

November 2020

Stip op de horizon Circulair Water 2050

Water in de Circulaire Economie
(WiCE) | Efficiënt met grondstoffen |
Circulair Water 2050

Stip op de horizon Circulair Water 2050

Water in de Circulaire Economie (WiCE) | Efficiënt met grondstoffen |
Circulair Water 2050

Opdrachtnummer

402324 | BTO 2020.062 | November 2020

Opdrachtgevers

BTO Water in de Circulaire Economie (WiCE), STOWA, AquaMinerals, Unie van Waterschappen (UvW), Energie en Grondstoffen Fabriek (EFGF)

Begeleidingscommissie

André Struker (Waternet/WiCE, waterketen), Cora Uijterlinde (STOWA, afvalwaterketen), Aalke Lida de Jong (AquaMinerals, reststoffen), Ruud van Esch (Unie van Waterschappen, beleid), Ruud Peeters (Energie en Grondstoffen Fabriek)

Projectmanager

Kees Roest (KWR)

Auteurs

Kees Roest (KWR), Ben Römgens (DNV GL), Henk-Jan van Alphen (KWR), Andrew Segrave (KWR)

Kwaliteitsborger

Kees van Leeuwen (KWR)

Meer informatie
Dr. Kees Roest
T +31 6 53197741
E kees.roest@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

November 2020 ©

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Inleiding	6
Water in de Circulaire Economie	6
Efficiënt met grondstoffen.....	6
Stip op de horizon Circulair Water 2050.....	6
Doelen Circulair Water 2050.....	9
Circulair Water 2050: wat brengt de toekomst?	13
Bijlage	16

INLEIDING

Inleiding

Water in de Circulaire Economie

De circulaire economie valt niet meer weg te denken uit het huidige wereldbeeld, en de watersector staat voor grote uitdagingen om hierin te kunnen versnellen. Daarom namen waterbedrijven in Nederland en België het initiatief een meerjarig onderzoeksprogramma op te zetten, gericht op Water in de Circulaire Economie: WiCE¹. Het programma valt onder het collectieve onderzoek voor de watersector en richt zich op vraagstukken rond de circulaire economie, klimaatadaptatie en transitie naar een duurzame energievoorziening. Dat gebeurt op elk denkbaar niveau: van lokaal tot internationaal.

Onderzoeksvragen binnen WiCE zijn nieuw, veelomvattend en complex. De circulaire economie vraagt om een ketenbrede benadering voor het sluiten van grondstofkringlopen en verantwoord hergebruik van water. Ook ontwikkelen we binnen het WiCE-programma watergerelateerde technologieën die de energietransitie vooruithelpen. WiCE-onderzoek is gericht op het sluiten van waterkringlopen en het terugwinnen van grondstoffen en energie uit water. Waterbedrijven en partijen in en om de waterketen voeren gezamenlijk onderzoek uit om een bijdrage te leveren aan de klimaatdoelen 2020, Nederland Circulair in 2050 en de energietransitie.

WiCE biedt een platform voor themagericht onderzoek binnen de watersector, gericht op de circulaire economie. Samen met partners uit de hele watercyclus richten we ons op het terugwinnen van grondstoffen en energie uit waterstromen, het gebruik van water voor de productie van duurzame energie, duurzaam gebruik van zoetwaterbronnen, de waterkwaliteit in de hele waterketen, klimaatadaptatie en governance-aspecten van de circulaire economie. Het huidige rapport spitst zich toe op het thema 'Efficiënt met grondstoffen', gericht op grondstoffenefficiëntie, inclusief grondstoffenwinning en -hergebruik, van belang voor de hele watersector.

Efficiënt met grondstoffen

Binnen het thema 'Efficiënt met grondstoffen' valt het project 'Circulair Water 2050', waar dit rapport onderdeel van uitmaakt. Het project is bedoeld om voor de watersector duidelijk te maken wat het betekent om in 2050 volledig circulair te willen zijn. Gaat het dan vooral om een hogere grondstoffenefficiëntie, of spelen andere zaken een belangrijker rol? Hierop geven we hier concreet antwoord.

Het project heeft drie doelen:

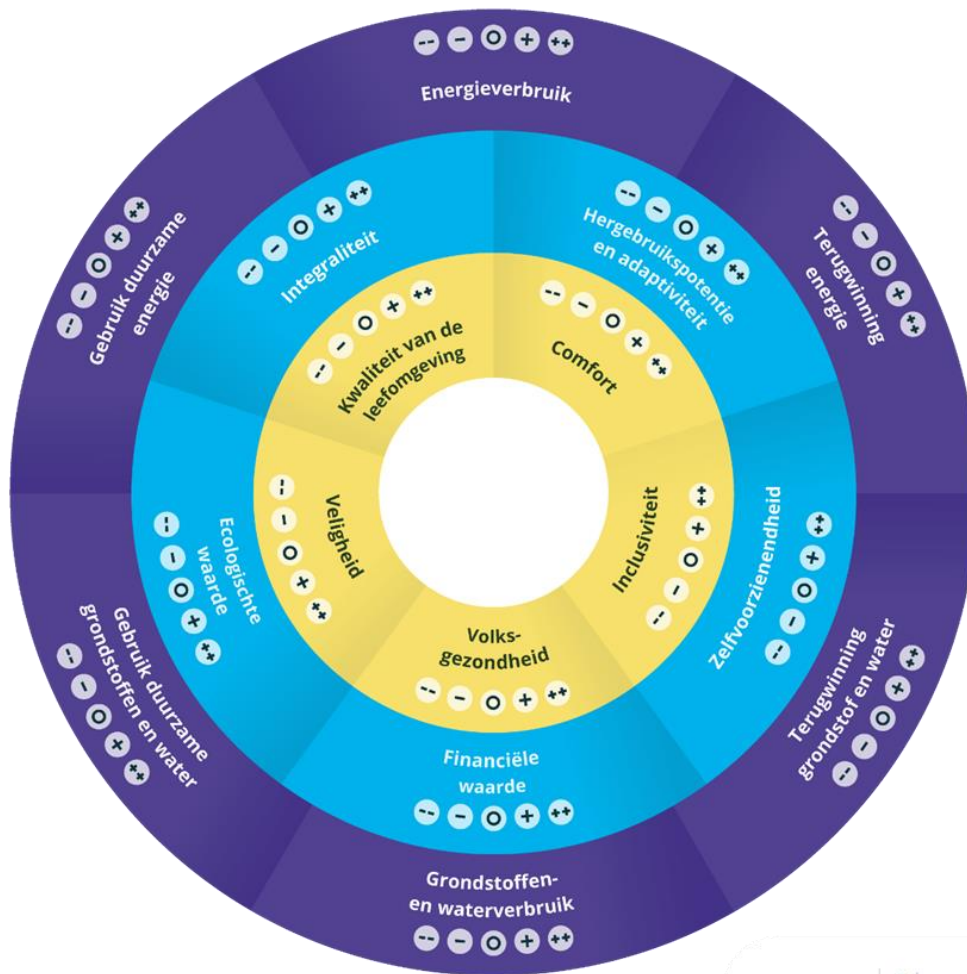
1. Inzichtelijk maken van alle in- en uitgaande stofstromen in de waterketen (waterbedrijven, waterschappen en mogelijk ook gemeenten) in de huidige situatie.²
2. Onderzoeken, omschrijven, bespreken, afbakenen en vastleggen wat in de waterketen wordt verstaan onder volledig circulair in 2050 ('Stip op de horizon').
3. Bepalen welke mogelijke maatregelen en acties nodig zijn (vormgegeven als routekaart) om de huidige waterketen om te vormen tot een volledig circulaire waterketen in 2050.

Stip op de horizon Circulair Water 2050

In dit project 'Circulair Water 2050' is gewerkt aan het concretiseren van de mogelijke circulaire waterketen in 2050, de zogenoemde 'Stip op de horizon' (punt 2 uit bovenstaande doelen). Wanneer dit toekomstbeeld helder is, kan in het vervolgtraject door middel van backcasting worden doorgepakt naar de ontwikkeling van specifieke routes om daadwerkelijk tot dit doel te komen. Vijf werkateliers met vertegenwoordigers van waterbedrijven, waterschappen, gemeenten, universiteiten en het bedrijfsleven leverden input met zo'n honderd personen. Hierbij is gebruik gemaakt van onder meer een 'Score Card' met 16 kenmerken van een circulaire waterketen, een lijst met mogelijke (technologische) innovaties en een aantal 'what if'-scenario's om eisen aan en haalbaarheid van de circulaire waterketen te toetsen.

¹ <https://www.kwrwater.nl/samenwerkingen/collectief-onderzoek-water-circulaire-economie/>

² Roest, K. et al. 2020. Stofstromen in de Nederlandse Waterketen. KWR



KWR | aqua minerals | stowa | ENERGIE EN Grondstoffen FABRIEK

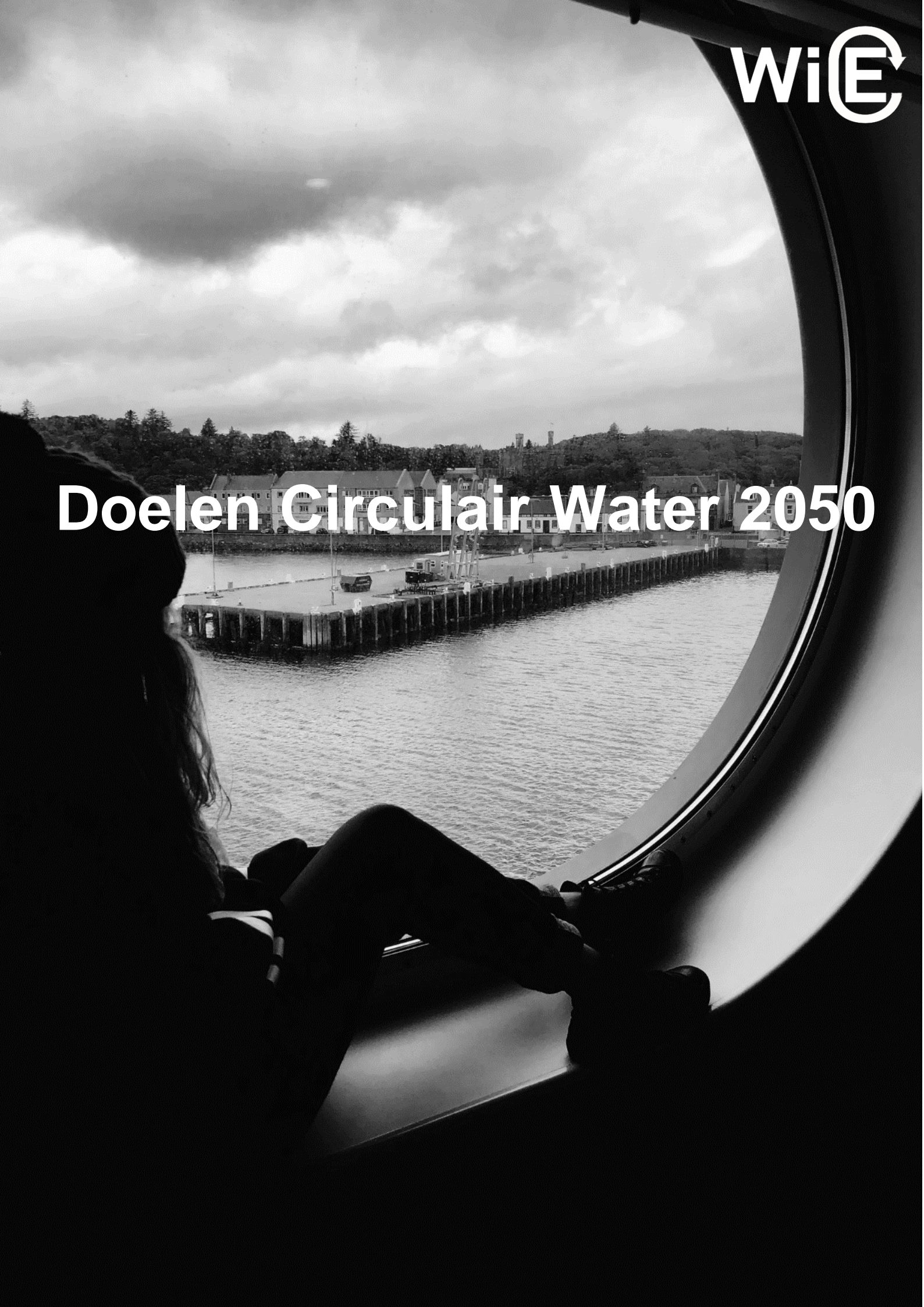
Score Card met de 16 kenmerken van een circulaire waterketen³: een van de opbrengsten van de vijf werkateliers gedurende dit project

Bij het opstellen van de 'Stip op de horizon' is aangenomen dat dankzij een groeiend draagvlak bij burgers en bedrijven de Duurzame Ontwikkelingsdoelen (SDG's) van de Verenigde Naties (VN), de Europese doelen, alsmede de nationale doelen voor een circulaire economie in 2050 gaan worden gerealiseerd, met inachtneming van de benodigde (externe) randvoorwaarden. Voor een circulaire waterketen betreft dit onder andere aanpassing van de regelgeving (over afval en producten, circulair inkopen) en het VTH-stelsel (vergunningen, toezicht en handhaving), maar gaat het ook om regionale samenwerking (van waterbedrijven en waterschappen met overheden en bedrijven), duurzame financiering (heffingen en subsidies) en ruimte voor innovatie.

Stip op de horizon Circulair Water 2050 is gefinancierd vanuit STOWA (waterbeheerders) en WiCE (drinkwatersector). De ambitie van de overheid om met het Rijksbreed programma Circulaire Economie in 2030 zover te zijn dat we de helft minder primaire grondstoffen (o.a. mineraal, fossiel en metalen) gebruiken en dat in 2050 sprake is van een volledig circulair Nederland, staan hierin centraal.

³ Segrave, A. et al. 2020. Operationalisering Circulaire Economie principe voor de waterketen. BTO 2020.020

Doelen Circulair Water 2050



Doelen Circulair Water 2050

De waterketen heeft zich met het 'Circulair Water 2050'-project de volgende doelen gesteld:

- Volksgezondheid staat op één: schoon, gezond en genoeg drinkwater voor iedereen.
- Een schone leefomgeving door afvoeren en verwerken (zuiveren) van afval- en hemelwater.
- Waterveiligheid: veilig leven, wonen en werken met water.
- Waterbeschikbaarheid: voldoende water in de regio van de juiste kwaliteit.

Dit vertaalt zich naar de volgende circulaire doelen:

Gebruik hulpstoffen volledig circulair/hernieuwbaar en veilig

Hulpstoffen worden systematisch teruggewonnen en volledig hergebruikt, respectievelijk hoogwaardig ingezet in biologische en technische kringlopen. Het gebruik van circulaire of hernieuwbare hulpstoffen is volledig veilig voor mens en milieu. Partijen in het watersysteem werken gezamenlijk aan het verminderen en vervangen van hulpstoffen door 100% veilige secundaire en hernieuwbare hulpstoffen met een minimale impact op het milieu. De meeste hulpstoffen zijn gemaakt van biomassa en circulaire synthetische of reststromen van andere sectoren. Het gebruik van hulpstoffen is aanzienlijk verminderd. De hulpstoffen worden volledig teruggewonnen en deels in de waterketen hergebruikt of ze worden hoogwaardig ingezet in andere ketens en sectoren. Laagwaardige toepassingen ervan zijn na 2030 sterk gedaald en bereiken in 2040 nagenoeg het nulpunt.

100% Hergebruik componenten, hulp- en grondstoffen

De spelers in de waterketen werken consistent aan het identificeren en realiseren van hoogwaardig hergebruik van componenten, hulp- en grondstoffen. Terugwinning van reststoffen vindt systematisch plaats voor volledig hergebruik als grondstof. Installaties zijn modulair opgebouwd voor het eenvoudig toevoegen of vervangen van componenten. Aanbestedingen van bouw en onderhoud van installaties gebeuren 100% circulair.

Klimaat- en milieupositief

De waterketen is klimaat- en milieupositief. Het effluent van een RWZI verbetert zelfs de oppervlaktewaterkwaliteit. Oude, nog niet afgeschreven installaties hebben upgrades ondergaan die de emissies van CO₂, lachgas, methaan of andere broeikasgassen sterk reduceren. Vanaf 2035 worden compacte nieuwe installaties ontworpen en gebouwd met revolutionaire technieken waarmee de emissies van broeikasgassen het nulpunt bereiken. De extra energiebehoefte die hiervoor nodig is wordt in nieuwe en omgebouwde installaties ingevuld door scheiding aan de bron en het benutten van de directe energie die hieruit vrijkomt. Als gevolg van deze inspanningen wekt de waterketen meer energie op dan nodig is voor eigen gebruik en, indien nodig, benut het alleen energie uit duurzame bronnen. Naast zon en wind zijn dat groen gas (uit eigen opwek of van derden) en duurzame warmte uit eigen bronnen of geothermie. Warmte en koude uit oppervlakte-, afval- en drinkwater worden gezien als belangrijke energiebron, toegepast in woningen en kantoren. Door het realiseren van deze compacte installaties is het ruimtebeslag sterk gedaald en komt deze ruimte beschikbaar voor andere functies, zoals woningbouw of verdere vergroening van de stad.

Minimale footprint

In 2050 vinden vervangingen en uitbreidingen in de waterketen uitsluitend plaats met secundaire of hernieuwbare materialen. Dit geldt ook voor het gebruik van hulpstoffen. Beslissingen vinden plaats op grond van de 100% waterdichte Levens Cyclus Analyse (LCA), die zicht geeft op de impact voor milieu, energie en mens. Deze analyse voorkomt uitputting en uitbuiting, zowel direct als indirect verderop in de keten, en wordt vanaf 2030 succesvol ingevoerd.

Gebiedswaterbalans zonder netto onttrekking grondwater

Balans in de watervoorziening is een belangrijk principe bij (circulaire) gebiedsinrichting en Nederland stuurt hierop gericht en proactief. Regionale gebruikers streven ernaar netto geen grondwater te onttrekken en ze beperken hun waterverbruik door sparen en voorraadvorming. Deze mate van zelfvoorziening heeft op de hoge zandgronden al geleid tot een succesvolle omslag van afvoeren en tegengaan van wateroverlast naar het vasthouden van water en vermindering van waterverbruik. De

regionale opslag van water in ondergrondse reservoirs zorgt ervoor dat ook in lange, droge zomers voldoende water beschikbaar is. In deze gebieden is het grondwaterpeil in balans en de grondwaterkwaliteit is uitstekend. Ook in Nederlandse poldergebieden bestaat een duidelijke strategie om water vast te houden voor het tegengaan van tekorten in droge periodes. Hierdoor is zo min mogelijk sprake van schade en knelpunten voor land- en tuinbouw, natuur, drinkwater, scheepvaart, industrie, recreatie en het stedelijk gebied. Waar nodig zijn omgevingsplannen aangepast aan de 'waterdraagkracht': water intensieve landbouw is bijvoorbeeld vervangen door water extensieve landbouw. Op diverse plaatsen worden succesvolle natte en zilte landbouw bedreven. En de watervraag vanuit landbouw en industrie is substantieel gedaald door precisie/druppelberegening, waterloos/-efficiënt schoonmaken en waterloze/-efficiënte productieprocessen.

Aanzienlijke verbetering kwaliteit oppervlaktewater

Door een breed pallet aan nationaal en lokaal beleid op het gebied van energie, circulariteit en kwaliteit van de leefomgeving is de oppervlaktewaterkwaliteit aanzienlijk verbeterd. Lozingen vanuit drinkwaterproductie en afvalwaterzuivering (effluent) zorgen zelfs voor een verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit. Dankzij het verbod op gebruik van plastics in wegwerpproducten en de succesvolle transitie naar veilige biobased alternatieven zijn verontreinigingen met microplastics en rubbers tot een minimum beperkt. Een brede en ver doorgevoerde wetgeving voor het gebruik van plastics, nano- en smart-materialen en materialen met een negatieve milieu-impact zorgt voor een ontmoedigingsbeleid.

Minimale verspilling drinkwater

Consumenten realiseren zich dat een goede kwaliteit zoetwater verre van zelfsprekend is en huishoudens hebben een besparing in drinkwaterverbruik voor douchen en (af)wassen gerealiseerd van 60 tot 80%. Omdat ze weten dat water een schaars goed is, vangen burgers waar mogelijk hemelwater op en gebruiken dit voor de tuin, wassen en toiletspoeling. In stadwijken met veel hoogbouw waar weinig mogelijkheden zijn om in tuinen en groenvoorzieningen hemelwater op te vangen, wordt douchewater na lokale zuivering en controle ondergronds opgeslagen voor hergebruik.



**Circulair Water 2050:
wat brengt de toekomst?**

Circulair Water 2050: wat brengt de toekomst?

Voortbouwend op de circulaire doelen die de watersector zich voor het project 'Circulair Water 2050' heeft gesteld, formuleren we de volgende toekomstperspectieven:

Drinkwaterproductie vooral centraal

In 2050 wordt drinkwater veelal nog op dezelfde schaal geproduceerd als in 2020. De bronnen zijn grotendeels hetzelfde en voldoen aan de watervraag. Effluent wordt geïnfiltreerd en via het grondwater ingezet voor drinkwaterproductie in waterarme gebieden. Er is sprake van een beperkt aantal zelfvoorzienende en circulaire wijken waar de bewoners bewust kiezen voor een eigen drinkwaterproductie en afvalwaterzuivering.

Afvalwaterzuivering en grondstoffen terugwinnen dicht bij de bron

Voor het technisch en organisatorisch benutten van schaalvoordeel zijn zuiveringen meestal ingericht voor de behandeling van communaal afvalwater van minimaal 100.000 inwoners. In de Randstad en bij grote steden liggen die aantallen veel hoger. Bij lokale afvalwaterzuiveringen is sprake van gescheiden inzameling. Ook op diverse andere plaatsen worden deelstromen dicht bij de bron benut. Lokale 'eenheden' voldoen aan de algemene regels voor drinkwaterproductie en -zuivering. Door de sterke afname van de watervraag en afvalwateraanbod is de benodigde capaciteit voor drinkwaterproductie en afvalwaterzuivering sterk gedaald.

Cascaderen waar nodig en mogelijk

Wanneer dit nodig is om de balans tussen watervraag en -aanbod in een gebied te bewaren, worden drink- en hemelwater gecascadeerd (trapsgewijs gebruikt). Daarmee wordt het primaire drinkwatergebruik op het niveau van huis, buurt of wijk zo laag mogelijk gehouden. Grijs water wordt – als de situatie hierom vraagt – na een lokale zuiveringsstap toegepast voor toiletspoeling en irrigatie.

Gescheiden inzamelen

Grijs water wordt in alle wijken apart ingezameld. Voor geel en zwart water gebeurt dit in veel nieuwe of gerenoveerde woonwijken in stedelijke gebieden met een hoge woondichtheid. Urine levert dan veelal ammonia voor een brandstofcel. Zwart water wordt gecombineerd met andere organische stromen en opgewerkt tot groen gas. Mogelijkheden voor vergaande scheiding worden op 'case-by-case' basis toegepast. Hierbij wordt ook rekening gehouden met logische vervangingsmomenten van het leidingennet.

Schoonhouden wat schoon is

Een evenwichtige combinatie van regels, voorlichting, handhaving en financiële prikkels heeft bij burgers tot een brede gedragsverandering geleid. Het 'Internet of Things' (IoT) en een netwerk van sensoren in riolen ondersteunen een gerichte voorlichting en handhaving. Bijna alle huishoudens nemen maatregelen om ongewenste vervuiling te voorkomen. Nieuwe wasmachines hebben bijvoorbeeld standaard een 'microplastic'-filter. Vervuiling van afval- en oppervlaktewater met verfstoffen, smeerolie en doorgespoelde medicijnen behoort nagenoeg tot het verleden.

Meervoudig watergebruik

Het oppervlaktewater in en om steden en wijken is aanzienlijk uitgebreid. Behalve natuur- en recreatiewater heeft het de functie van wateropslag bij extreme buien (en hoge waterstanden) en dient het oppervlaktewater als waterreservoir in het geval van droge zomers. Rietvelden en andere 'nature-based solutions' zorgen voor een goede waterkwaliteit.

Klimaatbestendig bouwen en inrichten

Waterberging op huis- of blokniveau is verplicht bij nieuwbouw en bij het herinrichten van tuinen. Er is sprake van minimale verharding zodat water kan wegstromen in de ondergrond. Daken van nieuwe en gerenoveerde woningen zijn groen, net als de tuinen en gevels van appartementen in de stad. Tuinen, straten, plantsoenen en parken hebben boven- of ondergrondse waterberging. Stadslandbouw en verticale landbouw zijn een vertrouwd beeld geworden. Door vergroening van de stad is daar de hittestress in de zomer aanzienlijk afgenomen en de luchtkwaliteit verbeterd.

Modulair en (nog) robuuster

Zowel bij waterbedrijven als bij zuiveringen is sprake van een netwerk van installaties om de

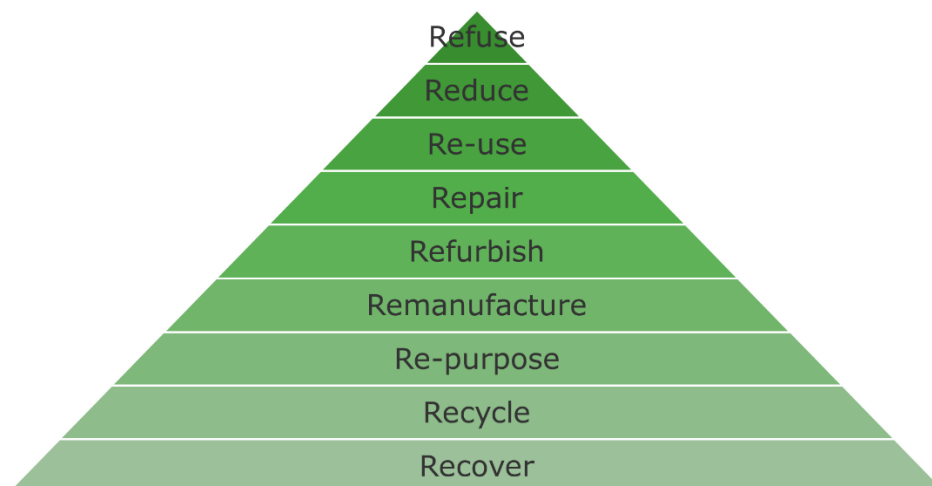
robuustheid te vergroten. Installaties zijn modulair opgebouwd voor een relatief eenvoudige toevoeging of vervanging van componenten. Hierdoor kan de waterketen verschillende waterbronnen goed benutten en sneller inspelen op veranderingen (kwalitatief en kwantitatief) in vraag en aanbod. De modulaire componenten zijn nog robuuster geworden en net zo veilig als de traditionele systemen.

Maatwerksystemen afgestemd op specifieke kenmerken van wijk of stad

Een serie van factoren bepaalt in sterke mate de inrichting van de waterketen: de omgeving, de specifieke problematiek ten aanzien van de waterbalans, vraag naar water, de aanwezige drinkwaterbronnen en de inrichting van de fysieke ruimte. In stedelijke omgevingen met een hoge woondichtheid ontstaan gereguleerde collectieve lokale oplossingen voor het vasthouden van hemelwater en het hergebruik van regen- en grijs water. Ook zijn hier soms oplossingen gevonden voor het terugwinnen van grondstoffen uit geel en zwart water. Een collectieve, lokale aanpak maakt optimaal gebruik van schaalvoordelen. In buitengebieden, met veel ruimte in en om de huizen, wordt sterker ingezet op individuele oplossingen voor het vasthouden en hergebruiken van regen- en grijs water. In de dorpskernen zien we een substantiële toepassing van robuuste en betrouwbare modulaire zuiveringssystemen.

Circulaire assets

Vanaf 2030 zijn alle nieuwe installaties circulair en voorzien van een materialenpaspoort. Dit paspoort bevat ook informatie over arbeidsomstandigheden en milieueffecten. Alle installaties worden ontworpen op basis van de R-ladder; deze gaat uit van zo min mogelijk grondstoffengebruik en een optimale benutting hiervan **Error! Reference source not found.** Alleen bedrijven die zich volledig committeren aan de terugnameverplichting (producenten- en ketenverantwoordelijkheid) komen in aanmerking voor de levering. Componenten zijn gemakkelijk te vervangen. Producenten garanderen dat componenten na inname hoogwaardig worden hergebruikt. Bij vervanging worden leidingen gerecycled en direct lokaal hergebruikt. Hierdoor is het primair materiaalgebruik voor leidingen aanzienlijk gereduceerd (tot 80%).



R-Ladder voor het circulair ontwerpen van assets; hoe hoger in de ladder, des te groter de circulariteit

Regeneratie en hoogwaardig hergebruik hulp- en grondstoffen

De waterketen wint op grote schaal een diversiteit aan waardevolle grondstoffen terug uit communaal afvalwater. Waar mogelijk maken reststromen van bedrijven hier onderdeel van uit, voor een betere business case en een grote impact. De keten levert ruwe grondstoffen en draagt bij aan de ontwikkeling van waardeketen en de markt. Partijen in de waterketen treden op als 'launching customer' voor producten die uit de grondstoffen hiervan voortkomen.

Afvalwaterzuiveringen als energie-, water- en grondstoffenfabriek

Rioolwaterzuiveringen zijn systematisch omgebouwd naar schoonwaterfabrieken. Deze 'waterfabrieken' gebruiken een breed scala van fysische en chemische componenten, membraantechnologieën en biologische zuiveringsstappen om microverontreinigingen (microplastics, medicijnresten, metalen, nutriënten) en pathogenen uit het effluent en zuiveringsslib te halen. Dit resulteert in de levering van

grondstoffen en een passende kwaliteit schoon water aan diverse gebruikers (natuur, landbouw, gebouwde omgeving). De installaties zijn ook compacter en besparen veel ruimte.

Watersysteem als energiebron

Warmte (en koude) uit water (oppervlakte-, afval- en drinkwater) wordt veelvuldig ingezet om woningen en kantoren te verwarmen en te koelen. Soms gaat het daarbij om kleine en specifieke oplossingen voor een eigenaar. In andere gevallen maken de bronnen onderdeel uit van een brede portfolio voor een stedelijk warmte- en koudenet. Met superkritisch vergassen (op 300 °C) worden organisch afval en plastics omgezet in biogas en daarna meestal opgewerkt tot de kwaliteit van groen gas.

Brede inzet van sensoren en kunstmatige intelligentie voor optimalisatie assets en watergebruik

Intelligente sensoren (soms mobiel op mini-drones) meten en analyseren componenten van installaties (drinkwaterproductie, afvalwaterzuiveringen, leidingen, pompen, gemalen etc.). Componenten die slechter presteren dan verwacht, worden extra gemonitord en waar nodig schoongemaakt, gerepareerd, beter afgesteld of vervangen. Veel onderhoud vindt plaats op afstand en/of door 'cleaning in place'. Er is een brede inzet van inspectie- en reparatiedrones. Kwaliteitsbewaking is voor een groot deel geautomatiseerd. Kunstmatige intelligentie (AI) en 'digital twins' worden gebruikt om de toestand van een apparaat te bepalen. Ook meten de sensoren de kwantiteit en kwaliteit van water in watergangen (beken), communale afvalwatersystemen en potentiële 'hot spots' (van illegale lozingen). De gegevens bieden tevens inzicht in de gezondheid van wijkbewoners.

Breed scala aan technologieën voor waterzuivering en grondstofterugwinning

De keten zet een breed scala aan technologieën in voor het zuiveren van (afval)water en grondstofterugwinning. Het aandeel van fysisch-chemische technologieën en diverse type membranen is sterk gegroeid.

Brede maatschappelijke Levens Cyclus Analyse (LCA) als basis voor duurzame circulaire ontwerpkeuzes

Bij het inrichten en beheren van de waterketen is brede aandacht voor maatschappelijke kosten en baten. Er is sprake van 'true pricing', wat betekent dat verborgen kosten worden meegenomen, evenals eventuele schade in de vorm van comfortverlies, aantasting van het milieu en impact op andere gebruiksfuncties. Bij het maken van ontwerpkeuzes voor watersystemen en het kiezen van de beste circulaire oplossing, gebruiken spelers in de waterketen een brede maatschappelijke Levens Cyclus Analyse (LCA) en een circulair afwegingskader (zie pag. 7). Voor een optimale toepassing worden de consequenties op systeemniveau in kaart gebracht.

Bijlage

In deze bijlage treft u een volledige lijst van maatregelen, technieken en oplossingen die in 2050 zijn geïmplementeerd voor een circulaire waterketen. Deze lijst geldt als uitgangspunt voor het backcasten: een methode waarmee uiteindelijk in de vorm van een routekaart wordt bepaald welke maatregelen en acties wanneer nodig zijn om de genoemde doelen te halen. Met een kleurrijke illustratie is die 'Stip op de horizon' vormgegeven.

Productie drinkwater

- a. Meer modulaire en (nog) robuustere systemen, voor het benutten van verschillende waterbronnen.
- b. Inzet van biologische processen voor drinkwaterproductie.
- c. Hulpstoffen gemaakt van biomassa of reststoffen van andere sectoren.
- d. Optimale monitoring en regeling voor afname in het gebruik van hulpstoffen.
- e. Energiewinning uit drinkwater, de Watertoren als batterij, TED.
- f. (Incidentele) productie van drinkwater uit gezuiverd effluent en uit andere secundaire bronnen (grondwater sparen, minder aanbod rivierwater).
- g. Inrichten op droogte met watervoorraden.
- h. Productie van verschillende waterkwaliteiten.
- i. Zero discharge (geen lozingen of lozingen van betere kwaliteit dan oppervlaktewater).
- j. Klimaatneutraal (denk aan CO₂- en methaan-emissies bij ontgassen).
- k. Regeneratie en/of cascadering (trapsgewijs benutten) van hulpstoffen, zoals:
 - o kalkmelk uit calciëtkorrels;
 - o natroloog vervangen door kalkmelk of andere alternatieven;
 - o biobased polymeer of geen polymeergebruik;
 - o ijzerzouten (coagulant) winnen uit ijzerslib;
 - o kalkkorrels ter vervanging van calciumcarbonaat (ontzuren, remineraliseren, etc.);
 - o actief kool cascaderen (na drinkwaterbehandeling inzet in afvalwaterzuivering);
 - o filtergrind hergebruiken of 100% elders recyclen;
 - o nutriënten terugwinnen uit brijn/brakwater.

Zuivering communaal afvalwater

- a. De RWZI als energie- (o.a. waterstof) en schoonwaterfabriek.
- b. Modulaire zuivering. Flexibel/aanpasbaar en verplaatsbaar uitvoeren van diverse onderdelen (en daarmee minder redundant, respectievelijk redundant op een grote schaal).
- c. Meer fysisch-chemische zuivering, waarbij de 'chemische' componenten ter plekke worden geproduceerd (bv. elektrochemisch).
- d. Minder waterzuiverings- en slibbehandelingsmethoden, vooral met gebruik van groene hulpstoffen.
- e. Technieken om microverontreinigingen te verwijderen uit effluent en (zuiverings)slib.
- f. Klimaatneutraal (emissies lachgas, methaan), met CO₂ afkomstig uit groen gas-productie RWZI.

In en om het huis

- a. Huishoudens bijna waterneutraal.
- b. Drinkwatergebruik aanzienlijk gereduceerd door inzet hemelwater en cascadering watergebruik.
- c. Klimaatbestendig bouwen met verplichte waterberging en ontharden van straat en tuin.
- d. Groene daken, gevels, tuinen/verticale landbouw.

In de omgeving/wijk

- a. Gebiedswaterbalans is leidend.
- b. Vasthouden, opslaan en infiltreren van (rein) water.
- c. Gescheiden inzamelen.
- d. Afkoppelen van hemelwater.
- e. Groenvoorziening aangepast aan de ondergrond en de beschikbaarheid van water.
- f. Nature based solutions en biomimicry: robuuste en betrouwbare oplossingen voor het zuiveren van licht verontreinigd water.
- g. Grootschalige waterberging (regionaal) om perioden van droogte te kunnen opvangen.

Inzet van assets

- a. Asset Life Cycle management (ALC).
- b. Circulair en modulair bouwen.
- c. Installaties designed for repair, recycling en reuse.
- d. Gecombineerde leidingenkokers.

Data, sensoren en AI

- a. Inspectiesensoren met reparatietechnologie.
- b. Geautomatiseerde kwaliteitsbewaking.
- c. Kunstmatige intelligentie (AI) en 'digital twins' om de toestand van een apparaat te bepalen.

Hergebruik hulp en grondstoffen uit afvalwater en watersystemen

- a. Brede inzet van hoogwaardige technologieën voor terugwinning van bouwstenen uit slib of communaal afvalwater en omzetting hiervan in waardevolle grondstoffen. Te denken valt aan:
 - o alginaat/kaumera;
 - o cellulose uit zeefgoed;
 - o fosfaat voor kunstmest/stadslandbouw op RWZI;
 - o terugwinnen van stikstof;
 - o productie van syngas;
 - o humuszuren;
 - o metalen;
 - o water van en voor waterstofproductie;
 - o superkritisch vergassen van afval /plastics.
- b. Alle (chemische) energie wordt uit het slib gehaald.
- c. Regeneratie en/of cascadering van hulpstoffen, zoals:
 - o ijzerzouten (coagulant) uit ijzerslib;
 - o biobased polymeer of geen polymeergebruik;
 - o koolstofbron uit slib/zeefgoed/roostergoed;
 - o actief kool cascaderen (na drinkwaterbehandeling inzet in afvalwaterzuivering);
 - o magnesiumchloride vervangen door calciumzouten;
 - o roostergoed voor groene daken of scheiden en sorteren;
 - o gassen benutten;
 - o biomassa benutten.

WiE