuiveringsefficiëntie bij actieve kool en oxidatie, *Z_{geav}* is het gemiddelde van de berekening van zuiveringsefficiëntie bij geavanceerde oxidatie en omgekeerde osmose (zie Tabel 1). De berekeningen worden gedaan op basis van Vergelijking 1-5. De zuiveringstechniek (zie Tabel 1) die voor de minste inspanning staat, ‘conventioneel’, krijgt het meeste gewicht. Als water stoffen bevat die gemakkelijk door deze techniek verwijderd kunnen worden, dan is dat met relatief lage inspanning en dat wordt hiermee beloond. De technieken onder ‘extra’ krijgen een iets lager gewicht en de technieken bij ‘geavanceerd’ krijgen het laagste gewicht. Door technieken waar meer inspanning bij komt kijken minder gewicht te geven, zal water dat verontreiniging bevat die door techniek(en) die met lage inspanning gezuiverd kunnen worden eerder een goede waterkwaliteit aangeven.

1.5 De waterkwaliteit in vijf kleuren

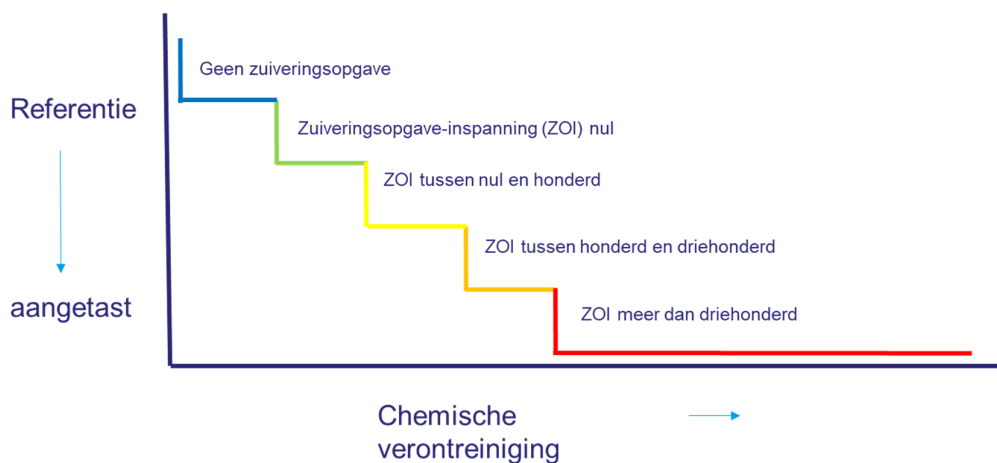
De zuiveringsopgave-inspanning hoeft in het raamwerk (Pronk et al., 2021) alleen berekend te worden voor stoffen die hun beoogde grenswaarde overschrijden. Voor deze stoffen is er een zuiveringsopgave. De totale opgave voor een water is de opgetelde opgave per stof.

In Figuur 1 is weergegeven hoe de kleuren aan waterkwaliteit zullen worden toegekend. Waterkwaliteit is ‘Blauw’ als er géén stoffen boven hun streefwaarde of signaleringswaarde in het Drinkwaterbesluit (DWB) in het water zitten. In Figuur 2 is te zien dat hiervoor Vergelijking 9 niet hoeft te worden gebruikt, er is geen opgave die verwijderd moet worden. Waterkwaliteit is ‘Groen’ als de zuiveringsopgave na het verrekenen van de zuiveringsinspanning (Vergelijking 9) naar nul gaat. Deze maat noemen we de waterkwaliteitsindex zuiveringsopgave-inspanning (WKI ZOI). ‘Geel’ is water waarin de resterende zuiveringsopgave na verrekenen van zuiveringsinspanning (WKI ZOI) hoger is dan nul na het verrekenen, maar lager dan 100. ‘Oranje’ is waterkwaliteit met WKI ZOI tussen honderd en driehonderd. Is de waterkwaliteit ‘Rood’ dan is de WKI ZOI meer dan driehonderd.

Deze grenzen tussen ‘Geel’, ‘Oranje’, ‘Rood’ zijn arbitrair en bepaald aan de hand van de spreiding van ZOI over de bekeken locaties (zie Figuur 3). De grenzen zijn zodanig gezet dat er niet te veel ‘Rood’ voorkomt, zodat een eventuele verslechtering in de toekomst nog kan worden opgemerkt. Hoe hoger de WKI ZOI, hoe meer stoffen er na verrekening met de gemiddelde gewogen zuivering nog overschrijdend zijn aan de waarde in het DWB. Bij driehonderd kunnen er bijvoorbeeld dertig stoffen overschrijden elk met 10 procent, of zes stoffen elk met 50 procent.



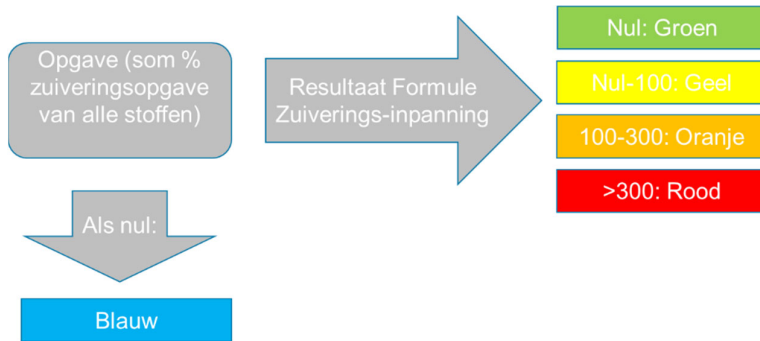
Het is belangrijk om te noemen dat een gele, oranje of rode kleur voor de waterkwaliteit niet betekent dat het geproduceerde drinkwater nog stoffen zal bevatten. Deze kleur heeft betrekking op het water waaruit drinkwater geproduceerd wordt, en hoeveel inspanning het zal kosten om er veilig drinkwater van te maken. Specifieke zuiveringsinstallaties zullen in werkelijkheid geoptimaliseerd zijn voor de soort vervuiling die er lokaal is, voor het type stoffen en de lokale watersamenstelling, op een zodanige manier dat een goede kwaliteit drinkwater wordt verkregen en de veiligheid is gewaarborgd. De zuivering vindt daarnaast in praktijk ook plaats met sequentiële zuiveringstappen, waarin elke keer een deel van de overschrijding wordt verwijderd. Een indirecte voorbehandeling van het water, zoals verblijf in bekkens, is ook niet meegenomen in het berekenen van de ZOI. Daarnaast is voor de zuiveringsopgave overal de maximum gemeten waarde in een jaar genomen. Deze concentraties zijn mogelijk veroorzaakt door eenmalige incidenten, en hoeven niet altijd representatief te zijn voor de gemiddelde waterkwaliteit.



Figuur 1. Vijf niveaus van waterkwaliteit aan de hand van de waterkwaliteitsindex zuiveringsopgave-inspanning (WKI ZOI).

Omdat in de Sleutelfactor (STOWA) methodologieën ‘chemiespoor’ en ‘bioassayspoor’ kwaliteit wordt uitgedrukt in vijf kleuren, past een WKI ZOI in vijf kleuren daar goed bij. Waterkwaliteit interpreteren aan de hand van kleuren is ook intuïtief. De kleuren voor waterkwaliteit zullen worden toegekend op basis van de verwijdering van aanwezige microverontreinigingen tot een streefwaarde door zuivering in oplopende mate van inspanning (Zie Tabel 1). Water met verontreiniging die gemakkelijk is te verwijderen met een conventionele zuivering zal eerder in een goede waterkwaliteitsklasse (‘Groen’) vallen, omdat de verwijdering met deze techniek meer gewicht heeft gekregen in Vergelijking 9.



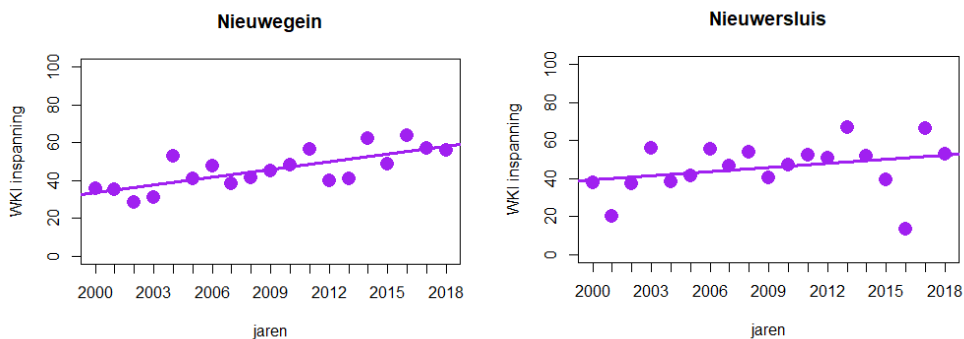


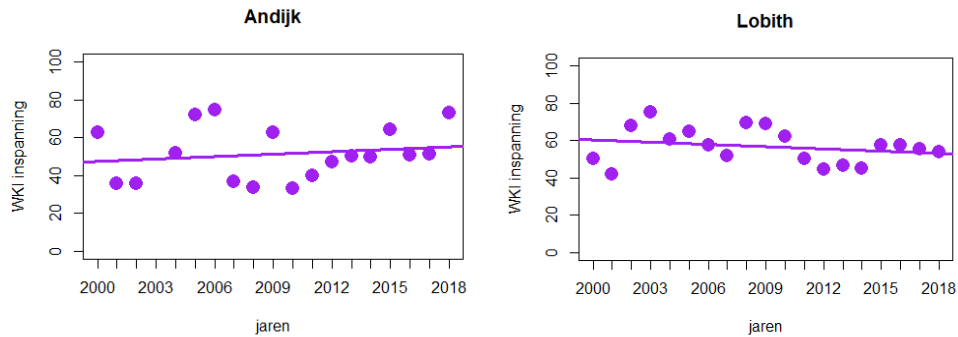
Figuur 2. De rekenvolgorde voor de zuiveringsopgave-inspanning waterkwaliteitskleuren. De opgave is de som van percentages die individuele stoffen verwijderd zijn van hun streefwaarde of signaleringswaarde, bijvoorbeeld zoals vastgelegd in het Drinkwaterbesluit.

2. Voorbeeld van het bepalen van de 5 kleuren voor waterkwaliteit

De zuiveringsopgave (ZO) staat voor hoeveel procent verwijdering van elke stof nodig is om op de signaleringswaarde of norm uit het DWB te komen. Voor de ZO gebruiken we RIWA-Rijn data met gemeten concentraties op vier locaties van 2000 tot 2018. Voor elke organische microverontreiniging bepalen we het percentage dat verwijderd moet worden.

De zuiveringsinspanning (ZI) berekenen we met Vergelijking 9, nadat we de benodigde stoffeigenschappen verzameld hebben. In Bijlage I staan deze stoffeigenschappen. In Figuur 3 staat de gemiddelde ZI van de stoffen op de locaties, per jaar. Hier staat een stijging voor een moeilijkere zuivering, dat betekent dat er in de loop van de jaren minder wordt verwijderd op basis van Vergelijking 9.

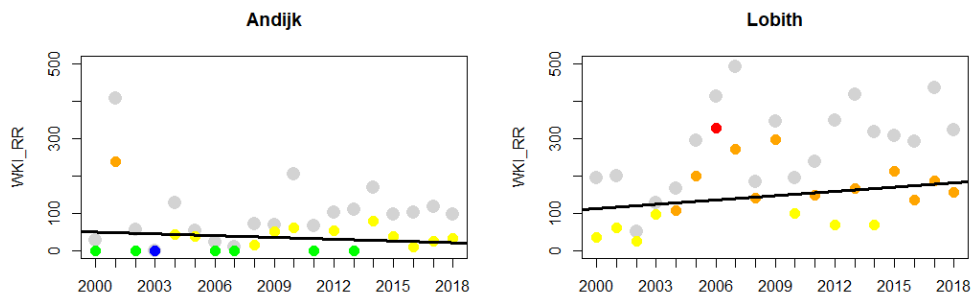


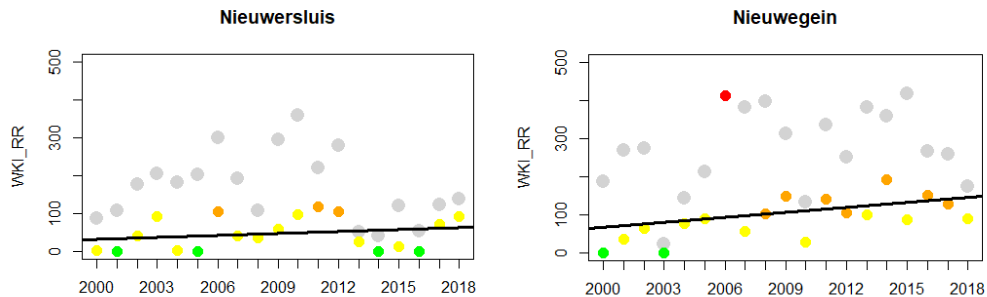


Figuur 3. Voorbeeld van de zuiveringsinspanning door de jaren heen. Deze wordt bepaald door de gemiddelde berekende zuiveringsefficiëntie van stoffen die een zuiveringsopgave hebben (Vergelijking 9).

Bij Nieuwegein en Nieuwersluis zien we een stijging van de waarden in Figuur 3. Dit geeft aan dat er in de loop van de tijd moeilijker te zuiveren stoffen hun beoogde grenswaarde (hier uit het Drinkwaterbesluit) overschrijden. Deze getallen zijn vooral gebaseerd op de logKow omdat deze de hoogste weegfactor heeft gekregen (zie Vergelijking 9). Dit is omdat dit de eigenschap is die hoort bij de techniek die met de minste inspanning kan worden toegepast. Bij Andijk, en in de laatste jaren Nieuwersluis, zijn de waarden variabel doordat er weinig stoffen zijn. In Bijlage I staan de berekende zuiveringsefficiënties aan de hand van de verschillende vuistregels per stof (Vergelijking 1-5), en de eigenschappen waarop deze uitgerekend zijn.

Vervolgens bepalen we de kleur van de waterkwaliteit van de meetlocaties langs de Rijn voor het jaar 2000-2018 volgens de stappen en kleuren van Figuur 1 en Figuur 2, met behulp van Vergelijking 9 en de vastgestelde grenzen voor de kleuren van waterkwaliteit. In Figuur 4 staat de berekende waterkwaliteitsindex zuiveringsopgave-inspanning (WkI ZOI) voor de locaties van 2000-2018. We benadrukken nogmaals dat de kleuren van de waterkwaliteit niet weergeven of stoffen in bepaalde specifieke zuiveringsinstallaties wel of niet verwijderd worden, maar op basis van stoffeigenschappen aangeven hoe de waterkwaliteit, en daarmee de inspanning in het algemeen zal zijn.





Figuur 4. Voorbeeld van de berekende zuiveringsopgaveinspanning per jaar. In grijs de zuiveringsopgave vóór de omrekening tot ZOI. Deze zuiveringsopgave (in grijs) wijkt af van de gerapporteerde zuiveringsopgave voor de locaties in Pronk et al. (2021) doordat de anorganische stoffen hier niet zijn meegenomen. Ook is hier rekening gehouden met de grens van 1,0 µg/l voor humaan niet relevante metabolieten van pesticiden, in plaats van 0,1 µg/l. In kleur de waterkwaliteit (zie Figuur 1 en Figuur 2) per jaar voor een locatie.

Bij Lobith en Nieuwegein neemt de WKI ZOI toe, is te zien in Figuur 4. Een toename betekent meer resterende zuiveringsopgave nadat de formule voor de zuiveringsinspanning (Vergelijking 9) is toegepast. Dit kan komen doordat er een hoge opgave was om te beginnen, of omdat de stoffen moeilijk te zuiveren zijn vooral in een conventionele (en in mindere mate, extra) zuivering (Tabel 1).

3. Discussie en samenvatting

In deze notitie is een nieuwe, data gedreven formule voor het berekenen van de zuiveringsinspanning (ZI) afgeleid en toegepast op waterkwaliteitsdata van RIWA-Rijn. Naast een nieuwe formule voor de ZI is een suggestie gedaan hoe de waterkwaliteit in kleuren weer te geven. Hieruit wordt nogmaals bevestigd dat de waterkwaliteit niet is verbeterd sinds 2000 tot 2018. Een deel van de oorzaak ligt op twee locaties bij de aanwezigheid van stoffen die gemiddeld moeilijker te zuiveren zijn, vooral met een eenvoudige conventionele zuivering. Om de toepassing van de methode om waterkwaliteit te duiden in termen van zuiveringsopgave-inspanning makkelijker te maken zou een database met de eigenschappen die nodig zijn om de zuiveringsinspanning uit te rekenen handig zijn. Nog beter zou het zijn om van de methode een applicatie te maken die de WKI ZOI automatisch uitrekent op basis van lijsten van concentraties gemeten organische microverontreinigingen, plus de beoogde grenswaarden voor de concentraties.

De vuistregels waarop de berekening van de WKI ZOI is gebaseerd, zijn afgeleid op basis van beschikbare data. Daarom zullen de vuistregels verder gevalideerd moeten worden voor ze met vertrouwen ingezet kunnen worden. Tot die tijd is dit een ‘tot zover beste benadering mogelijk’. De vuistregels zijn sowieso een grove inschatting van de zuiveringsinspanning die



geleverd moet worden voor het zuiveren van stoffen. De precieze inspanning zal per zuiveringsinstallatie anders zijn. Voor een voorspelling van de verwijderbaarheid van stoffen voor specifieke zuiveringsinstallaties kan de tool 'AquaPriori' (KWR, 2017) ingezet worden. AquaPriori wordt op dit moment verder ontwikkeld voor meerdere technieken en zeer veel stoffen. Dit model houdt ook rekening met onderlinge interacties van stoffen en bijvoorbeeld natuurlijk organisch materiaal, wat in de vuistregels niet gebeurt. Voor een bepaling van de waterkwaliteit in termen van zuiveringsinspanning is dit niet nodig, deze is bewust onafhankelijk van specifieke installaties.

Referenties

- Cao, Y., A. Charisi, L.-C. Cheng, T. Jiang, and T. Girke (2008) ChemmineR: A Compound Mining Framework for R. *Bioinformatics* 24 (15): 1733–4. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btn307>.
- KWR water (2017) AquaPriori: a priori het verwijderingsrendement bepalen. Rapport KWR 2017.027 D. Vries, B. Wols, M. W. Korevaar, E. Vonk <https://www.kwrwater.nl/projecten/aquapriori/>
- Mansouri K, Grulke CM, Judson RS, Williams AJ (2018) OPERA models for predicting physicochemical properties and environmental fate endpoints. *J Cheminform.* 10(1):10. doi: 10.1186/s13321-018-0263-1
- Meylan, William & Howard, Philip. (2005). Estimating octanol–air partition coefficients with octanol–water partition coefficients and Henry’s law constants. *Chemosphere.* 61. 640-4. 10.1016/j.chemosphere.2005.03.029.
- O’Boyle, N.M., Banck, M., James, C.A. et al. (2011) Open Babel: An open chemical toolbox. *J Cheminform* 3, 33 <https://doi.org/10.1186/1758-2946-3-33>
- Pronk, T. E., Hofman-Caris, R. C. H. M., Vries, D., Kools, S. A. E., ter Laak, T. L., Stroomberg, G. J. (2021) A water quality index for the removal requirement and purification treatment effort of micropollutants. *Water Supply* 21 (1): 128–145. doi: <https://doi.org/10.2166/ws.2020.289>
- US EPA (2012) Estimation Programs Interface Suite™ for Microsoft® Windows, v 4.11. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.



Bijlage I: Tabel berekende zuivering per inspanningsniveau en techniek, per stof

Tabel 1 Bijlage I. Microverontreinigingen die minstens in een meting de signaleringswaarde of norm uit het Drinkwaterbesluit overschrijden op meetlocaties in de Rijn, met voorspelde eigenschappen die in de vuistregels in Vergelijking 1-5 gebruikt worden om de zuiveringsinpanning te berekenen.

cas.nummer	Naam	Log Kow	Log Koa	Gem. Massa	Ring-en	a-bonds
107-06-2	1,2-Dichloroethane	1.5	2.8	99	0	0
108-78-1	1,3,5-triazine-2,4,6-triamine (melamin)	-1.4	8.3	126	0	0
576-24-9	2,3-Dichlorophenol	2.8	6.2	163	1	6
94-75-7	2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D)	2.8	8.6	221	1	6
88-75-5	2-Nitrophenol	1.8	5.7	139	1	6
626-43-7	3,5-Dichloroaniline	2.9	7.5	162	1	6
94-74-6	4-Chloro-2-methylphenoxyacetic acid (MCPA)	3.2	8.5	201	1	6
1066-51-9	Aminomethylphosphonic acid (AMPA)	-2.1	7.3	111	0	0
61-82-5	Amitrole	-0.9	7.1	84	0	0
1912-24-9	Atrazine	2.6	8.4	216	1	6
25057-89-0	Bentazon	2.3	9.8	240	2	6
50-32-8	Benzo(a)pyrene	6.1	9.6	252	5	24
95-14-7	benzotriazole	1.4	5.0	119	2	10
319-85-7	beta-Hexachlorocyclohexane (beta-HCH)	3.7	8.1	291	1	0
117-81-7	Bis(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP)	7.5	11.7	391	1	6
111-96-6	Bis(2-methoxyethyl)ether (Diglyme)	-0.4	4.0	134	0	0
75-27-4	Bromodichloromethane	2.1	2.8	164	0	0
34681-10-2	Butocarboxim	1.1	7.7	190	0	0
34681-24-8	Butocarboxim-sulfoxide	0.7	9.2	206	3	0
10605-21-7	Carbendazim	1.5	8.4	191	2	10
1698-60-8	Chloridazon	1.2	8.5	222	2	12
6339-19-1	Chloridazon-desphenyl	0.8	4.7	146	1	6
6339-19-1	chloridazon-methyl-desphenyl	0.8	4.7	146	1	6
15545-48-9	Chlortoluron	2.4	9.8	213	1	6
15545-48-9	Chlortoluron	2.4	9.8	213	1	6
124-18-5	Decane	5.0	4.3	142	0	0
141-83-3	Diaminomethylideneurea	-0.9	7.2	102	2	6
117-96-4	Diatrizoic acid (Amidotrizoic acid)	1.3	9.4	614	1	6
75-09-2	Dichloromethane	1.3	2.3	85	0	0
110488-70-5	Dimethomorph	2.7	11.7	388	3	12
84-74-2	Di-n-butylphthalate (DBPH)	4.6	8.8	278	1	6
330-54-1	Diuron	2.7	10.0	233	1	6



112-40-3	Dodecane	6.1	5.9	170	0	0
100-42-5	Ethenylbenzene	2.9	3.8	104	0	0
100-41-4	Ethylbenzene	3.2	3.8	106	2	12
637-92-3	Ethyl-tert.-butylether (ETBE)	1.5	3.1	102	0	0
126833-17-8	Fenhexamid	3.5	9.2	302	3	11
1071-83-6	Glyphosate	-3.4	8.4	169	0	0
1071-83-6	Glyphosate	-3.4	8.4	169	0	0
544-76-3	Hexadecane	8.1	7.5	226	0	0
3089-11-0	Hexamethoxymethylmelamine (HMMM)	2.5	11.7	390	1	6
78649-41-9	Iomeprol	-2.8	9.6	777	1	6
73334-07-3	Iopromide	-2.1	9.6	791	1	6
34123-59-6	Isoproturon	2.7	9.8	206	1	6
34123-59-6	Isoproturon	2.7	9.8	206	1	6
93-65-2	Mecoprop (MCP)	3.1	8.7	215	1	6
657-24-9	Metformin	0.4	5.9	129	0	0
657-24-9	Metformin	0.4	5.9	129	0	0
18691-97-9	Methabenzthiazuron	2.6	10.7	221	2	10
108-88-3	Methylbenzene	2.7	3.5	92	1	6
1634-04-4	Methyl-tert.-butylether (MTBE)	0.9	2.7	88	0	0
51218-45-2	Metolachlor	3.1	9.4	284	1	6
152019-73-3	metolachloro-C-metabolite	2.6	10.7	279	1	6
171118-09-5	metolachloro-S-metabolite	1.9	10.6	329	1	6
1746-81-2	Monolinuron	2.3	9.2	215	1	6
91-20-3	Naphthalene	3.3	5.2	128	2	11
111991-09-4	Nicosulfuron	0.0	9.6	410	2	12
593-45-3	Octadecane	9.2	7.9	255	0	0
23135-22-0	Oxamyl	-0.5	9.2	219	0	0
298-00-0	Parathion-methyl	2.9	8.2	263	1	6
61869-08-7	paroxetine	3.4	10.8	329	4	12
87-86-5	Pentachlorophenol	5.1	8.5	266	1	6
114-26-1	Propoxur	1.5	9.2	209	1	6
288-13-1	Pyrazole	0.3	3.7	68	1	5
122-34-9	Simazine	2.2	8.4	202	1	6
56-23-5	Tetrachloromethane	2.8	2.8	154	0	0
629-59-4	Tetradecane	7.6	6.7	198	0	0
55297-95-5	Tiamulin	4.2	10.2	494	2	0
5611-51-8	Triamcinolonehexacetonide	4.8	10.2	533	5	0
76-03-9	Trichloroacetic acid (TCA)	1.3	4.8	163	0	0
67-66-3	Trichloromethane	2.0	2.7	119	0	0
76-05-1	Trifluoroacetic acid (TFA)	0.6	2.5	114	0	0
126535-15-7	Triflusaluron-methyl	3.6	9.6	492	2	12



Tabel 2 Bijlage I. Microverontreinigingen die minstens in één meting de signaleringswaarde of norm uit het Drinkwaterbesluit overschrijden op meetlocaties in de Rijn.
Verwijderingspercentages volgens de vuistregel voor individuele zuiveringstechnieken (Vergelijking 1-5).

cas.nummer	Naam	Conv	AC	OX	AOP	RO
75-09-2	Dichloromethane	20	3	22	20	36
1634-04-4	Methyl-tert.-butylether (MTBE)	15	7	22	20	39
76-05-1	Trifluoroacetic acid (TFA)	11	5	22	20	58
107-06-2	1,2-Dichloroethane	24	9	22	20	47
637-92-3	Ethyl-tert.-butylether (ETBE)	24	16	22	20	50
67-66-3	Trichloromethane	37	8	22	20	61
67-66-3	Trichloromethane	37	8	22	20	61
61-82-5	Amitrole	2	73	22	20	36
111-96-6	Bis(2-methoxyethyl)ether (Diglyme)	3	42	22	20	69
75-27-4	Bromodichloromethane	39	9	22	20	80
1066-51-9	Aminomethylphosphonic acid (AMPA)	0	73	22	20	56
108-78-1	1,3,5-triazine-2,4,6-triamine (melamin)	1	73	22	20	65
657-24-9	Metformin	8	72	22	20	66
56-23-5	Tetrachloromethane	61	9	22	20	77
100-42-5	Ethenylbenzene	65	36	22	20	51
1071-83-6	Glyphosate	0	73	22	20	81
288-13-1	Pyrazole	7	33	59	79	23
76-03-9	Trichloroacetic acid (TCA)	21	64	22	20	80
23135-22-0	Oxamyl	3	73	22	20	90
34681-10-2	Butocarboxim	17	73	22	20	86
124-18-5	Decane	94	54	22	20	72
108-88-3	Methylbenzene	59	26	65	79	42
141-83-3	Diaminomethylideneurea	2	73	65	82	50
34681-24-8	Butocarboxim-sulfoxide	11	73	22	82	89
112-40-3	Dodecane	97	72	22	20	82
6339-19-1	Chloridazon-desphenyl	12	63	65	79	74
6339-19-1	chloridazon-methyl-desphenyl	12	63	65	79	74
629-59-4	Tetradecane	98	73	22	20	88
544-76-3	Hexadecane	98	73	22	20	91
593-45-3	Octadecane	98	73	22	20	94
95-14-7	benzotriazole	24	68	79	82	61
78649-41-9	lomeprol	0	73	65	79	100
73334-07-3	lopromide	0	73	65	79	100
88-75-5	2-Nitrophenol	32	72	65	79	71



100-41-4	Ethylbenzene	70	36	81	82	53
114-26-1	Propoxur	25	73	65	79	89
117-96-4	Diatrizoic acid (Amidotrizoic acid)	21	73	65	79	99
111991-09-4	Nicosulfuron	5	73	81	82	98
1698-60-8	Chloridazon	18	73	81	82	91
10605-21-7	Carbendazim	25	73	79	82	86
122-34-9	Simazine	43	73	65	79	88
171118-09-5	metolachloro-S-metabolite	34	73	65	79	97
319-85-7	beta-Hexachlorocyclohexane (beta-HCH)	81	73	22	79	96
1746-81-2	Monolinuron	46	73	65	79	90
15545-48-9	Chlortoluron	49	73	65	79	90
576-24-9	2,3-Dichlorophenol	62	73	65	79	80
626-43-7	3,5-Dichloroaniline	63	73	65	79	79
25057-89-0	Bentazon	47	73	65	82	93
1912-24-9	Atrazine	55	73	65	79	90
34123-59-6	Isoproturon	57	73	65	79	89
55297-95-5	Tiamulin	88	73	22	82	99
330-54-1	Diuron	57	73	65	79	92
152019-73-3	metolachloro-C-metabolite	55	73	65	79	95
3089-11-0	Hexamethoxymethylmelamine (HMMM)	53	73	65	79	98
94-75-7	2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D)	61	73	65	79	91
5611-51-8	Triamcinolonehexacetonide	93	73	22	82	99
91-20-3	Naphthalene	73	69	80	82	66
298-00-0	Parathion-methyl	62	73	65	79	94
93-65-2	Mecoprop (MCP)	69	73	65	79	90
94-74-6	4-Chloro-2-methylphenoxyacetic acid (MCPA)	72	73	65	79	88
18691-97-9	Methabenzthiazuron	56	73	79	82	91
51218-45-2	Metolachlor	69	73	65	79	95
110488-70-5	Dimethomorph	57	73	81	82	98
84-74-2	Di-n-butylphthalate (DBPH)	92	73	65	79	95
87-86-5	Pentachlorophenol	94	73	65	79	94
61869-08-7	paroxetine	75	73	81	82	97
126833-17-8	Fenhexamid	78	73	80	82	96
117-81-7	Bis(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP)	98	73	65	79	98
126535-15-7	Triflusulfuron-methyl	78	73	81	82	99
50-32-8	Benzo(a)pyrene	97	73	83	82	93

