

Keuzelandschap circulaire drinkwaterproductie

Tessa Vrijhoeven, Bas Wols, Luuk de Waal (KWR), René van der Aa (Waternet), Martijn Tas (Vitens)

De watersector heeft een duidelijke visie: een circulaire waterketen in 2050. Hoe de drinkwaterzuivering er concreet uit moet zien, is nog niet duidelijk. In drie workshops zijn keuzelandschappen opgesteld voor een circulaire grondwater- en oppervlaktewaterzuivering. Deze keuzelandschappen geven de verschillende opties weer voor een meer circulaire drinkwaterzuivering, inclusief de bijbehorende onderzoeksvragen. Dit kan drinkwaterbedrijven helpen specifieke zuiveringen meer circulair te maken.

In 2020 heeft de watersector gezamenlijk nagedacht over hoe een circulaire waterketen er in 2050 uit zou moeten komen te zien. Deze visie wordt beschreven in de zogenoemde Circulair Water 2050-ambitie [1]. De doelen die hierbij horen zijn duidelijk. Hulpstoffen worden volledig hernieuwbaar gebruikt, op een veilige manier. Ook onderdelen (bijvoorbeeld membranen, UV-lampen, installaties) en grondstoffen worden volledig hergebruikt. Het milieu wordt zo min mogelijk belast. De waterketen voorziet in zijn eigen energie, is klimaat- en milieupositief en de oppervlaktewaterkwaliteit is verbeterd. Ook wordt water als schaars goed gezien. Drinkwaterverspilling wordt tot een minimum beperkt en water wordt actief vastgehouden om het waterverbruik te verminderen [1].

Hoe de drinkwaterzuivering er precies uit zou kunnen komen te zien in deze circulaire waterketen, is echter nog niet duidelijk. Samen met experts van de drinkwaterbedrijven is in verschillende workshops technische invulling gegeven aan een circulaire drinkwaterzuivering voor grond- en oppervlaktewater. Hiervoor is eerst een stap teruggedaan: wat verstaan we als drinkwatersector eigenlijk onder een 'circulaire' drinkwaterzuivering? Pas als dit helder is, kan bepaald worden welke zuiveringsschema's het beste passen bij een circulaire waterketen. Vervolgens heeft KWR samen met technologen van de drinkwaterbedrijven verschillende circulaire zuiveringsschema's opgesteld en kon in kaart gebracht worden welke onderzoeksvragen nog uitgezocht moeten worden om een circulaire drinkwaterzuivering te realiseren. Dit resulteerde in twee keuzelandschappen voor een circulaire drinkwaterproductie: één voor grondwater en één voor oppervlaktewater.

Wat bedoelen we met 'circulair' in de drinkwatersector?

'Circulaire economie' is een begrip dat veel wordt gebruikt maar vele definities kent. In 2017 waren er al 114 definities bekend [2]. Voor de waterketen is eerder de definitie van de Sociaal-Economische Raad gebruikt [3]:

"Een economie die binnen ecologische randvoorwaarden efficiënt en maatschappelijk verantwoord omgaat met producten, materialen en hulpbronnen, zodat ook toekomstige generaties toegang tot materiële welvaart behouden".

De circulaire economie wordt gezien als middel om de toegang tot materiële welvaart in de toekomst te beschermen, niet als doel op zich. De draagkracht van de aarde is leidend. Ook wanneer de wereldbevolking groeit, overschrijdt de circulaire economie de draagkracht niet.

Productontwerp vormt de basis om op technisch en energetisch vlak efficiënt om te gaan met producten (hulpstoffen), materialen (grondstoffen) en hulpbronnen. Er wordt niet alleen efficiënt omgegaan met deze middelen, maar ook maatschappelijk verantwoord, voor waardebehoud in economie en maatschappij. Het afschuiven van lasten als toxische stoffen op andere maatschappelijke sectoren wordt actief voorkomen [3].

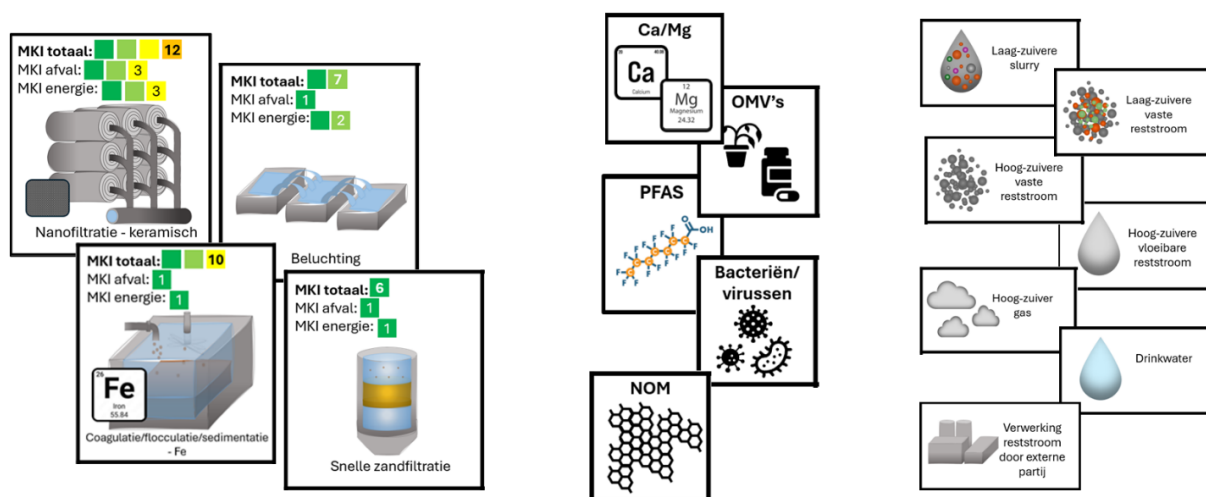
Deze definitie is als startpunt genomen en geconcretiseerd aan de hand van de eigen definities van de drinkwaterbedrijven om tot een werkkader te komen voor circulariteit in de drinkwaterzuivering. 'Werkkader' geeft aan dat het niet om één vaststaande definitie gaat, maar om een afbakening die we in dit onderzoek aanhouden voor de drinkwaterzuivering. In de eerste workshop met de strategen is dit werkkader als volgt opgesteld: circulariteit in de drinkwaterzuivering wordt vormgegeven door te kiezen voor duurzame zuiveringstechnieken met een lage milieu-impact. Dit resulteert in i) sterk verminderd primaire grondstoffengebruik, ii) het afzien van hulpstoffen (chemicaliën en materialen) met een hoge milieu-impact, het reduceren van zowel iii) de negatieve impact als iv) het volume van reststromen, en v) hulpstoffen en/of water in de reststromen op een zo'n hoogwaardig mogelijke manier te hergebruiken of vi) (elders) te recyclen. Schadelijke stoffen worden met een zo laag mogelijke impact verwijderd en verwerkt (bij voorkeur afgebroken) voordat een reststroom wordt teruggevoerd in het zuiveringsproces.

Beoordelen van zuiveringsschema's: waterkwaliteit, circulariteit en robuustheid

Het werkkader voor circulariteit in de drinkwaterzuivering helpt bij het opstellen en beoordelen van circulaire zuiveringstreinen. Een toekomstige drinkwaterzuivering moet echter aan meer aspecten voldoen dan enkel circulariteit. De strategen hebben gezamenlijk de eisen opgesteld om circulaire zuiveringen te beoordelen. Waterkwaliteit is een harde randvoorwaarde. De zuivering moet hoogwaardig water kunnen produceren van drinkwaterkwaliteit. Hiervoor is gekeken of de zuiveringsschema's voldoende barrières bevatten voor de relevante waterkwaliteitsparameters. Ook moet de zuivering robuust zijn. Om het robuustheidscriterium te beoordelen, is enkel gekeken naar het aantal barrières voor desinfectie, organische microverontreinigingen (OMV's) en per- en polyfluoralkylstoffen (PFAS). Voor grondwater geldt geen minimaal aantal desinfectiebarrières. Afhankelijk van of er in het grondwater wel of geen OMV's en PFAS zitten, hoeft de zuivering geen (zonder) of minimaal twee OMV-barrières en twee PFAS-barrières (met) te bevatten. Voor oppervlaktewater geldt dat een robuuste zuivering minimaal twee desinfectiebarrières, twee OMV-barrières en twee PFAS-barrières bevat. Mocht één van de twee barrières niet goed werken, dan kan de andere dit opvangen. De circulariteitscriteria, gebaseerd op het hierboven genoemde werkkader, bestaan uit een indicatieve milieukosten-indicator (MKI)-score, en een beoordeling van het aantal primaire grondstoffen en het aantal behandelde reststromen. Voor de indicatieve MKI-score is gebruik gemaakt van de levenscyclusanalyse (LCA)-expertise bij KWR en de waterbedrijven. Per MKI-pijler (Energie, Grondstoffen en materialen, Emissies, Transport en Afval) is een score van één (lage milieu-impact, lage MKI) tot vijf (hoge milieu-impact, hoge MKI) gegeven waarmee een totale MKI-score per techniek berekend kon worden. Afhankelijk van hoeveel water er met de zuiveringstechniek behandeld wordt, weegt de totale MKI-score van de techniek zwaarder of minder zwaar mee in de totale MKI-score van de gehele zuiveringstrein.

Opties voor circulaire drinkwaterzuivering

In de tweede workshop hebben de technologen van de drinkwaterbedrijven in een semi-continue brainstorm verschillende circulaire zuiveringsschema's opgesteld voor grond- en oppervlaktewater met behulp van een speciaal ontwikkelde set kaarten (zie Afbeelding 1).



Afbeelding 1. Impressie van het kaartspel voor het opstellen van de zuiveringsschema's

Er waren twee scenario's: korte termijn en lange termijn. In het kortetermijnsceario werd de huidige zuivering aangepast. In het langetermijnsceario kon een compleet nieuwe circulaire zuivering ontwikkeld worden, zonder de beperkingen van de bestaande installaties. Afbeelding 2 geeft het opgestelde oppervlaktewaterzuiveringsschema voor het langetermijnsceario weer. Dit is een van de mogelijke invullingen van de circulaire oppervlaktewaterzuivering.

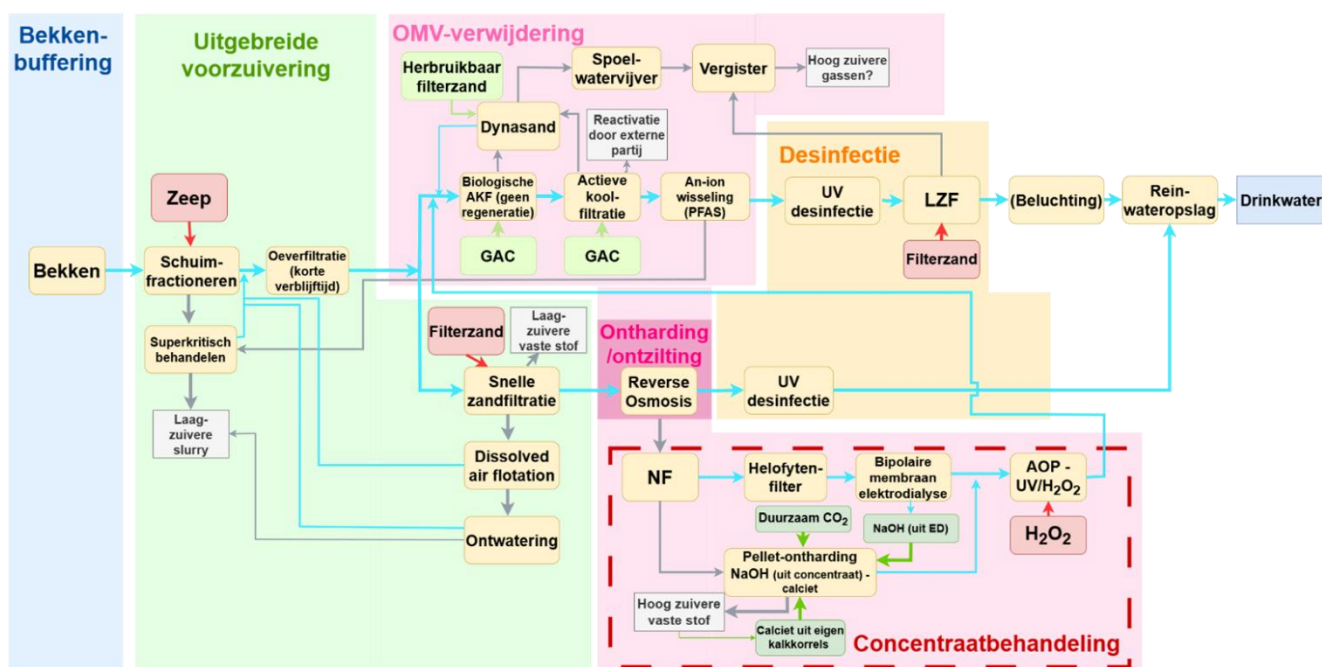
In deze fictieve zuivering zijn microzeven, coagulatie-flocculatie-sedimentatie en dubbellaagsfiltratie (voorzuiivering) vervangen door oeverfiltratie met korte verblijftijd en snelle zandfiltratie (voor de omgekeerde osmose-deelstroom). Voorafgaand aan de oeverfiltratie wordt een techniek toegepast om PFAS (en een aantal andere verontreinigingen) te verwijderen, voordat het water in de bodem terecht komt. Als voorbeeld worden hier schuimfractionering en superkritische behandeling genoemd. De onderzoeksvraag is hierbij wel hoe schuimfractionering (en het gebruik van zeep) en superkritische behandeling toegepast kunnen worden, en of er alternatieven zijn met een vergelijkbaar zuiveringsdoel (ionenwisseling, elektrochemische oxidatie, etc.).

De uitgebreide voorzuivering wordt gevolgd door deelstromen met actieve koolfiltratie (AKF) en omgekeerde osmose (RO, membraanfiltratietechniek). Beide deelstromen dragen bij aan de OMV-verwijdering. De AKF-deelstroom bestaat uit een biologische AKF (BAKF), gevolgd door een reguliere AKF en anionenwisseling (AIEX) speciaal voor PFAS met een ultrakorte keten (1-3 koolstofatomen). De biologische AKF verwijdert onder andere natuurlijk organisch materiaal en hoeft niet geregenereerd te worden. Door een biologische AKF te plaatsen vóór het reguliere actieve koolfilter zal het reguliere filter minder belast worden. Het filter zou dan langer door kunnen draaien om OMV's te verwijderen, voordat het filter geregenereerd moet worden. De milieu-impact van het reguliere actieve koolfilter wordt hierdoor lager.

Er spelen nog meerdere onderzoeksvragen rondom deze voorgestelde BAKF-AKF-AIEX-trein. Zo zal er eerst onderzocht moeten worden of de combinatie BAKF-AKF inderdaad zorgt voor

een verlaagde regeneratiefrequentie. Daarna kan nog gekeken worden of de anionenwisselingsstap echt nodig is. Ook kan er gekeken worden of er alternatieve, meer circulaire adsorbentia zijn dan actieve kool.

De deelstroom-RO verwijdert niet alleen OMV's, maar ook calcium en magnesium (ontharding), een deel van de zouten (ontzilting) en virussen en bacteriën (desinfectie). Om RO op een zo circulair mogelijke manier toe te passen moet de concentraatstroom, die hierbij ontstaat, behandeld worden om water en grondstoffen terug te winnen en verontreinigingen te verwijderen. In het schema is een mogelijke concentraatbehandeling opgenomen. Of deze voorgestelde concentraatbehandeling goed werkt, en meer algemeen hoe membraanfiltratieconcentraat het beste behandeld kan worden, zal verder onderzocht moeten worden. De RO-deelstroom bevat ook een UV-desinfectiestap, voor een dubbele desinfectiebarrière. Om diezelfde reden bevat de AKF-deelstroom UV-desinfectie en langzame zandfiltratie.



Afbeelding 2. Een van de mogelijke zuiveringsschema's voor circulaire drinkwaterproductie uit oppervlaktewater op lange termijn

Voor alle opgestelde zuiveringsschema's (huidig, korte en lange termijn) is de indicatieve totale MKI-score bepaald op basis van expert judgement. Tabel 1 geeft de indicatieve MKI-score per techniek en de totale score voor het zuiveringsschema uit Afbeelding 2. In de huidige oppervlaktewaterzuivering dragen bekkenontharding, coagulatie-flocculatie-sedimentatie en actieve koolfiltratie het meest bij aan de milieu-impact. De indicatieve totale MKI-score van de huidige zuivering is 6,6, ruim 30% hoger dan het circulaire zuiveringsschema. Deze drie technieken zijn samen verantwoordelijk voor meer dan de helft van de totale milieu-impact. De milieu-impact zou behoorlijk verkleind kunnen worden door oeverfiltratie in te zetten als voorzuivering, gevolgd door circulaire pelletontharding waarbij c kalkmelk geproduceerd wordt uit eigen hergebruikte calcietspellets. Een andere optie is het vervangen van bekkenontharding en een deel van de AKF door deelstroom-RO (50% deelstroom, zoals in Afbeelding 2 en Tabel

1). Of oeverfiltratie zonder extra voorbehandeling mogelijk is, en of er daarna nog beluchting of snelle zandfiltratie nodig is, zal nader onderzocht moeten worden. Ook voor circulaire pelletontharding spelen nog onderzoeksvragen voordat toepassing mogelijk is: wanneer kan kalkmelk gebruikt worden voor ontharding? En kan kalkmelk duurzaam geproduceerd worden uit calciëtpellets? Daarnaast is nog de vraag wat meer circulair is: circulaire pelletontharding of membraanfiltratie.

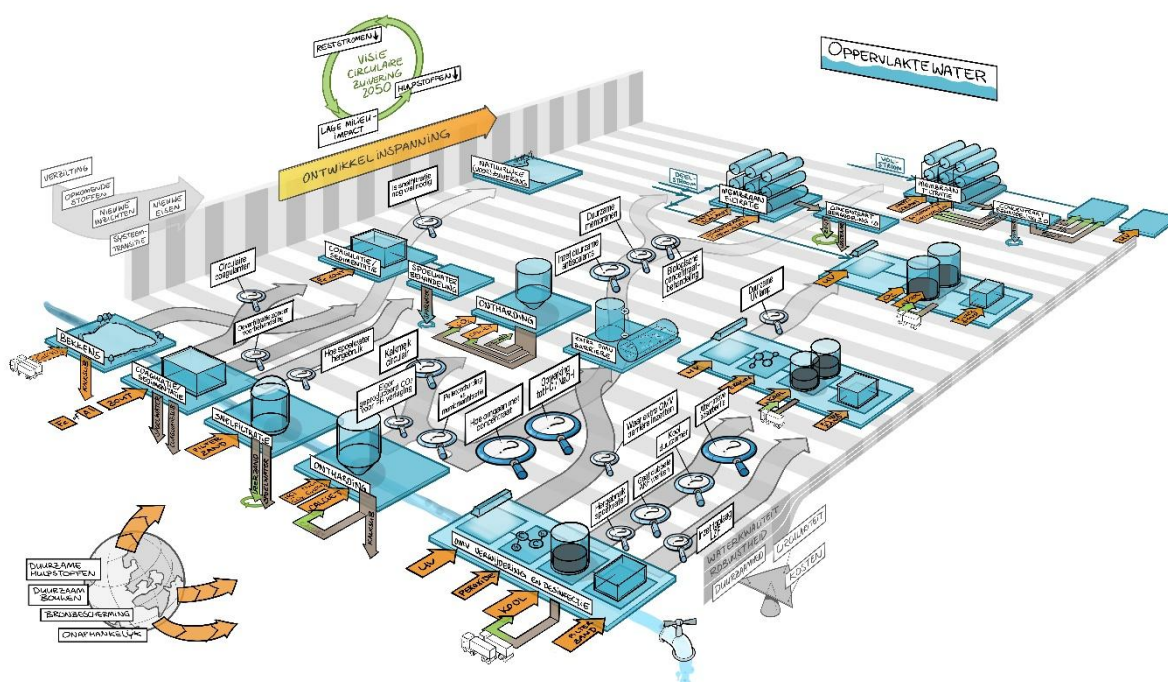
Pelletontharding en actieve koolfiltratie (voor OMV-belasting) hebben het grootste aandeel in de milieu-impact van de huidige grondwaterzuivering. Om de zuivering meer circulair te maken, zou ook hier pelletontharding, na het nodige onderzoek, vervangen kunnen worden door circulaire pelletontharding of deelstroom-nanofiltratie.



Tabel 1. Indicatieve individuele en totale MKI-score, gebaseerd op expert judgement, van de technieken en de zuiveringstrein uit afbeelding 2

Zuiveringstechniek	Energie	Grondstoffen, materialen	Emissies	Transport	Afval	MKI	% water behandeld	Relatieve MKI
Bekkenbuffering	1 - lage MKI	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	0,24	100%	0,24
Schuimfractionering	2 - beperkte MKI	4 - hoge MKI	2 - beperkte MKI	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	1,24	100%	1,24
Superkritisch behandelen	5 - extreme MKI	5 - extreme MKI	3 - aanzienlijke MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	2,40	1,0%	0,02
Oeverfiltratie	1 - lage MKI	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	0,24	100%	0,24
Snelle zandfiltratie	1 - lage MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	0,00	50,0%	0,00
DAF	2 - beperkte MKI	3 - aanzienlijke MKI	3 - aanzienlijke MKI	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	1,24	2,0%	0,02
Ontwatering	1 - lage MKI	2 - beperkte MKI	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	2 - beperkte MKI	0,72	0,0%	0,00
RO	3 - aanzienlijke MKI	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	2 - beperkte MKI	2 - beperkte MKI	1,00	49,0%	0,49
UV-desinfectie	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	0,48	39,2%	0,19
NF	3 - aanzienlijke MKI	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	2 - beperkte MKI	2 - beperkte MKI	1,00	9,8%	0,10
Helofytenfilter	1 - lage MKI	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	0,24	7,8%	0,02
BMED	3 - aanzienlijke MKI	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	0,72	7,8%	0,06
AOP UV/H ₂ O ₂	3 - aanzienlijke MKI	2 - beperkte MKI	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	0,96	9,8%	0,09
Pelletontharding	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	2 - beperkte MKI	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	0,52	2,0%	0,01
BAKF	2 - beperkte MKI	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	0,48	59,8%	0,29
AKF	2 - beperkte MKI	2 - beperkte MKI	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	0,72	60,3%	0,43
Dynasand	1 - lage MKI	1 - lage MKI	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	0,24	1,7%	0,00
Spoelwatervijver	1 - lage MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	0,00	0,1%	0,00
Vergister	2 - beperkte MKI	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	0,52	0,1%	0,00
Anionwisseling PFAS	1 - lage MKI	2 - beperkte MKI	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	4 - hoge MKI	1,20	60,7%	0,73
UV-desinfectie	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	0,48	59,5%	0,29
LZF	1 - lage MKI	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	0,24	59,5%	0,14
Beluchting	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	0,24	59,5%	0,14
Reinwateropslag	1 - lage MKI	2 - beperkte MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	1 - lage MKI	0,24	98,7%	0,24
							Totaal	5,0

De grond- en oppervlaktewaterzuivering zijn eerst opgedeeld in de hoofdzuiveringsprocessen, waarbij een specifieke zuiveringslocatie – afhankelijk van de waterkwaliteit van de bron – een deel van die processen toepast. Voor de grondwaterzuivering zijn dit beluchting, snelfiltratie, ontharding en OMV-verwijdering. De oppervlaktewaterzuivering bestaat uit bekkenbuffering, uitgebreide voorzuivering, ontharding, OMV-verwijdering, desinfectie en ontziltling. Vervolgens zijn de verschillende aanpassingen afgezet tegen de ontwikkelingsspanning in het keuzelandschap. De paden laten zien wat de mogelijke opties zijn voor elk hoofdproces. Voor een groot deel van de keuzes spelen nog onderzoeksvragen die eerst beantwoord moeten worden voordat een onderbouwde keuze gemaakt kan worden. Ook deze komen terug in het keuzelandschap voor grondwater (Afbeelding 3) en oppervlaktewater (Afbeelding 4).



Afbeelding 4. Keuzelandschap circulaire drinkwaterproductie uit oppervlaktewater. Illustratie Jeroen Meijer, JAM Visual Thinking

Keuzelandschap verkennen

Door het co-creatieproces met meerdere workshops konden keuzelandschappen gemaakt worden voor en door de drinkwatersector. Deze keuzelandschappen geven een uitgebreid overzicht van opties om de drinkwaterzuivering meer circulair te maken, inclusief de openstaande onderzoeksvragen. De drinkwaterbedrijven kunnen deze gebruiken als hulpmiddel in hun transitie naar circulaire zuiveringen.

Om uit te zoeken welke onderzoeksvragen sectorbreed het meest spelen zijn in de laatste workshop de onderzoeksonderwerpen geprioriteerd. Voor de circulaire grondwaterzuivering zijn het scheiden en opvangen van CO₂ en CH₄ (methaan) uit de beluchting, circulaire pelletontharding (kalkmelkproductie uit calciëet en de vergelijking met membraanfiltratie op het gebied van circulariteit) en concentraatbehandeling geprioriteerd. Circulaire pelletontharding en concentraatbehandeling werden ook geprioriteerd voor de circulaire oppervlaktewaterzuivering. De andere geprioriteerde onderwerpen waren alternatieve adsorbentia, natuurlijke voorzuivering en spoelwaterhergebruik.

De keuzelandschappen kunnen naar behoefte concreter gemaakt worden voor een specifieke productielocatie en afgewogen worden tegen de bedrijfsspecifieke bestaande zuivering. De ontwikkelde zuiveringsschema's kunnen hierbij, in combinatie met de ontwikkelde set kaarten ondersteunen.

Referenties

1. Roest, K., Römgens, B., Van Alphen, H. en Segrave, A. (2020). *Stip op de horizon: Circulair Water 2050*. KWR Water Research Institute
2. Kirchherr, J. Reike, D., Hekkert, M. (2017). 'Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions'. *Res. con. rec.* 2017. doi: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005.
3. Commissie Duurzame Ontwikkeling/Sociaal-Economische Raad (2016). *Werken aan een circulaire economie: geen tijd te verliezen*.