

BTO 2019.019 | Juli 2019

BTO rapport

VO Radicaal nieuwe
bronnen voor drinkwater

BTO

VO Radicaal nieuwe bronnen voor drinkwater

BTO 2019.019 | Juli 2019

Opdrachtnummer

402045-024

Projectmanager

Dr. Geertje Pronk

Opdrachtgever

BTO - Verkennend onderzoek

Kwaliteitsborger(s)

Dr. Kees van Leeuwen

Auteurs

dr. ir. Roberta Hofman-Caris, dr. Sija Stofberg,
Henk-Jan van Alphen MSc, Luuk de Waal MSc, dr. ir.
Marjolein van Huijgevoort

Verzonden aan

BTO Directeurenoverleg

Jaar van publicatie
2019

Meer informatie

dr Sija Stofberg
T
E

Keywords

Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl



BTO | Juli 2019 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

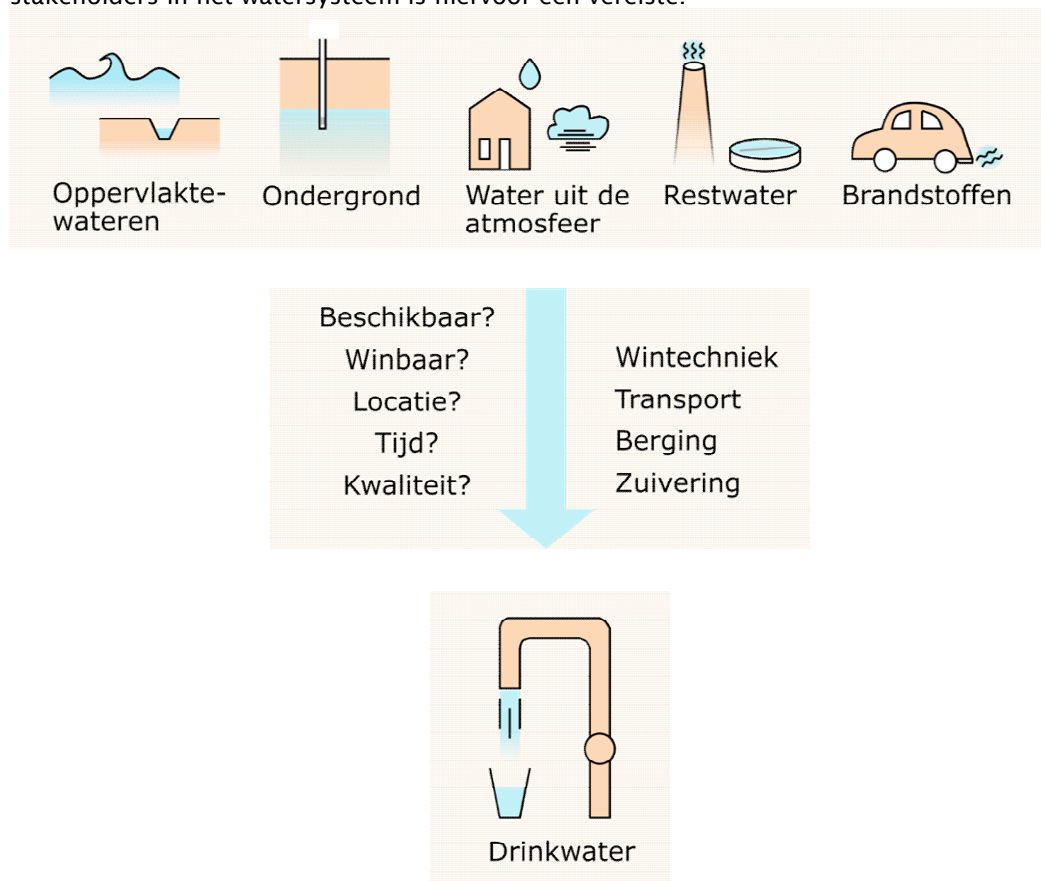
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

BTO Managementsamenvatting

Gebruik alternatieve bronnen voor drinkwater vereist afweging voor hele watersysteem

Auteurs dr. ir. Roberta Hofman-Caris, dr. Sija Stofberg, Henk-Jan van Alphen MSc., Luuk de Waal MSc., dr., ir. Marjolein van Huijgevoort

Natuurlijke en maatschappelijke ontwikkelingen zullen gevolgen hebben voor de drinkwatervoorziening. Daardoor komen opties als gebruik van alternatieve bronnen en kleinschaligere zuiveringsprocessen in beeld. Welke alternatieve bronnen kunnen worden ingezet, hangt af van specifieke lokale omstandigheden. Hoewel kleinschalige zuiveringsprocessen in de regel duurder zijn dan centrale (drink)waterproductie, kunnen zich omstandigheden voordoen waarbij het toch voordelen heeft kleinschalige systemen in te zetten. Dergelijke veranderingen hebben consequenties voor zowel de drinkwaterbedrijven, de omgeving als de maatschappij. Het is hierbij noodzakelijk alle belangen in het hele watersysteem in beschouwing te nemen en af te wegen. Een goede samenwerking tussen alle stakeholders in het watersysteem is hiervoor een vereiste.



Elke waterbron zou een drinkwaterbron kunnen zijn, maar alleen als zij voldoet aan belangrijke criteria als beschikbaarheid, winbaarheid en kwaliteit

Belang: Voorbereiding op de toekomst.

Welke invloed zullen toekomstige ontwikkelingen hebben op de drinkwatervoorziening? Waterbedrijven willen de drinkwatervoorziening graag voorbereiden op de toekomst, maar het is grotendeels onbekend hoe die toekomst eruit zal zien. Verkennend onderzoek richt zich daarom op een beter beeld van de toekomst. Het is duidelijk dat de huidige drinkwaterbronnen, grondwater en oppervlaktewater, steeds meer onder druk staan. Het is daarom belangrijk een beeld te krijgen van de in de toekomst beschikbare alternatieve bronnen voor drinkwater, de zuiveringsstappen die nodig zouden zijn om deze alternatieve drinkwaterbronnen in te zetten en de mogelijke gevolgen van een omschakeling voor drinkwaterbedrijven, maatschappij en omgeving.

Aanpak: Scenariostudie voor fictieve omgeving.

Voor een fictieve omgeving (met een stad, een dorp, boerderijen en industrie) zijn drie verschillende scenario's uitgewerkt. Het eerste scenario gaat uit van lokale bronnen, zoals regenwater, en van maximale waterbesparing. Het tweede scenario is gebaseerd op een circulaire economie, waarbij RWZI-effluent en restwater uit de voedselindustrie als bronnen worden ingezet. Bij deze twee scenario's wordt ook grijs water gezuiverd en toegepast als huishoudwater. Het derde scenario houdt rekening met een toenemende watervraag en sterke klimaatveranderingen, waarbij brak grondwater als belangrijkste bron voor drinkwater wordt gebruikt, aangevuld met restwater uit de voedselindustrie. Uit 29 verschillende alternatieve bronnen (afkomstig uit oppervlaktewater, bodem, restwater, atmosfeer of ontstaan bij de verbranding van brandstoffen) is een selectie gemaakt van de meest geschikte op basis van beschikbaarheid, winbaarheid en kwaliteit. Voor deze selectie zijn verschillende zuiveringsschema's opgesteld en doorerekend op kosten. Ook werden van alle configuraties de

mogelijke gevolgen voor de drinkwaterbedrijven, de maatschappij en de omgeving beschreven.

Resultaten: Diverse alternatieve bronnen beschikbaar; wel goede samenwerking in watersysteem vereist.

Het onderzoek laat zien dat verschillende alternatieve lokale bronnen kunnen worden gebruikt om drinkwater van te maken. Kleinschalige zuiveringen zijn in het algemeen duurder dan centrale drinkwaterzuivering, maar afhankelijk van lokale omstandigheden kan het toch interessant zijn dergelijke bronnen te exploiteren. Dit zal echter gevolgen hebben voor zowel drinkwaterbedrijven, maatschappij als omgeving. Inzetten van lokale bronnen vereist in alle scenario's een goede samenwerking tussen alle stakeholders in het hele watersysteem. Dat geldt bijvoorbeeld voor de inzet van noodzakelijke technische ontwikkelingen, zoals de ontwikkeling van online sensoren, wet- en regelgeving en sluiting van (deel)waterketens. Een robuuste drinkwatervoorziening betekent dat alle verschillende belangen zorgvuldig moeten worden afgewogen, en dat hierbij naar watersystemen als geheel gekeken zal moeten worden.

Implementatie: goed voorbereid de toekomst in

Als in de toekomst de huidige drinkwaterbronnen onder druk komen te staan, zijn alternatieve bronnen beschikbaar, die technisch ingezet kunnen worden. Overschakelen naar deze bronnen zal echter consequenties hebben voor de drinkwaterbedrijven. Zij moeten daarom op tijd meebewegen met deze trends en in hun toekomstplannen rekening houden met dergelijke veranderingen. Aangezien alle onderzochte scenario's laten zien dat een nauwere samenwerking met andere stakeholders in het watersysteem heel belangrijk wordt, is het gunstig nu al in die samenwerking te investeren.

Samenvatting

Niemand kan met zekerheid de toekomst voorspellen, maar het is wel belangrijk goed voorbereid te zijn op mogelijke ontwikkelingen. Natuurlijke en maatschappelijke ontwikkelingen zullen zeer waarschijnlijk ook gevolgen hebben voor onze drinkwatervoorziening. Op het ogenblik is die gebaseerd op de winning van zoet grond- en oppervlaktewater, maar met de ontwikkelingen in zuiveringstechnologie wordt het ook mogelijk andere bronnen te benutten. Daarnaast tekent zich een maatschappelijke trend af naar verduurzaming, decentralisatie, zelfvoorzienendheid, en een circulaire economie, die ook zijn weerslag kan hebben op de drinkwatervoorziening. In veel gebieden staan de huidige bronnen al onder druk, en de verwachting is dat die druk in de toekomst zal toenemen. Aangezien investeringen in de drinkwatersector worden gekenmerkt door relatief hoge kosten en een lange tijdshorizon, is het van belang nu al te beginnen om de potentie van deze ontwikkelingen en de gevolgen hiervan voor de drinkwaterbedrijven te onderzoeken. Dat was de reden voor het in dit rapport beschreven onderzoek naar mogelijk nieuwe bronnen voor drinkwater.

In principe kan iedere bron van water als bron voor drinkwater worden gebruikt, maar voor echt praktische toepassingen moet een dergelijke bron aan twee eisen voldoen:

1. Er moet voldoende water beschikbaar én winbaar zijn. Dit hangt samen met technische uitdagingen om water uit specifieke bronnen te kunnen winnen, de te overbruggen afstanden, en de beschikbaarheid van water over de tijd (bijvoorbeeld seizoensbeschikbaarheid). Bij voorkeur wordt uitgegaan van bronnen met een constante beschikbaarheid, of die een piek vertonen in de zomermaanden.
2. De kwaliteit van het water moet zodanig zijn, dat het water op een effectieve en efficiënte manier gezuiverd kan worden tot drinkwater.

In eerste instantie is geïnventariseerd welke bronnen mogelijk beschikbaar zijn, en vervolgens is hierbij hun geschiktheid vastgesteld. Het blijkt dat er diverse bronnen zijn die kansrijk geëxploiteerd zouden kunnen worden, maar nu nog niet (of weinig) worden benut. Afhankelijk van de beschikbaarheid, winbaarheid en kwaliteit van de bron kan directe toepassing mogelijk zijn of moet er extra berging, zuivering of transport plaatsvinden.

Daarna zijn drie verschillende toekomstscenario's voorgesteld:

- Scenario 1: "Maximaal en lokaal". In dit scenario gaat het om het verwezenlijken van een maximale waterbesparing en gebruik van lokale bronnen.
- Scenario 2: "Circulair". Uitgaan van een circulaire economie, waarbij allerlei vormen van restwater worden gebruikt.
- Scenario 3: "Onder druk". In dit scenario treden sterke klimaatveranderingen op, wat niet alleen leidt tot problemen met bronnen voor drinkwater, maar ook tot een snelle bevolkingsgroei als gevolg van immigratie (klimaatvluchtelingen). Het drinkwaterverbruik neemt (significant) toe.

Deze scenario's zijn vervolgens uitgewerkt voor een gebied waarin zich o.a. een stad, een dorp, boerderijen, en industrie (een aardappelfabriek) bevinden.

In scenario 1 wordt drinkwater lokaal geproduceerd uit voornamelijk regenwater. In scenario 2 worden RWZI-effluent en restwater uit de voedselindustrie ingezet als bronnen voor drinkwater. In scenario 3 wordt brak grondwater als bron genomen. Daarnaast zijn de mogelijkheden om grijs water als bron voor huishoudwater toe te passen verkend.

In de meeste gevallen zullen kleinschalige zuiveringsprocessen nodig zijn. Bestaande kostenfuncties bleken ongeschikt te zijn om voor dergelijke kleinschalige processen betrouwbare schattingen te kunnen maken. Daarom is een kostenfunctie opgesteld voor kleinschalige zuiveringen, gebaseerd op opgaves van leveranciers voor verschillende (onderdelen van) zuiveringsprocessen. Kleinschalige zuiveringen blijken vrijwel altijd duurder en minder efficiënt te zijn dan grootschalige zuiveringsprocessen.

Onder bepaalde omstandigheden kan het echter toch interessant zijn kleinschalige zuiveringen te realiseren. Dit kan te maken hebben met lokale omstandigheden of met de beschikbaarheid van bepaalde bronnen. Een aandachtspunt hierbij is wel dat in bepaalde gevallen wet- en regelgeving zullen moeten worden aangepast om gebruik van deze bronnen, of van bijvoorbeeld huishoudwater, in de praktijk mogelijk te maken. Om de veiligheid te kunnen waarborgen is het essentieel dat er geschikte sensoren worden ontwikkeld, die snel en goedkoop de waterkwaliteit kunnen vaststellen.

Indien in de toekomst andere bronnen en meer decentrale waterzuivering zal worden toegepast, heeft dit ook consequenties voor de rol van de drinkwaterbedrijven. Er zal mogelijk een andere infrastructuur nodig zijn, en bovendien vereisen kleinschalige systemen een ander type bedrijfsvoering, onderhoud, en controle. Samenwerking met andere stakeholders in de watercyclus is hierbij veel belangrijker dan in de huidige situatie.

Decentrale waterzuivering zal ook maatschappelijke effecten hebben, afhankelijk van het type scenario dat in de toekomst werkelijkheid zal worden. Hierbij kan worden gedacht aan juridische en bestuurlijke veranderingen, veranderende risico's, de rol van burgers in de decentrale winningen en zuiveringen, en de concurrentie met landbouw en natuur. De perceptie van burgers zal hierbij ook een rol spelen in de acceptatie van verschillende waterbronnen.

Het gebruik van alternatieve bronnen kan ook gevolgen hebben voor de omgeving, zoals daling of juist stijging van de grondwaterstand, verzilting, een andere waterstand in lokale oppervlaktewateren, en verandering in de bescherming van de waterkwaliteit (bv. van grondwater). Daarnaast zal een andere inrichting van de ruimtelijke omgeving, inclusief andere infrastructuur nodig kunnen zijn.

Een robuuste drinkwatervoorziening betekent dat alle verschillende belangen zorgvuldig moeten worden afgewogen, en dat hierbij naar watersystemen als geheel gekeken moet worden. Hierbij moeten niet alleen de effecten van humaan watergebruik (zowel drink- als huishoudwater), maar ook effecten op ecosystemen in beschouwing moeten worden genomen, zodat in kaart kan worden gebracht hoe veranderend gebruik van bronnen ingrijpt in het hele watersysteem.

Inhoud

Samenvatting	1
Inhoud	3
1 Inleiding	5
1.1 Inleiding	5
1.2 Scope	5
1.3 Leeswijzer	6
2 Methoden	7
2.1 Overzicht alternatieve bronnen en selectie van shortlist	7
2.2 Eerste invulling scenario's: workshop met serious game	9
2.3 Uitwerking scenario's	11
2.4 Algemene randvoorwaarden kostenberekeningen	11
2.5 Niet in detail uitgewerkte bronnen	12
3 Scenario 1 – Maximale besparing en lokale bronnen	14
3.1 Randvoorwaarden voor scenario 1	14
3.2 Invulling	15
3.3 Kosten voor zuiveringsprocessen	20
3.4 Consequenties	25
3.5 Transitie	26
4 Scenario 2 – Circulaire economie	28
4.1 Randvoorwaarden scenario	28
4.2 Invulling	29
4.3 Kosten voor de zuiveringsprocessen	32
4.4 Consequenties	36
4.5 Transitie	37
5 Scenario 3 – Onder druk	39
5.1 Randvoorwaarden scenario	39
5.2 Invulling	39
5.3 Kostenberekeningen	41
5.4 Consequenties	44
5.5 Transitie	45
6 Discussie	47
6.1 Vergelijking van de scenario's	47
6.2 Discussie: decentrale zuiveringen	49
7 Conclusies	52

8	Referenties	53
Bijlage I		55
•	Serious game	55
Bijlage II		59
•	Kostenberekeningen voor Scenario 1	59
Bijlage III		63
•	Kostenberekeningen voor scenario 2	63
Bijlage IV		66
•	Kostenberekeningen voor scenario 3	66

1 Inleiding

1.1 Inleiding

De drinkwatervoorziening in Nederland maakt als bron vooral gebruik van zoet grond- en oppervlaktewater. Uit deze bronnen wordt na inname of oppompen drinkwater geproduceerd via een centraal ingericht systeem van productielocaties en voorzieningsgebieden. Hoewel in de loop van de tijd variaties zijn ontstaan in de omgang met de bronnen (denk hierbij aan infiltratie en terugwinning en verschillende vormen van oevergrondwaterwinning) is de kern van het systeem onveranderd. Met de ontwikkeling in de zuiveringstechnologie neemt het aantal potentieel te benutten alternatieve bronnen echter toe. Naast technologische ontwikkeling is er een maatschappelijke trend naar verduurzaming, decentralisatie en zelfvoorzienendheid. Het gebruik van alternatieve bronnen, decentralisatie en zelfvoorzienendheid bevinden zich in de drinkwatersector nog in een pril stadium en het klantvertrouwen is hoog. Investerings in de drinkwatersector worden echter gekenmerkt door een lange tijdshorizon. Het is dan ook van belang om op tijd de potentie van deze ontwikkelingen en de gevolgen hiervan voor de drinkwaterbedrijven te onderzoeken.

In dit onderzoek zijn de mogelijkheden en consequenties verkend van het centraal of decentraal overschakelen op andere bronnen van drinkwater. Het gaat hierbij om een breed scala denkbare of nu zelfs nog ondenkbare bronnen o.a. waterstof, hergebruik van effluent, permanente bemalingen, gebruik van regenwater, water als bijproduct (o.a. airco's, koelkast, productie melkpoeder/suiker) of het gebruik van brakwater. De eigenschappen deze alternatieve bronnen zijn uitgebreid beschreven in het achtergronddocument.

In dit rapport wordt het gebruik van de bronnen beschreven in de context van drie toekomstscenario's. Aan de hand van deze toekomstscenario's hebben vertegenwoordigers van waterbedrijven in een *serious game* combinaties van bronnen en zuiveringen ontwikkeld voor de watervoorziening van toekomstige steden en dorpen. Deze zijn vervolgens door onderzoekers van KWR uitgewerkt, waarbij een inschatting is gemaakt van de effectiviteit en de kosten van de systemen en hun impact op de bedrijfsvoering van de waterbedrijven en de samenleving als geheel.

1.2 Scope

In dit onderzoek hebben we ons gericht op bronnen die in redelijke mate aanwezig zijn in Nederland en België. We hebben daarbij ook gekeken naar waterhergebruik, omdat afvalwater een belangrijke potentiële bron is. Besparingen zijn geen expliciet onderdeel van dit onderzoek, maar in het uitwerken van de scenario's is wel uitgegaan van de mogelijkheid om drinkwater te besparen. Hierbij is voor wat betreft de bronnen gekeken naar de beschikbaarheid, winbaarheid, benodigde zuivering en bijbehorende kosten. Voor verschillende scenario's zijn de effecten van het gebruik van dergelijke bronnen voor drinkwaterbedrijven, maatschappij en omgeving onder de loep genomen. Zuiveringen zijn doorgerekend per wijk (80 huizen in een stad), buurt (50 huizen in een dorp), of per twee straten (16 huizen in een dorp).

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de methode uiteengezet die gevolgd is om de scenario's uit te werken en de kostenberekening voor de verschillende systemen te doen. Hoofdstuk 3, 4 en 5 beschrijven de drie scenario's met hun kostenberekening en de consequenties voor de waterbedrijven en de samenleving. In hoofdstuk 6 worden de scenario's vergeleken en wordt gereflecteerd op de resultaten.

2 Methoden

2.1 Overzicht alternatieve bronnen en selectie van shortlist

In het achtergronddocument behorende bij VO Radicaal Nieuwe Bronnen (Stofberg, Bertelkamp et al.) zijn veel mogelijke bronnen van water onderzocht op beschikbaarheid/winbaarheid en kwaliteit. De overzichtstabel waarin de resultaten worden samengevat is weergegeven in Tabel 2-1.

Tabel 2-1 (deze en volgende pagina's). Kwalitatieve samenvatting van het achtergronddocument (Stofberg, Bertelkamp et al.). Voor methoden en gedetailleerde resultaten wordt verwezen naar het betreffende rapport. Kleurcodering: groen: zeer goed, licht groen: goed, geel: middelmatig, oranje: slecht, rood: zeer slecht.

Categorie	Bron	Totaalscore	Potentele beschikbaarheid en/of winbaarheid	Zuiverings-inspanning	Samenvatting
Oppervlaktewater	<u>Zeewater</u>	7	5	2	Zeer grote hoeveelheden beschikbaar langs de kust. Ontzilting duurer en problematischer dan bijvoorbeeld brak grondwater door hoger zoutgehalte en zwevende deeltjes. Ontzilting kost veel energie en levert een reststroom op.
Oppervlaktewater	<u>Brak oppervlaktewater</u>	6	4	2	In grote hoeveelheden beschikbaar, maar volume en locatie hangen af van dynamiek zee en rivierafvoer, daarnaast ook van mogelijke kwaliteitsfluctuaties. Ontzilting kost veel energie en levert reststroom op.
Oppervlaktewater	<u>Zoet oppervlaktewater</u>	9	5	4	In grote hoeveelheden beschikbaar via grote rivieren. Mogelijke inname kan beperkt worden door (antropogene) verontreinigingen waardoor innamestops plaatsvinden. Kwaliteit afhankelijk van debiet rivier, aandeel gezuiverd afvalwater, type rivier (regenwaterrivier of gemengde rivier) en waterstand.
Oppervlaktewater	<u>Ijsbergen</u>	6	1	5	Potentieel grote hoeveelheden beschikbaar, maar winbaarheid is technisch nog niet bewezen. Vermoedelijk niet duurzaam.
Oppervlaktewater	<u>Polderbemalingen</u>	6	4	2	Relatief grote totale hoeveelheid winbaar, maar zeer onregelmatig wegens neerslagpatronen. Kwaliteit is sterk wisselend en in veel gevallen relatief slecht.
Ondergrond	<u>Zout en brak grondwater</u>	8	5	3	In relatief grote hoeveelheden beschikbaar nabij de kust. Ontzilting van brak grondwater is minder problematisch en duur dan van zout grondwater, maar kost energie en levert reststroom op. Mogelijke verzoeting of juist verzilting van het grondwater (afhankelijk van winlocatie en debiet). Ook beluchting van het water is nodig.
Ondergrond	<u>Zoet grondwater</u>	10	5	5	In grote hoeveelheden beschikbaar, vaak van goede kwaliteit, hoewel dit van winlocatie afhangt. Winning kan leiden tot verdroging en/of verzilting (afhankelijk van winlocatie en debiet). Freatisch pakket kan mogelijk organische microverontreinigingen bevatten, diepere lagen zullen minder van deze verontreinigingen bevatten.
Ondergrond	<u>Zoet water van onder zeebodem</u>	6	1	5	Te weinig van bekend om winbaarheid in te schatten, tot op heden niet bereikbaar. Vermoedelijk van goede kwaliteit gezien de ouderdom van het water.
Ondergrond	<u>Bemalingen en drainage</u>	6	wisselend	wisselend	Permanente bemalingen kunnen interessant zijn indien ze voldoende groot zijn en niet te zout grondwater oppompen. Waarschijnlijk slechts enkele van deze bemalingen aanwezig. Drainagewater is niet kansrijk, gezien wisselende beschikbaarheid en vaak slechte kwaliteit.

Categorie	Bron	Totaalscore	Potentiele beschikbaarheid en/of winbaarheid	Zuiverings-inspanning	Samenvatting
Ondergrond	<u>Onverzadigde zone</u>	4	1	3	Weinig en onregelmatig beschikbaar, moeilijk winbaar en sterk concurrerend met ander gebruik. Kwaliteit afhankelijk van locatie, maar in veel gevallen niet goed. Kan vervuild zijn met organische microverontreinigingen, fecaliën, zware metalen, nutriënten, micro-organismen en pathogenen.
Neerslag	<u>Neerslag op verharding</u>	7	3	4	Onregelmatig beschikbaar, afhankelijk van neerslagpatronen. Bevat verschillende verontreinigingen (meer organische microverontreinigingen dan grondwater), maar in relatief lage concentraties. Ook regenwater kan fecaliën, micro-organismen en pathogenen bevatten. Dient wel opgehard te worden.
Atmosfeer	<u>Luchtvochtigheid</u>	7	3	4	Potentieel wellicht grote hoeveelheden winbaar, maar nog niet duidelijk hoeveel energie het kost om deze te winnen. Tijdens koude perioden is de winbare hoeveelheid klein. Kwaliteit vermoedelijk relatief goed. Het gewonnen water bevat geen zouten, mogelijk wel lage concentraties organisch materiaal, microverontreinigingen, evt. pathogenen.
Atmosfeer	<u>Mist</u>	5	1	4	Op weinig momenten beschikbaar. Kwaliteit vermoedelijk relatief goed vergelijkbaar met categorie luchtvochtigheid. In literatuur wordt er gewaarschuwd voor de vorming van algen op mistnetten welke ook weer planten, stof en insecten kunnen invangen.
Atmosfeer	<u>Airconditioning</u>	4	1	3	Weinig beschikbaar per puntbron. Wellicht interessant bij zeer grote systemen of plekken met groot watertekort. Kwaliteit zal vergelijkbaar zijn met categorie luchtvochtigheid. Mogelijk uitloging van metalen in en schoonmaakmiddelen van het apparaat zelf. Wel kan er gemakkelijker besmetting van het water met bacteriën plaatsvinden.
Atmosfeer	<u>Warmtepomp</u>	4	1	3	Zeer weinig beschikbaar per puntbron. Kwaliteit zal vergelijkbaar zijn met categorie mist en luchtvochtigheid., afhankelijk van binnen- of buitenwinning.
Atmosfeer	<u>Koelen en vriezen</u>	3	1	2	Per puntbron zeer weinig beschikbaar. Wellicht interessante hoeveelheden bij zeer grote industriële systemen, met veel luchtaanvoer. Het condensaat kan verontreinigingen uit omgevingslucht bevatten (stofdeeltjes, pathogenen, organische microverontreinigingen) en de koelinstallatie zelf (metalen).
Restwater	<u>RWZI effluent</u>	7	5	2	Aanvoer van zelfde ordegrootte als huishoudelijke drinkwatervraag, kan in groot deel van vraag voorzien. Is in RWZI deels gezuiverd, maar heeft belangrijke aanvullende zuivering nodig wegens o.a. pathogenen en organische microverontreinigingen. Risico: bij verstoring zuivering (bijv. door drugslozing) is er kans op uitspoelen stoffen. Acceptatie is aandachtspunt. Maakt kringloopsluiting mogelijk.
Restwater	<u>Restwater huishoudelijk (lokaal ongezuiverd)</u>	3	2	1	Aanvoer van zelfde ordegrootte als drinkwatervraag op de lokale schaal, maar per puntbron is het aanbod niet heel groot. Kwaliteit slecht en onregelmatig. Scheiding van stromen (grijs/zwart) is mogelijk.
Restwater	<u>Restwater industrie algemeen</u>	6	wisselend	wisselend	Sterk afhankelijk van type industrie. Aanbod kan in potentie groot zijn, hoewel er al veel wordt hergebruikt. Winbaarheid is momenteel groter bij vloeibare reststromen dan bij damp. Kwaliteit is erg afhankelijk van type industrie en reeds aanwezige zuivering. Enkele voorbeelden hieronder.
Restwater	<u>Restwater suikerindustrie</u>	7	4	wisselend	Per fabriek relatief veel restwater, maar wel seizoensafhankelijk beschikbaar. Om deze reden niet volledig hergebruik mogelijk. Slechts enkele fabrieken aanwezig. Kwaliteit kan variëren per stroom (condensaat (hoge pH, vluchtige vetzuren, ammonium en bicarbonaat) versus waswater (stukje biet, grond, wortel) versus water behandeld met AWZI).
Restwater	<u>Restwater melkpoeder</u>	6	3	3	Ruime hoeveelheid beschikbaar water, komt echter vrij in de vorm van damp dus zou gecondenseerd moeten worden voor gebruik. Eventueel reeds plaatsvindend hergebruik is waarschijnlijk (maar niet zeker). Condensaat kan organische stof en ammonium bevatten, maar is daarnaast ook vrij warm (30-40°C).
Restwater	<u>Restwater kaas</u>	7	4	wisselend	Ruime hoeveelheid beschikbaar water. Eventueel reeds plaatsvindend hergebruik is waarschijnlijk (maar niet zeker). Kwaliteit: lagere pH, hoge hoeveelheid organische stof en nutriënten. De kwaliteit van het restwater is afhankelijk van het gebruikte proces voor indikking van de wei. RO behandelt restwater is van relatief goede kwaliteit, kan mogelijk nog wel wat laag moleculaire componenten bevatten.
Restwater	<u>Restwater aardappelverwerking</u>	7	5	2	Ruime hoeveelheid beschikbaar water. Eventueel reeds plaatsvindend hergebruik is waarschijnlijk (maar niet zeker). In het algemeen kan aardappelrestwater de volgende parameters bevatten: deeltjes (zand, silt), hoge gehalten organische stof, nutriënten (stikstof en fosfaat), maar ook micro-organismen (bacteriën).

Categorie	Bron	Totaalscore	Potentiele beschikbaarheid en/of winbaarheid	Zuiverings-inspanning	Samenvatting
Brandstoffen	<u>Fossiele brandstoffen: gebouwen</u>	3	1	2	Weinig beschikbaar per puntbron. Kwaliteit relatief slecht (mogelijk verontreinigingen uit omgevingslucht, organische verbindingen (koolwaterstoffen, aldehyden, PAK's, etc.), stikstofoxiden, zwaveloxiden, fijnstof en zware metalen). Verwacht wordt dat op lange termijn fossiele brandstoffen minder ingezet gaan worden.
Brandstoffen	<u>Fossiele brandstoffen: vervoer en transport</u>	3	1	2	Weinig beschikbaar per puntbron. Kwaliteit relatief slecht (mogelijk verontreinigingen uit omgevingslucht, organische verbindingen (koolwaterstoffen, aldehyden, PAK's, etc.), stikstofoxiden, zwaveloxiden, fijnstof en zware metalen). Verwacht wordt dat op lange termijn fossiele brandstoffen minder ingezet gaan worden.
Brandstoffen	<u>Fossiele brandstoffen: tuinbouw</u>	3	1	2	Niet veel beschikbaar per puntbron. Kwaliteit relatief slecht (zware metalen, lage pH en zuren). Verwacht wordt dat op lange termijn fossiele brandstoffen minder ingezet gaan worden. Hergebruik binnen glastuinbouw zelf ligt meer voor de hand dan eventuele externe inzet.
Brandstoffen	<u>Waterstof: verwarming van huishoudens en gebouwen</u>	5	1	4	Weinig beschikbaar per puntbron. Kwaliteit waarschijnlijk relatief goed, maar opgeloste metalen zijn aandachtspunt. Vereist opharding
Brandstoffen	<u>Waterstof: Industrie</u>	8	4	4	Mogelijk relatief grote hoeveelheden constant beschikbaar, meer onderzoek gewenst. Kwaliteit waarschijnlijk relatief goed, maar opgeloste metalen zijn aandachtspunt. Vereist opharding
Brandstoffen	<u>Waterstof: vervoer en transport</u>	5	1	4	Weinig beschikbaar per puntbron. Kwaliteit waarschijnlijk relatief goed, maar opgeloste metalen zijn aandachtspunt. Vereist opharding

2.2 Eerste invulling scenario's: workshop met serious game

Om een indruk te kunnen krijgen van welke bronnen in een bepaald scenario op een bepaalde locatie bruikbaar zouden kunnen zijn, is een "serious game" ontwikkeld (Khoury, Morley et al. 2016). In de serious game werd aan de deelnemers gevraagd om een aantal scenario's uit te werken voor een fictief gebied. In de game werd dit gebied "Bokkerlo en omstreken" genoemd. Hierin bevinden zich een stad, een dorp en een villawijk.

In de stad Bokkerlo bevinden zich 20.000 woningen met verharde daken, waarvan 50% van het oppervlak is bedekt met zonnepanelen. De trottoirs en straten zijn normaal verhard. Voor de berekening is uitgegaan van in totaal 250 wijken met elk 80 huishoudens. Er is aangenomen dat elke wijk bestaat uit acht straten, met elk tien huishoudens.

Verder is er het ecodorp Twigt, waarin zich 300 woningen bevinden, waarvan de bewoners bewust bezig zijn met het milieu. Dit betekent dat zij zoveel mogelijk hun energie- en waterverbruik proberen te beperken, waardoor per huishouden in dit dorp minder water wordt gebruikt dan in de stad Bokkerlo. De omgeving hier is minimaal verhard. Voor de indeling is uitgegaan van zes buurten, met elk 50 huishoudens. In elke buurt liggen dan 6,25 straten, met elk acht huishoudens.

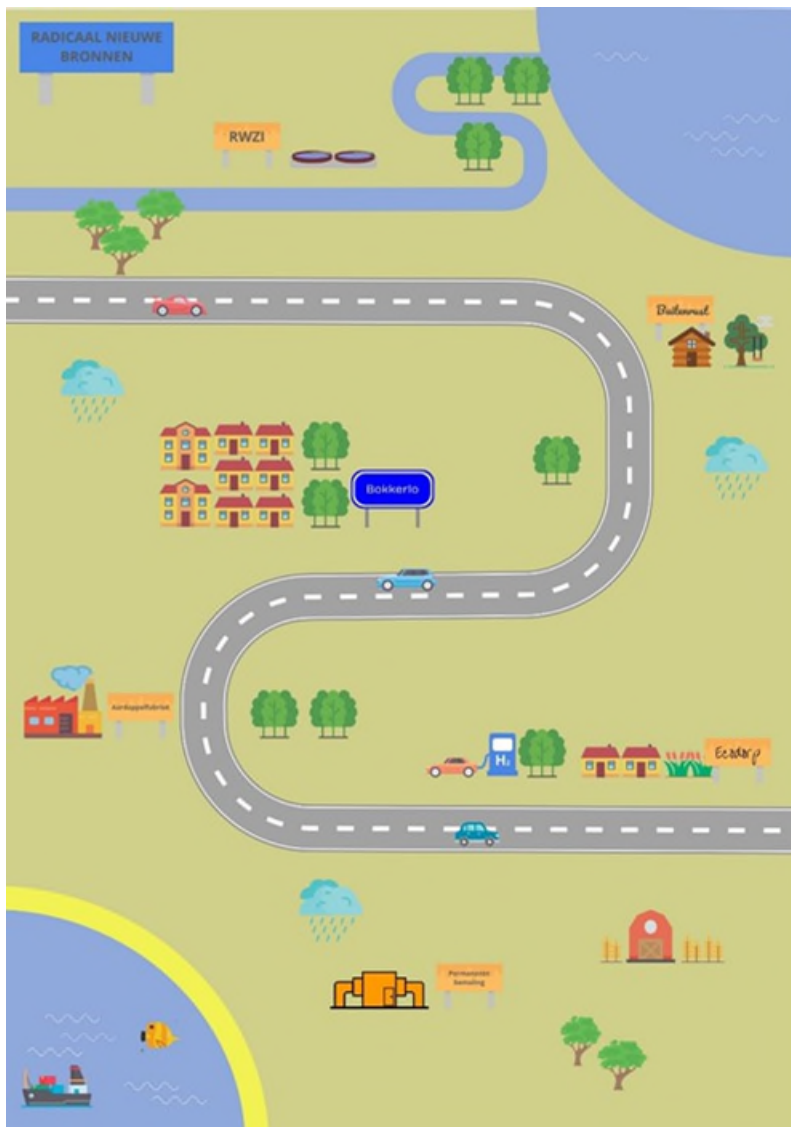
In de buurtschap Buitenrust bevinden zich vijf vrijstaande woningen (villa's), omgeven door landbouwgrond.

Naast bewoning van het gebied is er ook sprake van bedrijvigheid:

- Een waterstoftankstation

- Een RWZI
- Een aardappelfabriek
- Boerderijen
- Permanente bemaling

In de omgeving zijn twee bronnen met zoet water (een meer en een rivier), en één met zout water (de zee). Een schets van de situatie is gegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Situatieschets van Bokkerlo en omstreken

Aan de deelnemers aan de serious game werd gevraagd om voor Bokkerlo en omgeving ideeën te ontwikkelen voor de watervoorziening onder drie verschillende omstandigheden:

- Scenario 1: “Maximaal en lokaal”. Het verwezenlijken van een maximale waterbesparing en gebruik van lokale bronnen

- Scenario 2: “Circulair”. Uitgaan van een circulaire economie, waarbij allerlei vormen van restwater worden gebruikt.
- Scenario 3: “Onder druk”. In dit scenario treden sterke klimaatveranderingen op, wat niet alleen leidt tot problemen met bronnen voor drinkwater, maar ook tot een snelle bevolkingsgroei als gevolg van klimaatimmigratie.

In hoofdstuk 3, 4, en 5 worden deze drie scenario's in meer detail uitgewerkt.

2.3 Uitwerking scenario's

In hoofdstukken 3, 4 en 5 zijn de drie scenario's verder uitgewerkt. Daarbij is eerst een overzicht gemaakt van de beschikbare bronnen in het scenario. Vervolgens is gekeken welke technieken gebruikt kunnen worden voor zuivering, opslag en distributie. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen stedelijk gebied en landelijk gebied. Op basis hiervan is een kostenberekening gemaakt voor de zuivering van de diverse kwaliteiten water. Ten slotte zijn de consequenties van het systeem uitgewerkt: voor het drinkwaterbedrijf, voor de omgeving en voor de maatschappij als geheel. In alle scenario's wordt uitgegaan van het huidige waterverbruik (Tabel 2-2), tenzij anders aangegeven als gevolg van besparing maatregelen.

Tabel 2-2. Drinkwaterverbruik (gebaseerd op verbruiksstatistieken VEWIN uit 2013).

	l/d per persoon	m³/jaar per persoon	m³/jaar per huishouden (2.2 pers)
Douche	51.4	18.8	41.4
Bad	1.8	0.7	1.5
Wastafel	5.2	1.9	4.2
Toiletspoeling	33.8	12.3	27.1
Kleding wassen (hand en machine)	15.7	5.7	12.5
Afwassen (hand en machine)	5.6	2.0	4.4
Voedselbereiding	1	0.4	0.9
Koffie, thee, water drinken	1	0.4	0.9
Overige	3.4	1.2	2.6
TOTAAL	118.9	43.4	95.5

2.4 Algemene randvoorwaarden kostenberekeningen

Om een kostenschatting te maken voor kleinschalige centrale drinkwaterzuiveringen kan gebruik worden gemaakt van de zogenaamde kostenstandaard van RHDHV (DHV Water 2000). In een eerder onderzoek (Hofman-Caris, de Waal et al. 2018) was al gebleken dat voor echt kleinschalige zuiveringen die methode niet geschikt was. Daarom is toen aan de hand van prijsopgaven voor veel kleinschaliger systemen een model gemaakt om de kosten te berekenen. Voor deze ook hier gebruikte methode wordt verwezen naar (Hofman-Caris, Cirkel et al. 2019b). In principe is voor de zuivering telkens uitgegaan van één type bron als belangrijkste leverancier van drinkwater. Bij de kostenberekeningen is uitgegaan van een minimumdebiet waarvoor de berekening geldig is. Dit is ook de reden dat kosten per twee straten zijn uitgerekend en niet per huishouden, omdat anders de modellen te onbetrouwbaar worden.

In alle gevallen zijn twee “hoofdzuiveringen” doorerekend: één gebaseerd op omgekeerde osmose (RO), en één gebaseerd op geavanceerde oxidatie (UV/H₂O₂). Uiteraard zijn ook voor- en nabehandeling in de berekeningen meegenomen. Welke zuiveringstechnologie wordt genomen heeft grote gevolgen voor de hoeveelheid water die via andere bronnen moet worden aangeleverd. Bij RO-processen is de recovery afhankelijk van de schaalgrootte. Voor full-scale drinkwaterproductieprocessen kan een recovery van 80 tot 90% worden gehaald, maar bij kleinschalige processen is die recovery veel kleiner, tot wel 20%. In principe kan de recovery worden verhoogd door recirculatie toe te passen, maar dat zou kunnen leiden tot een veel te hoge temperatuurstijging. Bij een lage recovery is de opbrengst aan drinkwater lager, waardoor meer aanvulling vanuit andere bronnen nodig is. Het feit dat verschillende debieten behandeld moeten worden bij toepassing van verschillende technieken heeft ook gevolgen voor de kosten van de verschillende zuiveringsscenario's. De details van alle scenario's zijn in de verschillende paragrafen weergegeven.

2.5 Niet in detail uitgewerkte bronnen

In het overzicht van mogelijke bronnen in paragraaf 2.1 is ook een aantal bronnen genoemd wat verder niet is doorerekend, omdat het 1) om zulke kleine debieten gaat dat een betrouwbare kosteninschatting niet mogelijk is, en 2) om water gaat waarvan weinig bekend is over de kwaliteit. In deze paragraaf wordt aangegeven wat er wel bekend is over die waterkwaliteit, en welk type zuivering daarbij zou kunnen passen.

2.5.1 Waterstof

In de invulling van de scenario's in paragraaf 2.2 is er sprake van een waterstoftankstation. Bij de verbranding van waterstof komt natuurlijk water vrij, en de verwachting was dat dit vrij schoon water zou zijn. In een ander onderzoek (Roest et al. 2018) is de waterkwaliteit van water uit de uitlaat van een waterstofauto bestudeerd. Hierbij is gekeken naar het water uit de uitlaat van een Hyundai ix35 Fuel Cell terwijl die stil stond en elektriciteit leverde. De waterkwaliteit bleek niet veel af te wijken van die van demiwater, maar de geleidbaarheid was iets hoger. Bovendien waren de concentraties TOC (totaal organisch koolstof) en fluoride hoger. Dat laatste wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het membraan van de brandstofcel. Verder werden ook hogere concentraties natrium, aluminium, kalium, ijzer, mangaan, kobalt, molybdeen, antimoon, thallium, lood en bismut aangetroffen, waarschijnlijk veroorzaakt door de katalysatoren in de brandstofcel.

Het water dat vrijkomt bij de verbranding van waterstof is relatief schoon, maar bevat dus wel wat organisch materiaal en zware metalen. Bovendien is het calciumgehalte eigenlijk te laag, en moet het dus geconditioneerd worden, ook om de pH stabiel te houden. Voor zuivering van dit water tot drinkwater zou lage druk omgekeerde osmose (RO) gevolgd door remineralisatie een geschikt proces kunnen zijn.

2.5.2 Airco's

Een ander proces waarbij water vrijkomt zijn airconditionings apparaten. In de zomerperiode halen deze water uit de lucht, dat in gecondenseerde vorm vrijkomt. Van klimaatbeheersingssystemen is bekend dat er vaak bacteriën in kunnen groeien, zeker als de apparatuur niet goed onderhouden wordt. Dit condenswater bevat dan ook zeer waarschijnlijk microbiologische verontreinigingen. Dit betekent dat minstens een effectieve desinfectie moet worden toegepast. Over mogelijk andere verontreinigingen is niets bekend, maar het lijkt onwaarschijnlijk dat hier een uitgebreide zuivering voor nodig zou zijn. Wel is duidelijk dat het over kleine volumes gaat, waardoor een zuivering per gebouw relatief duur zou worden. Dit probleem kan worden opgelost

door condenswater van airconditioners te verzamelen en centraal te behandelen, maar dat vergt de aanleg van een leidingstelsel, waardoor ook deze oplossing erg duur en onpraktisch wordt. Een ander nadeel van het gebruik van dit condenswater is dat airconditioners in de zomer weliswaar water uit de lucht verwijderen, maar er in de winter, als de lucht heel droog is, juist weer water aan toevoegen. Deze bron is daarmee niet efficiënt voor de productie van drink- of huishoudwater.

2.5.3 Zwart water

De behandeling van zwart water kan niet plaatsvinden met behulp van de fysisch-chemische technieken die voor de zuivering van drink- of huishoudwater zijn beschreven in dit rapport. Hiervoor zou eigenlijk het beste een biologische zuivering kunnen worden toegepast (gevolgd door de eerder genoemde fysisch-chemische technieken). In een STOWA-onderzoek in Sneek (Wit, Graaf et al. 2018) is ook onderzoek gedaan naar lokale zuivering van zwart en grijs water voor een wijk met 232 woningen. In eerste instantie zijn 62 woningen daadwerkelijk aangesloten op de zuivering die werd onderzocht. Er werd gebruik gemaakt van vacuümtoiletten. Het zwarte water werd samen met groente- en fruitafval anaeroob vergist tot biogas met behulp van een Upflow Anaerobic Sludge Bed reactor (UASB). Ammonium en nitriet werden omgezet in stikstofgas, en door magnesium toe te voegen kon uit fosfaat struviet worden gevormd, dat als kunstmest kan fungeren. Doordat slechts 79 mensen meededen met een pilot die was ontworpen voor 1200 kwamen de kosten voor waterzuivering neer op €1.615 per persoon per jaar. Dit heeft echter niet alleen betrekking op de zuivering van zwart water, maar ook op die van grijs water. Indien de installaties voor 90% belast zouden zijn (dus bij deelname van 1.080 inwoners) zouden de zuiveringskosten dalen naar €120 per persoon per jaar. De kosten voor inzameling en aanpassingen voor woningen blijven hierbij gelijk, waardoor de totale kosten, na aftrek van besparingen op energie, drinkwater en GF afvoer, neerkomen op ongeveer €400 per persoon per jaar.

3 Scenario 1 – Maximale besparing en lokale bronnen

3.1 Randvoorwaarden voor scenario 1

In dit scenario draait alles om het bereiken van een maximale waterbesparing, daarbij gebruik makend van lokale bronnen.

De vijf extreem droge zomers van 2018 tot 2023 hebben de publieke opinie rond water gekanteld. Besparen is hip & happening. Met sensoren en apps kunnen mensen hun waterverbruik real time volgen en via social media vergelijken met hun vrienden. Tegelijkertijd zoeken mensen naar manieren om zelf iets te doen in de watervoorziening, bijvoorbeeld aanleg van vacuümtoiletten. Waterschappen en drinkwaterbedrijven proberen dit te faciliteren door lokale oplossingen aan te bieden. De watervraag neemt in de stad af van 119 l/dag per persoon naar 87.6 l/dag per persoon (32 m³/jaar per persoon) door het gebruik van vacuümtoiletten (waterverbruik toiletspoeling is dan 20% van huidige schatting) en een algemene waterbesparing van 5%. Grijs water kan voor een deel in deze vraag voorzien, door voor toiletspoeling en kleding wassen huishoudwater te gebruiken. Daarom bestaat de watervraag in de stad uit 66 l/d per persoon voor drinkwater en 21.6 l/d per persoon voor huishoudwater. In het landelijk gebied wordt meer water bespaard (20%), omdat de inwoners van het ecodorp graag bewust willen leven, en zo min mogelijk water en energie willen gebruiken. Ook hier is de overstap gemaakt naar vacuümtoiletten. De totale watervraag daalt hierdoor naar 74.8 l/dag per persoon (27.3 m³/jaar per persoon). Dit is opgesplitst in 55.5 l/d per persoon voor drinkwater en 19.3 l/d per persoon voor huishoudwater.



Figuur 2: Overzicht van de invulling van scenario 1 ("Maximale waterbesparing en gebruik van lokale bronnen")

3.2 Invulling

Binnen dit scenario is ingezet op het gebruik van lokale bronnen voor de drinkwatervoorziening, zoals neerslag of lokaal beschikbaar grond- of oppervlaktewater. Daarnaast wordt grijs water apart opgevangen en gezuiverd op lokale schaal om hergebruik als huishoudwater mogelijk te maken. Ook de zuivering van afvalwater gebeurt op een lokale schaal, waardoor centrale RWZI's niet meer nodig

zijn. Dit wil overigens niet zeggen dat een toepassing van een centrale RWZI voor de verwerking van zwart water niet mogelijk is.

3.2.1 Bronnen

De bronnen voor drinkwater en huishoudwater zijn verschillend in het stedelijk gebied en het landelijke gebied.

3.2.1.1 Stedelijk gebied

Beschikbaar water voor productie van drinkwater in de stad:

- Neerslag (dak): 23 m³/jaar per gemiddeld dak (60 m²), uitgaande van 2.2 personen per woning 10.4 m³/jaar per persoon
- Neerslag (verharding): gemiddeld 685 mm/jaar, uitgaande van een verhard oppervlak per woning (straat, trottoir, tuinverharding) dat overeenkomt met 25% van het dakoppervlak geeft dit 2.61 m³/jaar per persoon
- Waterstof: levering waterstof via het gasnet 3.3 m³/jaar per huishouden
- Ondiep zoet grondwater: de resterende vraag naar drinkwater wordt opgevangen met grondwater, dat in het binnenland beschikbaar is. In de kustgebieden is er echter sprake van verzilting, waardoor zoet grondwater daar niet beschikbaar is.

Om te voldoen aan de vraag naar huishoudwater wordt grijs water binnen het huishouden hergebruikt:

- Aanbod grijs water: 22.2 m³/jaar per persoon, hiervoor is aangenomen dat water van douche, bad, wastafel en afwassen kan worden opgevangen als grijs water. Na een lichte zuivering wordt dit water als huishoudwater ingezet voor bv. toiletspoeling en wasmachine.

3.2.1.2 Landelijk gebied

Beschikbaar water voor productie van drinkwater in het landelijk gebied:

- Neerslag (dak): 38 m³/jaar per dak van 100 m², uitgaande van 2.2 personen per woning 17.3 m³/jaar per persoon
- Oppervlaktewater (indien lokaal aanwezig): resterende vraag naar drinkwater wordt opgevangen met oppervlaktewater of;
- Permanente bemalingen (indien lokaal aanwezig). In Nederland zijn er enkele kleinere en één grote permanente bemaling bekend, in de orde grootte van 0.3-9 Mm³/jaar (Stofberg, Bertelkamp et al.).

Beschikbaar water voor hergebruik als huishoudwater:

- Aanbod grijs water: 18.7 m³/jaar per persoon

3.2.1.3 Overzicht vraag en aanbod

Een compleet overzicht van het totale aanbod van water en de watervraag in scenario 1, voor zowel de stad als het dorp, is gegeven in Tabel 3.

Tabel 3: Overzicht watervraag en -aanbod (m³/jaar) in stad en dorp voor scenario 1

Stedelijk gebied (20 000 woningen)		Drinkwater	Huishoudwater
Totale vraag		1 058 836	348 339
Aanbod	Neerslag dak+verharding	575 000	-
	Waterstof verbranding	66 000	-
	ondiep zoet grondwater	417 836	-
	Grijs water huishoudelijke bron	-	978 078
Landelijk gebied (300 woningen)			
Totale vraag		13 384	4 657
Aanbod	Neerslag dak	11 400	-
	Oppervlaktewater	1 984	-
	Grijs water huishoudelijke bron	-	12 355

3.2.2 Zuivering, opslag en distributie

Kostenfuncties voor de zuivering zijn gebaseerd op minimale debieten, en zijn niet betrouwbaar te extrapoleren naar kleinere debieten. Deze minimale debieten hangen af van de beschikbare apparatuur voor de gewenste zuivering. De keuze voor het zuiveren op wijkniveau bij berekeningen in dit rapport is noodzakelijk om aan de minimale debieten te voldoen en zo een realistische schatting van de kosten te kunnen geven. We houden hierbij geen rekening met technologische vooruitgang in zuiveringstechnieken, die het eventueel mogelijk zouden maken om per huishouden water te zuiveren. Dit betekent dat er bij de kleinste zuivering is uitgegaan van een debiet van minstens 360 m³/jaar. In scenario 1 betekent dit dat voor het dorp berekeningen zijn uitgevoerd voor twee straten (met in totaal 16 huizen), maar dat voor de beide andere scenario's dat per buurt (met ca. 50 huizen) is gebeurd.

Stedelijk gebied

- Regenwater wordt gezuiverd op wijkniveau (één zuivering per 80 huizen).
- Grondwater wordt gezuiverd op stadsniveau om de hoeveelheid drinkwater, gemaakt uit regenwater, aan te vullen.
- Waterstof wordt per wijk gezuiverd. Vanwege de kleine beschikbare hoeveelheden kunnen er geen kosten berekend worden voor zuivering per huishouden. Indien wel gekozen zou worden voor deze optie, moet rekening worden gehouden met de kwaliteit van het opgevangen water. Dit kan namelijk zware metalen en polymeren (afkomstig van het membraan) bevatten, waar in de zuivering rekening mee gehouden moet worden, zie ook paragraaf 2.5.1.
- Grijs water wordt gezuiverd op wijkniveau (één zuivering per 80 huizen).

Landelijk gebied:

- Regenwater wordt gezuiverd op buurtniveau (per 2 straten, één zuivering per ±16 huizen).
- Oppervlaktewater wordt gezuiverd op dorpsniveau, om de hoeveelheid drinkwater uit regenwater aan te vullen.

- Grijs water wordt gezuiverd op wijkniveau (per 2 straten, één zuivering per ±16 huizen).

Voor de stad wordt regenwater van zowel dak als verhard oppervlak genomen, voor het dorp alleen van daken, omdat hier minder verhard oppervlak aanwezig is. Aangezien de hoeveelheid beschikbaar regenwater onvoldoende is om de hele vraag naar drinkwater te dekken, wordt daarnaast ook gebruik gemaakt van centraal gezuiverd grondwater in de stad, en oppervlaktewater voor het dorp.

Alle systemen worden zelfvoorzienend op stad- of dorpsniveau, er is geen centrale RWZI. Dit betekent dat het zwarte water en overschot aan grijs water ook lokaal gezuiverd zou moeten worden. Overigens is het ook denkbaar dat er wel ergens een centrale RWZI komt, om het zwarte water van meerdere dorpen en of de stad te verwerken. We richten ons hier echter op de kosten om aan de vraag naar water te voldoen en laten daarom de berekeningen voor het behandelen van afvalwater buiten beschouwing.

3.2.2.1 Zuivering in stedelijk gebied

Voor de zuivering van opgevangen neerslag tot drinkwater is in principe uitgegaan van twee hoofdzuiveringen: omgekeerde osmose (RO) en geavanceerde oxidatie (UV/H₂O₂). Er is uitgegaan van neerslag die wordt opgevangen op zowel daken als ander verhard oppervlak (wegen, trottoirs, parkeerplaatsen e.d.), waardoor een goede zuivering zeker nodig zal zijn. Hoewel neerslag in principe een relatief schone bron is, is toch gekozen voor een robuuste zuivering. De reden hiervoor is dat de afstand tussen zuivering en klant klein is, en gezuiverd water dus al snel wordt geconsumeerd. Aangezien er nog geen online sensoren beschikbaar zijn om de waterkwaliteit te controleren, zullen analyses moeten worden uitgevoerd. Het kost echter minstens een dag voordat de resultaten daarvan bekend worden, en dan is het water al aan de klanten geleverd. Om de risico's zo klein mogelijk te maken, is dus gekozen voor een robuuste zuivering, zodat de kans op veilig drinkwater zo groot mogelijk is. Daarom is ook in alle gevallen een dubbele desinfectiestap opgenomen in het proces.

Ook voor de zuivering van grondwater is gebruik gemaakt van dezelfde technieken.

Indien wordt uitgegaan van RO-processen, moet rekening worden gehouden met de recovery van het proces. Voor grootschalige RO-processen kan een recovery van 80-90% worden behaald, maar naarmate de schaal kleiner wordt, neemt de recovery af. Voor een schaal als in scenario 1 stad is uitgegaan van een recovery van 40%. Dit heeft zijn weerslag op de hoeveelheid drinkwater die uiteindelijk geproduceerd kan worden, en daardoor ook op de hoeveelheid drinkwater die aanvullend uit grondwater moet worden gemaakt. Omdat de te zuiveren debieten verschillend zijn, zijn ook verschillende kostenfuncties gebruikt voor de berekening van de kosten.

Voor het regenwaterproces is uitgegaan van een stalen buffertank om het water in op te vangen. Vuil wordt verwijderd met behulp van een 25 µm zakfilter, gevolgd door een 5 µm filterkaas. Het eerste filter verwijdert vooral takjes, blaadjes en insecten, het tweede zwevende stof. Hierna wordt een RO-proces, met een recovery van 40%, toegepast. Vervolgens vindt remineralisatie en pH-correctie plaats. Ten slotte wordt het water nog een keer met behulp van UV-straling gedesinfecteerd.

Bij een alternatieve zuivering van regenwater op basis van AOP wordt na het 25 µm zakfilter ultrafiltratie toegepast. Het doel hiervan is een eerste desinfectie te bewerkstelligen, de troebelheid te verlagen, en de transmissie van het water te verhogen. Door die lagere troebelheid en hogere transmissie wordt het erop volgende

UV/H₂O₂-proces effectiever, en daalt het energieverbruik hiervan significant. Vervolgens worden de overmaat H₂O₂ en eventueel aanwezige bij- en transformatieproducten verwijderd met behulp van filtratie over granulaire actieve kool (contacttijd 40 min., om naast H₂O₂ ook bijproducten en bv. AOC te kunnen verwijderen). Aangezien er biologie op de kool groeit, die overigens ook voor biodegradatie zorgt, kunnen er micro-organismen in het effluent van de kool terechtkomen. Voor de zekerheid wordt daarom nog een UV-desinfectiestap nageschakeld.

Voor de zuivering van grondwater is uitgegaan van een lage druk RO-proces, gevolgd door remineralisatie en pH-correctie, filtratie over actieve kool en een nageschakelde UV-desinfectie. De actieve kool is erin gezet omdat het hier ondiep grondwater betreft. Daar kunnen verontreinigingen als gewasbeschermingsmiddelen en resten van medicijnen met een laag moleculair gewicht doordringen, die mogelijk niet door het membraan worden tegengehouden. De verblijftijd in dit AKF-filter is kort (ongeveer 5 minuten), omdat er nauwelijks competitie is met grote moleculen die macroporiën kunnen verstoppen. Een alternatieve behandeling is beluchting/ontgassing, filtratie over zelfreinigende zeeffilters, ultrafiltratie en UV/H₂O₂. Net als bij regenwater worden hierna AKF en UV-desinfectie toegepast. Door UF toe te passen worden de troebelheid en transmissie van het water voor het UV/H₂O₂-proces verbeterd. Vanwege de bodemfiltratie is een extra desinfectiestap hier niet noodzakelijk.

Het grijze water wordt tot huishoudwater gezuiverd, door gebruik te maken van een vast vuil afscheider, een wasbaar zakfilter (500 µm) en een 25 µm zakfilter (om deeltjes te verwijderen), UF en UV-desinfectie. Hierdoor is het water nog niet geschikt als drinkwater, maar wel veilig als huishoudwater te gebruiken, omdat het wel gedesinfecteerd is.

3.2.2.2 Zuivering in landelijk gebied

Ook hier is uitgegaan van een robuust proces, gebaseerd op ofwel RO ofwel UV/H₂O₂, om de kans op gezondheidsproblemen zo klein mogelijk te maken. Als eerste bron is hier regenwater, opgevangen van daken, gebruikt.

Bij het RO-proces voor regenwater wordt het water in een buffertank opgevangen, en vervolgens met behulp van een 25 µm zakfilter en een 5µm filterkaars gefiltreerd. De recovery van de RO-installatie is bij deze kleine schaal slechts 20%. Na RO vindt conditionering plaats (remineralisatie en pH-correctie), en uiteindelijk is een UV-desinfectie stap toegepast.

Indien het regenwater wordt behandeld via een UV/H₂O₂ proces, wordt na het 25 µm zakfilter UF toegepast voor desinfectie. Vervolgens wordt H₂O₂ toegevoegd en het water door een UV-reactor geleid. Hierna worden de overmaat H₂O₂ en het gevormde AOC en eventuele transformatie- of bijproducten met behulp van filtratie over actieve kool verwijderd (contacttijd 40 min.). Daarna vindt remineralisatie en pH-correctie plaats, en tenslotte wordt nog een UV-desinfectie toegepast om eventuele micro-organismen, afkomstig uit de actieve kool of het marmerfilter (van de remineralisatie), te inactiveren.

De hoeveelheid drinkwater die kan worden gemaakt uit regenwater hangt niet alleen af van de hoeveelheid regenwater die kan worden opgevangen, maar ook van de zuiveringstechniek die wordt toegepast. Bij toepassing van AOP wordt vrijwel alle influent gezuiverd, maar bij toepassing van RO is het rendement veel lager. In dit geval zelfs maar 20%, wat betekent dat 80% "verloren" gaat. Dit heeft dus ook gevolgen voor de hoeveelheid grondwater die moet worden gebruikt om de hoeveelheid drinkwater aan te vullen, en daarmee voor kosten van de technieken die daarmee gemoeid zijn.

Voor het RO-proces op grondwater is uitgegaan van een uitwasbaar zakfilter (om bijvoorbeeld algen en vissen tegen te houden), gevolgd door een 25 µm zakfilter en UF. Het 25 µm zakfilter heeft tot doel bij opwerveling van de bodem modder en pieken van verontreinigingen en deeltjes weg te vangen, voordat ze op het membraan terechtkomen. Hierna volgt RO met een recovery van 40%, remineralisatie en pH-correctie, filtratie over actieve kool (5 min.) om eventuele verontreinigingen uit het grondwater, die wel het RO-membraan kunnen passeren, te verwijderen, en ten slotte UV-desinfectie.

Voor het AOP is uitgegaan van een voorbehandeling via een uitwasbaar zakfilter, een 25 µm zakfilter, UF (voor desinfectie), UV/H₂O₂, filtratie over actieve kool (40 min. om naast H₂O₂ ook transformatie-producten te verwijderen), en UV-desinfectie.

3.3 Kosten voor zuiveringsprocessen

In dit scenario is zoveel mogelijk uitgegaan van decentrale processen. De behandeling van zwart water moet uiteraard wel ergens plaatsvinden, maar is in deze kostenberekeningen niet meegenomen. De behandeling van zwart water kan niet plaatsvinden met de fysisch/chemische technieken die in de kostenberekeningen voorkomen; hiervoor zou een biologische zuivering effectiever zijn. Helaas beschikken we niet over modellen om een dergelijke kleinschalige zuivering te kunnen doorrekenen, zie ook paragraaf 2.5.3. Overigens moet hierbij worden aangetekend dat het eventueel ook mogelijk is voor de behandeling van zwart water een meer centraal systeem in te richten.

In eerste instantie is zowel voor de stad als voor het dorp als waterbron uitgegaan van opvangen hemelwater. Voor de stad is een zuivering uitgerekend per wijk, voor het dorp voor twee straten. Dit heeft te maken met het kleinste debiet waarvoor de kostenberekeningen nog betrouwbaar kunnen worden uitgevoerd. Daarom is een berekening voor een zuivering per huishouden niet goed uit te voeren.

De hoeveelheden regenwater, die kunnen worden opgevangen, zijn onvoldoende om de vraag naar water te dekken. Daarom is ook telkens uitgegaan van een tweede bron. Bij de berekeningen is voor de stad uitgegaan van een zuivering van opgevangen hemelwater van daken en verhard oppervlak tot drinkwater, aangevuld met drinkwater gemaakt uit ondiep grondwater. Dit betekent dat dus telkens twee typen zuiveringen gecombineerd moeten worden. Voor het dorp is eveneens uitgegaan van opgevangen hemelwater van daken (niet van ander verhard oppervlak), maar is de aanvulling gebaseerd op drinkwater gemaakt van oppervlaktewater. Verder wordt in beide gevallen het grijze afvalwater opgevangen en "licht" gezuiverd, zodat het als huishoudwater kan worden ingezet.

Een overzicht van alle zuiveringen die zijn doorgerekend, is gegeven in Tabel 20 en Tabel 21 in Bijlage II. De kosten zijn berekend over een afschrijvingstermijn van tien jaar. Er zijn diverse zuiveringsprocessen doorgerekend, waarbij telkens werd uitgegaan van een bepaalde bron, een bepaald debiet en een bepaalde zuivering. Voor de productie van drinkwater is hierbij uitgegaan van ofwel omgekeerde osmose (RO), ofwel geavanceerde oxidatie (AOP, in dit geval UV/H₂O₂), uiteraard in combinatie met een voor- en nabehandeling, zoals zandfiltratie en conditionering. Voor grijs waterbehandeling is een eenvoudiger zuiveringsschema meegenomen in de berekeningen. Kosten voor gebouwen, leidingnetten en analyses zijn niet meegenomen in de berekeningen. Op het ogenblik laten drinkwaterbedrijven heel regelmatig analyses uitvoeren van het water in hun bronnen, na behandeling (rein water) en aan de tap. De kosten hiervan bedragen enkele tienduizenden euro's per jaar. Dit vormt een serieuze barrière voor toepassing van kleinschalige zuiveringen, die dan ook alleen een realistisch scenario vormen als hier een alternatief voor wordt ontwikkeld. Te denken

valt hierbij aan online sensing. Mogelijke behandelingen voor het concentraat dat vrijkomt bij toepassing van RO zijn evenmin in het overzicht opgenomen, en ook niet doorgerekend. Een samenvatting van de doorgerekende schema's is gegeven in Tabel 4.

Tabel 4: Zuiveringsschema's voor scenario 1

Schema	Plaats	Type water	Debiet (m ³ /jaar)	Type zuivering	product
1a	stad	regenwater	575.000	RO	Drinkwater
1b	stad	regenwater	575.000	AOP	Drinkwater
1c	stad	grondwater	1.036.045	RO	Drinkwater
1d	stad	grondwater	604.795	RO	Drinkwater
1e	stad	grondwater	828.836	AOP	Drinkwater
1f	stad	grondwater	483.836	AOP	Drinkwater
1g	stad	grijs water	978.078	Filtratie + UV	huishoudwater
1h	dorp	regenwater	11.400	RO	Drinkwater
1i	dorp	regenwater	11.400	AOP	Drinkwater
1j	dorp	grondwater	27.760	RO	Drinkwater
1k	dorp	grondwater	4.960	RO	Drinkwater
1l	dorp	grondwater	11.104	AOP	Drinkwater
1m	dorp	grondwater	1.984	AOP	Drinkwater
1n	dorp	grijs water	12.355	Filtratie + UV	huishoudwater

3.3.1 Kostenberekening voor de stad

In Tabel 5 zijn de kosten weergegeven voor de verschillende mogelijke combinaties, in totaal en per huishouden of per persoon per jaar. De combinaties die zijn uitgewerkt zijn zuivering van regenwater met RO (scenario 1a), gecombineerd met zuivering van grondwater met ofwel RO (1c) ofwel AOP (1e). Bij zuivering van regenwater met AOP (scenario 1b) wordt ook een combinatie gemaakt met zuivering van grondwater via RO (1d) of AOP (1f). De kosten voor regenwaterzuivering en de behandeling van grijs water zijn per wijk berekend, de kosten voor grondwaterbehandeling zijn berekend voor een centrale zuivering. Een gedetailleerde beschrijving van de verschillende scenario's is gegeven in Bijlage II.

Tabel 5: Kostenoverzicht voor zuivering in de stad in scenario 1

Scenario's	Beschrijving	Tot. Kosten over 10 jaar (10 ⁶ €)	Kosten per huishouden per jaar (€)	Kosten per persoon per jaar (€)
1a + 1c	Drinkwater uit Regenwater RO en Grondwater RO	89,8	449	204
1a + 1e	Drinkwater uit Regenwater RO en Grondwater AOP	102,7	513	233
1b + 1d	Drinkwater uit Regenwater AOP en Grondwater RO	46,3	232	105

1b + 1f	Drinkwater uit Regenwater AOP en Grondwater AOP	53,8	269	122
1g	Huishoudwater uit Grijs water	101,7	508	231

De kosten voor huishoudwater moeten worden opgeteld bij de kosten voor drinkwater om de totale kosten per persoon of huishouden te kunnen bepalen. De relatief hoge kosten voor grijs waterbehandeling worden veroorzaakt door het kleinschalige proces. Bij drinkwater wordt een deel nog altijd via centrale zuivering geproduceerd, waardoor de totale kosten voor drinkwater lager zijn.

3.3.2 Kostenberekening voor het dorp

Ook hier is voor de productie van drinkwater in principe uitgegaan van zoveel mogelijk gebruik van regenwater, wat via RO (scenario 1h) of AOP (1i) gezuiverd wordt. Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor een behandeling per twee straten. Daarnaast wordt gebruik gemaakt van centraal gezuiverd grondwater, waarbij ook weer is uitgegaan van RO (scenario's 1j en 1k), of AOP (1l en 1m). De behandeling van grijs water (scenario 1n) vindt in deze scenario's ook plaats per twee straten.

De kosten zijn weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6: Kostenoverzicht voor zuivering in het dorp in scenario 1

Scenario's	Beschrijving	Tot. Kosten over 10 jaar (10 ⁶ €)	Kosten per huishouden per jaar (€)	Kosten per persoon per jaar (€)
1h + 1j	Drinkwater uit Regenwater RO en Grondwater RO	3,4	1119	509
1h + 1l	Drinkwater uit Regenwater RO en Grondwater AOP	3,1	1050	477
1i + 1k	Drinkwater uit Regenwater AOP en Grondwater RO	4,1	1371	623
1i + 1m	Drinkwater uit Regenwater AOP en Grondwater AOP	4,1	1365	620
1n	Huishoudwater uit Grijs water	1,9	619	281

Vanwege de kleinere schaal zijn de inwoners van het dorp over het algemeen duurder uit dan de stadsbewoners.

3.3.3 Evaluatie van kosten voor verschillende zuiveringsschema's in scenario 1

In voorgaande paragrafen is een overzicht gegeven van de verschillende bronnen en bijbehorende zuiveringen die in dit scenario mogelijk zijn, en de kosten die daarmee gepaard gaan. Een keuze voor een bepaalde uitwerking van dit scenario kan worden gemaakt op basis van deze kosten, maar er kunnen ook andere criteria worden gehanteerd. Voorbeelden hiervan zijn de grootte van de reststroom, die ontstaat en behandeld en/of geloosd moet worden, of het ruimtebeslag van een zuiveringsinstallatie. In deze paragraaf wordt hier een overzicht van gegeven.

Voor de evaluatie van de kosten is uitgegaan van de kosten per huishouden of per persoon per jaar, omdat dit gegevens zijn die voor de inwoners van belang zijn. Wel is in Tabel 5 en Tabel 6 apart aangegeven hoeveel kosten er gemaakt moeten worden voor drinkwater en huishoudwater. Er is hier niet gekozen voor een prijs per m³ water, omdat de hoeveelheden drinkwater en huishoudwater nogal verschillen, en dit dus een vertekend beeld kan opleveren voor de inwoners. De onzekerheid in de kostenberekeningen wordt geschat op ongeveer 30%, wat overeenkomt met de betrouwbaarheid in de kostenstandaard van RHDHV (Water, 2000). Om een indruk te verkrijgen van de variatie die optreedt door toepassing van verschillende zuiveringstechnieken is in Tabel 7 een overzicht gegeven van alle opties.

Tabel 7: Totale jaarlijkse kosten (€) voor een huishouden of persoon bij toepassing van verschillende zuiveringstechnieken. Het scenario met de kleinste reststroom is cursief weergegeven.

Plaats	Scenario	Beschrijving	huishouden	persoon
stad	1a+1c+1g	Drinkwater uit Regenwater RO en Grondwater RO; huishoudwater uit grijs water	957	435
	1a+1e+1g	Drinkwater uit Regenwater RO en Grondwater AOP; huishoudwater uit grijs water	1021	464
	1b+1d+1g	Drinkwater uit Regenwater AOP en Grondwater RO; huishoudwater uit grijs water	739	336
	<i>1b+1f+1g</i>	<i>Drinkwater uit Regenwater AOP en Grondwater AOP; huishoudwater uit grijs water</i>	<i>777</i>	<i>353</i>
dorp	1h+1j+1n	Drinkwater uit Regenwater RO en Grondwater RO; huishoudwater uit grijs water	1738	790
	1h+1l+1n	Drinkwater uit Regenwater RO en Grondwater AOP; huishoudwater uit grijs water	1669	758
	1i+1k+1n	Drinkwater uit Regenwater AOP en Grondwater RO;	1990	904

	<i>1i+1m+1n</i>	huishoudwater uit grijs water <i>Drinkwater uit Regenwater AOP en Grondwater AOP; huishoudwater uit grijs water</i>	1983	901
--	-----------------	--	------	-----

Overigens komen er in de op RO-gebaseerde zuiveringsschema's in de praktijk nog kosten bij voor het behandelen en/of lozen van het concentraat. Deze kosten zijn in bovenstaande overzichten niet meegenomen.

Uit de resultaten samengevat in Tabel 7 is op te maken dat de inwoners van het dorp ongeveer twee keer zo duur uit zijn als de stedelingen. Dit heeft te maken met de kleinere schaal van de waterzuivering in het dorp, waardoor die per m³ geleverd water duurder is. Dit geldt vooral voor de drinkwaterproductie: de zuivering van grijs water tot huishoudwater is in het dorp wel iets duurder dan in de stad (€281 per persoon per jaar in plaats van €231 per persoon per jaar), maar niet twee keer zo duur. Voor de stad kan worden geconcludeerd dat de kosten voor het totale waterverbruik variëren tussen 330 en 470 euro per persoon per jaar. Voor het dorp is dat tussen 750 en 910 euro per jaar.

Overigens moet in dit scenario nog rekening gehouden worden met de benodigde behandeling van zwart water. Op basis van de gegevens in paragraaf 2.5.3, en het feit dat in dit scenario al ongeveer €250 euro per persoon per jaar wordt gerekend voor de behandeling van grijs water, kan worden aangenomen dat de netto kosten voor de behandeling van zwart water in de ordegrootte van ongeveer €150 per persoon per jaar uitkomen.

Indien wordt gekeken naar de situatie waarin de kleinste reststroom ontstaat, dan is het gunstigste scenario het in Tabel 7 cursief weergegeven scenario. In Tabel 8 zijn enkele karakteristieke parameters van dit scenario weergegeven.

Tabel 8: karakteristieken van zuiveringen met de kleinste reststroom in scenario 1.

Plaats	scenario	Afvalstroom drinkwaterproductie	ruimtebeslag	Personeels- en onderhoudskosten t.o.v. totale investering
Stad	<i>1b+1f+1g</i>	<5% ^{*)}	Centraal + per wijk	6-8%
dorp	<i>1i+1m+1n</i>	<5% ^{*)}	Centraal + per straat of straten	10-12%

*)Ten opzichte van totale waterinname

Aangezien in alle processen bij zowel de stad als het dorp van geavanceerde oxidatie wordt uitgegaan, is de reststroom erg klein. De personeels- en onderhoudskosten worden hoger per m³ geproduceerd water naarmate de productieschaal afneemt, wat ook te zien is in Tabel 8 bij vergelijking van de kosten in het dorp en in de stad. Verder nemen meerdere kleinschalige zuiveringen meer ruimte in dan één grotere zuivering,

waardoor het ruimtebeslag in het dorp, waar de zuivering is geregeld per twee straten, groter is dan in de stad.

3.4 Consequenties

3.4.1 Voor de drinkwatersector

Dit scenario heeft vergaande consequenties voor de drinkwatersector. Niet alleen wordt er gebruikt gemaakt van andere bronnen, ook de zuivering en distributie worden op een heel andere manier ingericht.

Als dit scenario werkelijkheid wordt, zal gaandeweg afscheid worden genomen van de centrale drinkwaterinfrastructuur. De distributienetten kunnen wellicht nog gebruikt worden, maar alle infrastructuur rondom grote zuiveringen, transportleidingen en brongebieden zal overbodig worden.

Het vervangen van grote centrale zuiveringen voor kleine decentrale zuiveringen vereist een radicaal andere bedrijfsvoering, andere kennis en andere processen van de drinkwaterbedrijven. Vooral de inspanningen op het gebied van onderhoud, kwaliteitscontrole en bouw/vervangingen zullen sterk toenemen. Het is daarbij bijvoorbeeld de vraag of de huidige manier van kwaliteitscontrole nog wel vol te houden is.

De drinkwaterinfrastructuur raakt op lokale schaal sterk verweven met de afvalwater- en energie-infrastructuur en met het watersysteem en de ruimtelijke inrichting. De rol van sensing en (intelligente) digitale besturingssystemen zal toenemen. Dat betekent dat er veel kennis vanuit andere gebieden nodig is om die gezamenlijke systemen te realiseren. Het is niet ondenkbaar dat er nieuwe entiteiten worden opgericht waarin de kennis en kunde op het gebied van deze systemen gebundeld wordt, bijvoorbeeld in de vorm van een multi-utility.

De relatie tussen drinkwaterbedrijven (of de toekomstige multi-utilities) en burgers zal in dit scenario ook veranderen. In de huidige situatie is de drinkwaterinfrastructuur grotendeels onzichtbaar voor burgers en vindt contact tussen burgers en drinkwaterbedrijven vooral plaats rondom het opnemen van meterstanden, facturering, storingen en werkzaamheden. In dit scenario is de (drink)waterinfrastructuur veel zichtbaarder en merkbaarder en leidt aanleg, onderhoud, vervanging, en monitoring tot een intensivering en verbreding van het contact. Ook is het niet ondenkbaar dat burgers zelf een rol krijgen in deze processen, vooral in de wijze waarop de infrastructuur in de wijk wordt ingepast.

De integratie van systemen zorgt ook voor allerlei nieuwe risico's. Een aantal daarvan is al bekend uit eerdere projecten, zoals het risico op verkeerde aansluitingen en contaminatie bij het gebruiken van meerdere kwaliteiten water (en ook dubbele leidingsystemen) in woningen (Oosterholt 2003, Oosterholt, Sluijs et al. 2003). Maar ook de risico's door verkeerd gebruik kunnen toenemen, zoals het gebruik van schoonmaakmiddelen of chemicaliën waar de grijs waterzuiveringen niet op berekend zijn. Systeemrisico's, zoals het uitvallen van een grote zuivering, zijn in dit scenario beperkter.

3.4.2 Voor de omgeving

Dit scenario heeft grote gevolgen voor de inrichting van de ruimtelijke omgeving. In iedere wijk moet opvang- en bergingscapaciteit voor hemelwater gebouwd worden,

evenals drinkwater- en afvalwaterzuiveringen. Dat vereist ook leidingen, pompsystemen en een (duurzame) energievoorziening. Deze systemen moeten voldoende beschermd zijn tegen invloeden van buitenaf (waaronder diefstal en vernieling), maar ook op een esthetische en duurzame manier ingebed zijn in de woonomgeving, met een minimum aan visuele, geluids- en geuroverlast. Daarnaast moeten ze gemakkelijk toegankelijk zijn voor monitoring en onderhoud.

Ook voor de bewoners zal er het nodige veranderen. Afhankelijk van welke systemen er worden toegepast moet het gebruik van chemicaliën in en rond het huis beperkt worden, aangezien dat schade en vervuiling kan toebrengen aan de zuiveringssystemen. In tijden van droogte moeten de regenwatersystemen worden aangevuld met lokaal gewonnen zoet grondwater. Echter, door het opvangen en bergen van hemelwater kan er minder water in de bodem infiltreren, wat gevolgen heeft voor de beschikbaarheid van zoet grondwater. Waar niet voldoende grondwater aanwezig is kan een back-up worden gevormd door levering van drinkwater in tankwagens. Dit betekent aan aanzienlijke teruggang in de leveringszekerheid en het gebruiksgemak.

Burgers zullen ook moeten leren omgaan met nieuwe technieken in en om het huis, zoals de regenwateropvang, een dubbel leidingstelsel, vacuümtoiletten en wellicht andere besparende technieken zoals een recirculatiedouche of waterzuinige wasmachines.

3.4.3 Maatschappelijke consequenties

Het is lastig om de volle breedte van de maatschappelijke consequenties van dit scenario te overzien. Zowel ondergronds als bovengronds zullen ingrijpende veranderingen plaatsvinden. Met een volledig decentrale drinkwatervoorziening zijn er bijvoorbeeld geen bronbeschermingsgebieden en duininfiltratiegebieden meer nodig. Deze gebieden hebben ook een functie als natuur- en/of recreatiegebied. Het is de vraag wie die functie in stand zal houden.

In de ondergrond ontstaat meer drukte doordat er naast het bestaande distributienet ook een grijs waternet, zwartwaterriool en bergingsruimte nodig zijn. Daarentegen is er minder ruimtebeslag door centrale zuiveringen, RWZI's en grote riool- en transportleidingen.

Ook juridisch en bestuurlijk zal er het nodige veranderen. De drinkwaterwet zal moeten worden aangepast om integratie met afvalwater en energie mogelijk te maken, en de wetgeving omtrent afvalstoffen en de inzet van regenwater als drinkwaterbron zal moeten worden verruimd.

Aanleg, monitoring en onderhoud van decentrale systemen zal waarschijnlijk veel werkgelegenheid opleveren, afhankelijk van de rol die burgers hierin zelf gaan spelen en de rol van digitale technologie.

3.5 Transitie

Het is niet waarschijnlijk dat dit scenario ooit helemaal werkelijkheid zal worden. Daarvoor zouden alle bestaande systemen moet worden vervangen, ook op plekken waar dat zeer ingrijpend is, zoals de dichtbebouwde binnensteden.

Bij nieuwbouw of grootschalige renovatie is dit scenario wel een mogelijke optie. Op dit moment wordt er op verschillende plekken in Nederland al geëxperimenteerd met varianten op dit scenario.

In de wijk Bleijerheide in Kerkrade wordt een wijk van 125 woningen herontwikkeld langs de lijnen van dit scenario. Het regenwater wordt lokaal opgevangen en dient als drinkwaterbron. Grijs water en zwart water worden apart ingezameld en lokaal hergebruikt en verwerkt. Woningen worden uitgerust met vacuümtoiletten en voedselresten vermalers. Het is in deze pilot nadrukkelijk de bedoeling om te kijken hoe dit systeem kan bestaan in combinatie met het centrale systeem. Verwachte voordelen van het systeem zijn een ontlasting van het riool door lokale waterberging en het afvlakken van de drinkwaterpiekvraag door de inzet van lokaal gezuiverd regenwater.

4 Scenario 2 – Circulaire economie

4.1 Randvoorwaarden scenario

Internationale onrust en dreigende schaarste aan grondstoffen hebben de transitie naar een circulaire economie versneld. Ook de watersector heeft de handschoen opgepakt. Het gebruik van allerlei vormen van restwater is een belangrijk criterium geworden bij de ontwikkeling van de watervoorziening om zo lozingen en onttrekkingen te minimaliseren. De drinkwatervraag is niet veranderd en blijft rond de 119 l/dag per persoon (43.4 m³/jaar per persoon). Deze watervraag is opgesplitst in 69.4 l/d per persoon voor drinkwater en 49.5 l/d per persoon voor huishoudwater (kleding wassen en toiletspoeling).



Figuur 3: Overzicht van de invulling van scenario 2 (“Circulaire economie”) met zoveel mogelijk waterhergebruik

4.2 Invulling

Vanwege de schaarste aan water wordt in dit scenario vooral gekeken naar waterhergebruik. Op basis van de randvoorwaarden van het scenario is een zoveel mogelijk circulaire watervoorziening opgezet. Dit is bereikt door het hergebruik van restwater uit zowel de industrie als RWZI's in te zetten. Daarnaast wordt op lokale schaal zoveel mogelijk water hergebruikt. Dit leidt tot aparte opvang en distributie van grijs water. De distributie is zowel lokaal (regenwater) als meer centraal (hergebruik industrie en RWZI). De centrale RWZI's blijven bestaan in het stedelijk gebied, terwijl in het landelijk gebied meer lokaal gezuiverd gaat worden. Vanwege de centrale RWZI's in de stad wordt geen aparte zuivering opgezet voor grijs water, maar wordt in de vraag naar huishoudwater voorzien via het drinkwater uit het restwater van de RWZI.

4.2.1 Bronnen

De bronnen voor drinkwater en huishoudwater zijn verschillend in het stedelijk gebied en het landelijke gebied.

4.2.1.1 Stedelijk gebied

Beschikbaar water voor drinkwater:

- Restwater industrie: sterk afhankelijk van type industrie, als voorbeeld melkpoederfabriek (1 954 000 m³/jaar) en aardappelverwerking (1-2 Mm³/jaar)(Stofberg, Bertelkamp et al., 2018)
- Water uit airconditioner of klimaatbeheersing: deze hoeveelheid is sterk afhankelijk van het systeem en het koelvermogen; per systeem kunnen enkele liters per dag (1.5 l/d huishouden, 8.5 l/d kantoor) opgevangen worden
- Restwater RWZI: de overige vraag naar drinkwater en huishoudwater wordt opgevangen met RWZI restwater

4.2.1.2 Landelijk gebied

Beschikbaar water voor drinkwater:

- Neerslag (dak): 38 m³/jaar per dak van 100 m², uitgaande van 2.2 personen per woning 17.3 m³/jaar per persoon
- Grijs water: 23.4 m³/jaar per persoon

Beschikbaar water voor hergebruik als huishoudwater:

- Grijs water: restant van het grijs water dat niet gebruikt wordt voor drinkwaterproductie
- Zwart water: 18.1 m³/jaar per persoon

4.2.1.3 Overzicht vraag en aanbod

Een compleet overzicht van watervraag en -aanbod in zowel stad als landelijk gebied voor scenario 2 is gegeven in Tabel 9.

Tabel 9: Overzicht van totale watervraag en -aanbod (m³/jaar) voor zowel stedelijk als landelijk gebied in scenario 2

Stedelijk gebied (20 000 woningen)		Drinkwater	Huishoudwater
Totale vraag		1 115 327	795 514
Aanbod	Restwater aardappelfabriek	1 000 000	-
	Water airconditioner	6 100	-
	Restwater RWZI (restant vraag)	109 228	-
	Grijs water huishoudelijke bron	-	1 029 556
Landelijk gebied (300 woningen)			
Totale vraag		16 730	11 933
Aanbod	Neerslag dak	11 400	-
	Grijs water	5 330	-
	Grijs water huishoudelijke bron	-	10 113
	Zwart water huishoudelijke bron	-	1 819

4.2.2 Zuivering, opslag en distributie

In Scenario 2 wordt voor de stad uitgegaan van in de eerste plaats gezuiverd industrieel water, aangevuld met gezuiverd RWZI effluent. Voor het dorp wordt voor het drinkwater uitgegaan van opgevangen regenwater, met daarnaast per wijk uit grijs water geproduceerd huishoudwater.

Stedelijk gebied

- Restwater van de industrie wordt op één plek gezuiverd voor alle 250 wijken samen.
- Water uit airconditioners/klimaatbeheersing wordt per gebouw gezuiverd. Vanwege de kleine hoeveelheid water is het niet mogelijk om realistische kosten te berekenen op basis van de gangbare zuiveringen, zie ook paragraaf 2.5.2.
- Restwater van RWZI wordt op één plek gezuiverd.

Landelijk gebied:

- Regenwater wordt gezuiverd per wijk (één zuivering per 50 huishoudens).
- Grijs water wordt gezuiverd per wijk (één zuivering per 50 huishoudens).
- Zwart water wordt gezuiverd per wijk (één zuivering per 50 huishoudens), zie ook paragraaf 2.5.3.

In het stedelijk gebied wordt een centraal systeem aangelegd voor zwart water en het grijs water. Er komt een centrale RWZI voor één of meerdere steden. Het meeste

drinkwater wordt aangevoerd via een centraal systeem met uitzondering van water uit airconditioners/klimaatbeheersing.

In het landelijk gebied wordt al het water op lokale schaal gezuiverd.

4.2.2.1 Zuivering in stedelijk gebied

In principe wordt eerst uitgegaan van restwater uit de aardappelindustrie. Dit kan gezuiverd worden met behulp van RO. Vanwege het vrij hoge zoutgehalte van dit water is een AOP geen realistische optie. RO fungeert ook als ontzoutingsstap, en kan dus wel worden toegepast. Omdat op deze manier niet voldoende water wordt verkregen voor de stad, wordt de rest aangevuld met gezuiverd RWZI-effluent. Net als in scenario 1 (hoofdstuk 3) is ook hier uitgegaan van een robuuste zuivering, om gezondheidsproblemen te kunnen voorkomen. Zo lang er nog geen goede online sensoren beschikbaar zijn, zal het altijd minstens een dag kosten voordat analysesresultaten beschikbaar komen, en tegen die tijd is het water al gebruikt.

Het water uit de aardappelfabriek wordt behandeld met behulp van een microzeef, ultrafiltratie, RO, remineralisatie en pH-correctie, en tenslotte UV-desinfectie. De behandeling van het RWZI-effluent bestaat uit achtereenvolgens microzeven om deeltjes af te vangen, UF-RO (25 l/mh) (omdat het water pathogenen kan bevatten is hier een robuuste desinfectie nodig), remineralisatie en pH-buffering, en tenslotte nog een extra UV-desinfectiestap.

Huishoudwater wordt apart gezuiverd uit grijs water, waarbij eerst een vuilafvang wordt toegepast, vervolgens een wasbaar zakfilter en een zakfilter van 25 µm worden gebruikt, en tenslotte UV-desinfectie.

4.2.2.2 Zuivering in landelijk gebied

Ook in dit geval is uitgegaan van een robuuste zuivering, om risico's zo klein mogelijk te maken. In eerste instantie is regenwater gebruikt, dat van de daken wordt opgevangen. De behandeling hiervan bestaat uit filtratie met behulp van een 25 µm zakfilter, een 5 µm filterkaas, RO met een recovery van 20% (vanwege de kleine schaal van deze zuivering), remineralisatie en pH-correctie, en UV-desinfectie.

In plaats van een proces gebaseerd op RO kan ook een proces gebaseerd op AOP worden toegepast. In dat geval bestaat de zuivering uit filtratie met behulp van een 25 µm zakfilter, UF-desinfectie, UV/H₂O₂, filtratie over actieve kool (contacttijd 40 min. om ook bij- en transformatieproducten te kunnen verwijderen), remineralisatie en pH-correctie, en UV-desinfectie.

Aangezien op deze manier niet voldoende drinkwater kan worden geproduceerd, wordt de hoeveelheid water aangevuld vanuit grijs water uit het dorp zelf. Ook hier kan ofwel RO ofwel AOP op worden toegepast. In het geval van RO-processen bestaat de totale zuivering uit een vuil afvang, buffertank met zakfilter en UV-desinfectie met recirculatie, UF, RO (40% recovery), remineralisatie en pH-correctie, filtratie over AKF met een korte contacttijd van 5 minuten, en UV-desinfectie. Deze zuivering is geschikt indien de zuivering van het regenwater met behulp van RO plaatsvindt. Indien die zuivering echter met behulp van AOP plaatsvindt, is minder drinkwater uit grijs water nodig voor de aanvulling. Het totale proces blijft dan gelijk, maar de recovery van het RO-proces bedraagt dan slechts 20%.

Het grijze water kan ook via AOP tot drinkwater worden gezuiverd. Hiervoor bestaat het totale zuiveringsproces dan uit een vuilafvang, een buffertank met zakfilter en UV-desinfectie (met recirculatie), UF voor desinfectie, UV/H₂O₂, filtratie over actieve kool met een contacttijd van 40 min., en UV-desinfectie.

In plaats van twee aparte zuiveringen neer te zetten voor regenwater en grijs water, zouden beide waterstromen ook eerst kunnen worden gecombineerd en gezamenlijk gezuiverd. Het voordeel hiervan is dat een groter debiet gezuiverd moet worden, wat gunstiger is voor de kosten, en ook een hogere recovery van de RO kan mogelijk maken. Indien hiervoor RO wordt toegepast, ziet het totale proces er als volgt uit: Vuilafvang, buffertank met zakfilter en UV desinfectie (met recirculatie), UF, RO met 40% recovery, remineralisatie en pH-correctie, filtratie over actieve kool (contacttijd 5 minuten), en UV-desinfectie.

Indien echter van een AOP wordt uitgegaan, is het volgende proces doorgerekend: Vuilafvang, een buffertank met een wasbaar zakfilter, een 25 µm zakfilter, UF-desinfectie, UV/H₂O₂, filtratie over actieve kool met een contacttijd van 40 min., en UV-desinfectie.

Tot slot wordt in de berekeningen uitgegaan van de zuivering van grijs water voor gebruik als huishoudwater. Hiervoor wordt eerste een vuilafvang toegepast, vervolgens een buffertank met wasbaar zakfilter, een 25 µm zakfilter, UF, en UV-desinfectie.

4.3 Kosten voor de zuiveringsprocessen

Voor zowel de stad als het dorp zijn ook in dit scenario diverse zuiveringsschema's uitgewerkt, waarbij telkens is uitgegaan van verschillende bronnen, debieten en zuiveringsprocessen. Een overzicht van alle schema's is weergegeven in Tabel 10.

Tabel 10: zuiveringsschema's voor scenario 2

Schema	Plaats	Type water	Debiet (m ³ /jaar)	Type zuivering	Product
2a	stad	Aardappelfabriek	1.000.000	RO	drinkwater
2b	stad	RWZI effluent	1.454.052	RO	drinkwater
2c	stad	Grijs water ¹⁾	795.515	Filtratie + UV	huishoudwater
2d	dorp	Regenwater	11400	RO	drinkwater
2e	dorp	Regenwater	11400	AOP	drinkwater
2f	dorp	Grijs water ¹⁾	36125	RO	drinkwater
2g	dorp	Grijs water ¹⁾	26650	AOP	drinkwater
2h	dorp	Grijs water ²⁾	15443	AOP	drinkwater
2i	dorp	Grijs water ³⁾	15443	RO	drinkwater
2j	dorp	Combinatie regenwater en grijs water	41825	RO	drinkwater
2k	dorp	Combinatie regenwater en grijs water	26843	AOP	drinkwater
2l	dorp	Grijs water ⁴⁾	10113	Filtratie + UV	huishoudwater
2m	dorp	Grijs water	11933	Filtratie + UV	huishoudwater

- 1) Er is slechts 15443 m³ grijs water per jaar beschikbaar, terwijl er respectievelijk 36125 m³ (schema 2f) en 26650 m³ (schema 2g) nodig zou zijn om de behoefte aan drinkwater te kunnen dekken.
- 2) Kan alleen worden toegepast als concentraat verder wordt opgezuiverd tot huishoudwater.
- 3) Eigenlijk wordt hier net iets teveel grijs water gebruikt voor drinkwaterproductie om in huishoudwaterbehoefte te voorzien.
- 4) De hoeveelheid grijs water die beschikbaar is voor de productie van huishoudwater is onvoldoende. Eigenlijk moet er dus een extra bron voor huishoudwater bij gezocht worden. In scenario 2l en 2m is aangenomen dat een dergelijke bron beschikbaar is.

Aangezien de kosten voor een huishoudwaterzuivering en -distributie in de stad erg hoog leken te gaan uitvallen, is besloten alleen drinkwaterkwaliteit te produceren voor de stad. Hier is dus geen huishoudwater gemaakt, wat betekent dat uiteindelijk scenario c niet is meegenomen, en de hoeveelheid benodigd drinkwater voor de stad is vermeerderd met de huishoudwaterbehoefte.

Er is besloten geen kostenberekeningen te maken voor behandeling van water uit klimaatbeheersingssystemen (paragraaf 2.5.2) en voor behandeling van zwart water (paragraaf 2.5.3).

4.3.1 Kostenberekeningen voor de stad

Als waterbron voor de stad is in dit scenario uitgegaan van het restwater van de aardappelfabriek (scenario 2a). De hoeveelheid water die hier beschikbaar is, is onvoldoende om de totale watervraag van de stad te dekken. In de berekeningen is daarom uitgegaan van RWZI effluent, dat kan worden opgewerkt tot drinkwaterkwaliteit, om de behoefte daaraan te kunnen dekken (scenario 2b). Voor laagwaardige toepassingen als toiletspoeling en wasmachine zou in principe gebruik kunnen worden gemaakt van huishoudwater, maar in dit scenario is vanwege de hoge kosten van een dubbel systeem alleen uitgegaan van water met drinkwaterkwaliteit. De uitgewerkte zuiveringsschema's en bijbehorende kostenberekeningen zijn weergegeven in Tabel 11. De kosten voor het totaal over tien jaar zijn hierin uitgerekend, en de kosten per huishouden en per persoon per jaar. Details van de berekeningen zijn weergegeven in Tabel 22 in Bijlage III.

Tabel 11: Kostenoverzicht voor zuivering in de stad in scenario 2

Scenario's	Beschrijving	Tot. Kosten over 10 jaar (10 ⁶ €)	Kosten per huishouden per jaar (€)	Kosten per persoon per jaar (€)
2a +2b	Drinkwater uit effluent aardappelfabriek en RWZI	19.0	95	43

4.3.2 Kostenberekeningen voor het dorp

Bij het dorp is in dit scenario als eerste bron voor drinkwater regenwater van de daken meegenomen. Dit kan worden gezuiverd met behulp van RO of AOP (natuurlijk inclusief

voor- en nabehandeling). Dit is echter onvoldoende om de vraag naar drinkwater totaal te dekken. Daarom is als aanvulling daarop grijs water opgewerkt tot drinkwater (ook weer met behulp van RO of AOP). Een andere optie is regenwater en grijs water te combineren en tegelijk te zuiveren (ook weer via RO of AOP). Een gedetailleerd overzicht van alle daarbij horende processtappen, inclusief een kostenberekening, is weergegeven in Tabel 23 in Bijlage III. Naast drinkwater is grijs water met een lichte zuivering geschikt gemaakt voor toepassing als huishoudwater. Uit de berekeningen bleek dat er, bij gebruik van grijs water als bron voor drinkwater, onvoldoende grijs water beschikbaar is om aan de vraag naar huishoudwater te voldoen (scenario 2l). Er zal dus een extra bron nodig zijn om huishoudwater uit te maken. In scenario 2m is aangenomen dat een dergelijke bron beschikbaar is, en dat het huishoudwater wordt geproduceerd uit de combinatie van grijs water met water uit deze bron, waarbij is uitgegaan van dezelfde zuivering voor deze combinatie. Voor de uiteindelijke berekeningen is alleen uitgegaan van scenario 2m voor het huishoudwater.

Een overzicht van de resultaten is gegeven in Tabel 12. Om een beeld te krijgen van de totale kosten (per huishouden of per persoon) moeten de kosten voor drinkwater worden opgeteld bij die voor huishoudwater.

Tabel 12: Kostenoverzicht voor zuivering in het dorp in scenario 2

Scenario's	Beschrijving	Tot. Kosten over 10 jaar (10 ⁶ €)	Kosten per huishouden per jaar (€)	Kosten per persoon per jaar (€)
2d+2f	Drinkwater uit regenwater + grijs water	3,20	1066	485
2d+dh	Drinkwater uit regenwater + grijs water	2,90	966	439
2e+2g	Drinkwater uit regenwater + grijs water	3,42	1139	518
2e+2i	Drinkwater uit regenwater + grijs water	3,07	1023	465
2j	Drinkwater uit regenwater + grijs water	3,22	1072	487
2k	Drinkwater uit regenwater + grijs water	1,89	630	286
2m	Huishoudwater uit grijs water	0,73	243	111

4.3.3 Evaluatie van verschillende zuiveringsschema's in scenario 2

Net als voor scenario 1 is ook voor scenario 2 gekeken naar de goedkoopste en duurste schema's, en naar het schema met de kleinste reststromen. Een overzicht van de totale jaarlijkse kosten per persoon en per huishouden is gegeven in Tabel 13.

Tabel 13: totale jaarlijkse kosten (€) voor een huishouden of persoon bij toepassing van verschillende zuiveringstechnieken. Het scenario met de kleinste reststroom is cursief weergegeven.

Plaats	Scenario	Beschrijving	huishouden	persoon
stad	<i>2a + 2b</i>	<i>Drinkwater uit effluent aardappelfabriek en RWZI</i>	95	43
dorp	2d+2f+2m	Drinkwater uit regenwater + grijs water; huishoudwater uit grijs water	1309	596
	2d+2h+2m	Drinkwater uit regenwater + grijs water; huishoudwater uit grijs water	1209	550
	2e+2g+2m	Drinkwater uit regenwater + grijs water; huishoudwater uit grijs water	1382	629
	2e+2i+2m	Drinkwater uit regenwater + grijs water; huishoudwater uit grijs water	1266	576
	2j+2m	Drinkwater uit combinatie regenwater en grijs water; huishoudwater uit grijs water	1315	598
	<i>2k'+2m</i>	<i>Drinkwater uit combinatie regenwater en grijs water; huishoudwater uit grijs water</i>	<i>873</i>	<i>397</i>

*) Dit schema heeft het nadeel dat er eigenlijk te weinig water beschikbaar is om ook aan de vraag naar huishoudwater te kunnen voldoen.

Overigens moet hierbij worden aangetekend dat de kosten die nodig zijn om het RO-concentraat te behandelen en/of te lozen niet in deze berekeningen zijn verwerkt. Hierdoor zullen in de praktijk de RO-scenario's iets duurder uitvallen dan de op AOP-gebaseerde scenario's.

In dit scenario is het heel duidelijk dat kleinschalige productie in het dorp erg duur is in vergelijking met productie in de stad op iets grotere schaal. Het verschil bedraagt een factor negen tot vijftien. Naarmate het debiet groter is, zijn de kosten per m³ lager. Bij RO-processen speelt bovendien nog de lager recovery een belangrijke rol hierin.

Voor de stad is slechts één schema doorgerekend. Voor het dorp blijkt scenario 2k de kleinste reststroom te veroorzaken. Een probleem hierbij is wel dat er onvoldoende grijs water beschikbaar is om er zowel voldoende drink- als huishoudwater uit te kunnen produceren.

In Tabel 14 zijn enkele karakteristieke parameters van de schema's met de kleinste reststroom weergegeven.

Tabel 14: karakteristieken van zuiveringen met de kleinste reststroom in scenario 2.

Plaats	scenario	Afvalstroom drinkwaterproductie	ruimtebeslag	Personeels- en onderhoudskosten t.o.v. totale investering
Stad	$2a + 2b$	15-25% ^{*)}	Volledig centraal	10-12%
dorp	$2k + 2m$	<5% ^{*)}	Per wijk	8-10%

^{*)}Ten opzichte van totale waterinname

Het totale ruimtebeslag wordt groter naarmate de processen decentraler georganiseerd zijn. Een volledig centraal geregelde zuivering neemt de minste ruimte in beslag, een zuivering per straat de meeste. Dit geldt althans in deze berekeningen. Indien ook een zuivering per woning zou zijn doorgerekend, zou die het grootste ruimtebeslag geven, en de hoogste kosten.

4.4 Consequenties

4.4.1 Voor de drinkwatersector

Dit scenario is minder ingrijpend in zijn consequenties dan het eerste scenario. De huidige infrastructuur kan grotendeels intact blijven, maar zal op verschillende plekken worden aangepast en aangevuld. De consequenties van het gebruik van regenwater en gezuiverd grijs water zijn in het eerste scenario al aanbod gekomen, dus worden hier niet verder besproken.

Wat dit scenario onderscheidend maakt, is het gebruik van RWZI-effluent en industrieel restwater. Dat betekent dat de drinkwaterbedrijven voor die bronnen afhankelijk zijn van waterschappen en industrie. Met die partijen moeten afspraken worden gemaakt over de kwaliteit en de kwantiteit van het effluent en de continuïteit van de levering. Maar zelfs als die afspraken juridisch worden vastgelegd, bestaat er het risico van incidenten en, in het geval van de industrie, faillissement die de levering tijdelijk of permanent kunnen onderbreken.

Drinkwaterbedrijven moeten afspraken maken met industrie en waterschappen wie welke zuiveringsinspanning levert. Bijvoorbeeld in het geval van medicijnresten: moeten de RWZI's deze eruit halen of is dat aan de drinkwaterbedrijven? Integratie van de waterketen lijkt een logische stap in dit scenario.

Wisselende productieniveaus en faillissement of relocatie van fabrieken is een belangrijk risico in dit scenario. Het is mogelijk om dit met contracten af te dekken, maar een boete voor een bedrijf levert een drinkwaterbedrijf nog niet het water dat ze nodig hebben. Het is ook de vraag hoeveel industrieel restwater er in een circulair scenario beschikbaar is. Als industrieën ervoor kiezen om hun eigen waterkringloop te sluiten, dan kunnen de restwatervolumes aanzienlijk afnemen.

In een circulair scenario zullen waterbedrijven zelf ook circulair moeten worden. Dat betekent onder andere het beperken of hergebruiken van afval, het gebruik van duurzame energie en het beperken van het gebruik van 'virgin' grondstoffen. Hoe een circulaire waterketen eruit zou kunnen zien wordt ook onderzocht in BTO WiCE onderzoek "Circulaire waterketen 2050".

Het gebruik van industrieel restwater en RWZI-effluent als drinkwaterbron, kan leiden tot het overbodig worden van innamepunten van oppervlaktewater en van grondwaterwinningen. Dat heeft ook landschappelijke effecten, zoals beschreven in het eerste scenario.

4.4.2 Voor de omgeving

Een circulaire economie betekent een andere inrichting van de omgeving. Er zal nieuwe infrastructuur aangelegd moeten worden om de lokale zuiveringen mogelijk te maken. Ook in gebouwen zullen nieuwe leidingen moeten worden aangelegd, bijvoorbeeld om het condensaat van airco's op te vangen en te zuiveren.

RWZI-effluent (en soms ook restwater) vormt een belangrijke component van ons oppervlaktewater. In droge perioden kan het in sommige beken zelfs het grootste aandeel zijn. Het opvangen en hergebruiken kan leiden tot droogval van sommige beken, met grote gevolgen voor de aquatische ecosystemen.

In een circulair scenario zal er minder grondwater worden onttrokken. Hierdoor kunnen lokaal hogere grondwaterstanden optreden. Dit is gunstig voor de natuur, maar leidt ook tot een grotere kans op wateroverlast of natschade bij de landbouw. Een ander mogelijk risico is dat grondwater minder goed beschermd wordt wanneer het niet meer gebruikt wordt voor drinkwater.

4.4.3 Maatschappelijke consequenties

Op dit moment lijkt er weinig maatschappelijk draagvlak voor het produceren van drinkwater uit gezuiverd afvalwater, maar succesvolle voorbeelden zouden daar verandering in kunnen brengen. In Windhoek (Namibië) wordt al sinds 1968 afvalwater gebruikt om de drinkwatervoorziening aan te vullen. In Singapore wordt gezuiverd afvalwater vooral geleverd aan de industrie. In Dinteloord wordt restwater van een suikerfabriek in de bodem geïnfiltreerd om als zoetwaterbron te dienen.

Infiltratie in de bodem voorafgaand aan de zuivering tot drinkwater kan een gunstig effect hebben op de perceptie. Het water kan dan het label 'ondiep grondwater' krijgen, in plaats van 'gezuiverd afvalwater'.

4.5 Transitie

De transitie naar een circulaire economie vindt over de hele breedte van de samenleving plaats. Het is ontstaan als een idee en vindt nu langzaam zijn weg naar de fysieke werkelijkheid door middel van pilots, nieuwe logistieke verbindingen, nieuwe processen en nieuwe technieken. Het is geen transitie met een duidelijk doel voor ogen. Er zijn verschillende interpretaties en definities van 'circulair' en er zijn verschillende achterliggende motivaties om circulair te worden, zoals schaarste, duurzaamheid, zelfvoorzienendheid en economische groei.

In de transitie naar dit scenario zullen grond- en oppervlaktewaterwinningen geleidelijk aan worden vervangen door industrieel restwater en RWZI-effluent. Het is natuurlijk wel de vraag waar de industrie haar water dan vandaan krijgt. Gedurende transitie zal er vooral een grotere diversiteit aan bronnen zijn, verknoopt in een complex netwerk van vraag en aanbod. Het is daarbij van belang om fluctuaties in vraag en aanbod op te kunnen vangen met buffers, bijvoorbeeld doormiddel van infiltratie in de bodem.

Het gebruik van RWZI effluent en industrieel restwater is in principe goed te combineren met de huidige centrale drinkwatervoorziening. Wel zullen zuiveringen moeten worden aangepast aan de bronkwaliteit en de schaal van deze nieuwe bronnen.

5 Scenario 3 – Onder druk

5.1 Randvoorwaarden scenario

In dit scenario krijgt Nederland te maken met sterke klimaatverandering. In het westen is sprake van sterke bodemdaling en verzilting. Door heel Europa ondervindt men extreme neerslagepisodes, afgewisseld met langdurige droogte, waardoor de afvoer van de grote rivieren sterk fluctueert. De landbouw wordt geïntensiveerd, wat ten koste gaat van de kwaliteit en kwantiteit van het grondwater. Ondanks besparingscampagnes stijgt het individuele waterverbruik sterk. Bovendien leidt klimaatimmigratie tot een snelle groei van de bevolking, vooral in stedelijke gebieden.

Bij de uitwerking van dit scenario zijn de volgende aannames gehanteerd:

- Watervraag drinkwater is met 50% gestegen en wordt 178 liter/persoon/dag
- De bevolking is sterk gegroeid. Aangenomen wordt dat het aantal huizen minder snel groeit, waardoor een nieuw gemiddelde van 3 pers/huishouden ontstaat.

5.2 Invulling

In dit scenario is het de primaire focus van de drinkwaterbedrijven om een robuuste watervoorziening te creëren, waarin de bronnen goed beschermd zijn. Deze watervoorziening wordt gerealiseerd door gebruik te maken van verschillende centraal gebruikte bronnen, die aangevuld worden door enkele lokale bronnen. De distributie van de centrale bronnen vindt plaats via een centraal systeem (dat lijkt op het huidige systeem), dat drinkwater levert in zowel stedelijk als landelijk gebied. Op lokaal niveau kunnen aanvullende bronnen, zoals neerslag en grijs water, worden verspreid via een tweede systeem, dat alleen lokaal functioneert.

5.2.1 Bronnen

In dit scenario is de druk op het systeem flink opgevoerd. In de workshop ging daarom de voorkeur uit naar het gebruik van een robuust systeem met betrouwbare bronnen. Dit systeem lijkt op het huidige drinkwatersysteem, waarbij drinkwater op centrale plekken wordt gewonnen, gezuiverd en vervolgens wordt gedistribueerd.

Om lokaal beschikbaar water toch ook nuttig te kunnen gebruiken, wordt er gebruik gemaakt van een tweede systeem dat lokaal gewonnen grijs water en neerslagwater verdeelt.

5.2.1.1 Centraal drinkwatersysteem

Omdat in dit scenario zoet grondwater slechts zeer beperkt beschikbaar was, werd vooral ingezet op brak grondwater. Daarnaast wordt gebruik gemaakt van restwater uit de aardappelverwerkingsindustrie.

- **Brak grondwater (en permanente bemaling).** Acht winputten zijn strategisch geplaatst in een winveld in een polderlandschap waarin brakwater zich relatief ondiep bevindt. Ook is er een permanente bemaling waar gebruik van wordt gemaakt. Er wordt 2.8 Mm³/jaar gewonnen. Met een RO recovery efficiency van 50% wordt daarvan 1.4 Mm³/jaar drinkwater gemaakt.

- **Restwater aardappelverwerking.** Hierbij komt 1 Mm³/jaar vrij, hierbij is geen sprake van een seizoenspiek (Stofberg, Bertelkamp et al.).

Het totale aanbod kan 104% van de jaarlijkse drinkwatervraag leveren. Piekvragen zijn in de invulling van de scenario's niet meegenomen. In de praktijk zou hier rekening mee gehouden kunnen worden door grondwaterwinningen met meer capaciteit in te zetten.



Figuur 5-1. Overzicht van de invulling van scenario 3 ('Onder druk'), met een robuuste centrale drinkwatervoorziening uit brak grondwater en restwater uit de voedselindustrie en lokaal hergebruik van grijs water en neerslag.

5.2.1.2 Lokaal aanvullend systeem met grijs water in stad en dorp

Iedere woonkern heeft naast het centrale drinkwatersysteem zijn eigen lokale systeem waarin grijs water wordt opgevangen, opgeslagen en gebruikt. De schaal waarop dit plaatsvindt is op wijkniveau.

Tijdens de workshop werd gekozen voor de aanvullende inzet van grijs water en neerslag om het centrale drinkwatersysteem te ontlasten. Bij nadere uitwerking bleek dat het aanbod van huishoudelijk grijs water ruim voldoende is om te gebruiken voor toiletspoeling en wasmachine. Neerslag wordt daarom niet ingezet voor de productie van huishoudwater.

- **Grijs water.** Aanbod van grijs water per persoon is in dit scenario niet gewijzigd. Per huishouden wordt er ongeveer 70 m³/jaar geproduceerd.
- **Neerslag.** In dit extreme scenario wordt er vanuit gegaan dat neerslagpatronen onregelmatiger worden, met grote buien en droge perioden. Aangezien er voldoende grijs water opgevangen kan worden uit het huishoudelijke restwater voor het grijs watersysteem (voor toiletspoeling en wasmachine) is er voor gekozen om aan te nemen dat het neerslagwater wordt geïnfiltreerd in de ondergrond, bijvoorbeeld via niet-betegelde tuinen. Infiltratie is gunstig voor de grondwatervoorraden en voorkomt afvoeren via het riool.

Er wordt gebruik gemaakt van opslag van het water middels een buffervat. Op grote schaal zou ook ondergrondse waterberging van nut kunnen zijn.

5.2.2 Zuivering, opslag en distributie

Het drinkwater wordt in dit scenario centraal geproduceerd voor zowel de stad als het dorp, vanuit restwater van de aardappelfabriek en brak grondwater. Via een centraal leidingnet wordt het drinkwater naar de klanten gedistribueerd.

5.2.2.1 Centraal drinkwatersysteem

- Brakwater.
- Restwater aardappelverwerking: wisselende kwaliteit over het jaar.

Voor het brakke water wordt uitgegaan van lage druk RO, gevolgd door remineralisatie en pH-correctie, filtratie over actieve kool en UV desinfectie. Een alternatief hiervoor is beluchting/ontgassing, toepassing van een zelfreinigend zeefilter, UF, UV/H₂O₂, filtratie over actieve kool (contacttijd 40 min.) en UV-desinfectie.

Voor het water uit de aardappelfabriek is aangenomen dat de zuivering bestaat uit een microzeef, UF, RO, remineralisatie en pH-correctie, alsmede UV-desinfectie. Net als in scenario 2 (zie hoofdstuk 4) is voor de zuivering van het water van de aardappelfabriek alleen RO in beschouwing genomen, omdat bij AOP een extra ontzoutingsstap nodig zou zijn.

5.2.2.2 Lokaal aanvullend systeem met grijs water in stad en dorp

Huishoudwater wordt voor de stad en het dorp lokaal gemaakt uit grijs water. De zuiveringsstappen die hiervoor nodig zijn bestaan uit een vast vuil afscheider, een wasbaar 500 µm zakfilter, een 25 µm zakfilter, UF, en UV-desinfectie.

5.3 Kostenberekeningen

5.3.1 Kostenberekeningen voor stad en dorp

In scenario 3 wordt het drinkwater voor zowel de stad als het dorp centraal geproduceerd uit brak grondwater en effluent van de aardappelfabriek. De kosten voor drinkwater zijn dan ook gelijk voor inwoners van de stad en van het dorp. Het huishoudwater wordt wel lokaal geproduceerd, waarbij wordt uitgegaan van grijs water. De kosten voor huishoudwater verschillen dus wel voor inwoners van de stad en van het

dorp. Een overzicht van de uitgerekende scenario's is gegeven in Tabel 15. Een meer gedetailleerd overzicht is te vinden in Tabel 24 in Bijlage IV.

Tabel 15: Zuiveringsschema's voor scenario 3

Schema	Plaats	Type water	Debiet (m ³ /jaar)	Type zuivering	Product
3a	centraal	Brak grondwater	1.954.984	RO	drinkwater
3b	centraal	Brak grondwater	1.563.987	AOP	drinkwater
3c	centraal	aardappelfabriek	1.000.000	RO	drinkwater
3d	stad	Grijs water	1.403.940	Filtratie + UV	huishoudwater
3f	dorp	Grijs water	21.059	Filtratie + UV	huishoudwater

In Tabel 16 is een overzicht gegeven van de kosten per huishouden en per inwoner, waarbij is aangenomen dat er nog steeds 20.000 huishoudens in de stad en 300 in het dorp zijn, maar waarbij er wel overal drie personen per huishouden aanwezig zijn.

Tabel 16: Kostenoverzicht voor zuivering in de stad en in het dorp in scenario 3

Scenario's	Beschrijving	Tot. Kosten over 10 jaar (10 ⁶ €)	Kosten per huishouden per jaar (€)	Kosten per persoon per jaar (€)
3a + 3c	Drinkwater uit effluent aardappelfabriek en brak grondwater	17,47	86	29
3b + 3c	Drinkwater uit effluent aardappelfabriek en brak grondwater	41,49	204	68
3d	Huishoudwater uit grijs water voor de stad	32,28	160	53
3f	Huishoudwater uit grijs water voor het dorp	0,86	288	96

5.3.2 Evaluatie van verschillende zuiveringsschema's in scenario 3

In bovenstaande schema's is ervan uitgegaan dat het drinkwater centraal wordt geproduceerd voor zowel de inwoners van de stad als van het dorp. Hiervoor is dus maar één zuivering nodig, die wel gebruik kan maken van verschillende processen. Voor de productie van huishoudwater wordt wel gebruik gemaakt van een lokale zuivering van grijs water. De totale jaarlijkse kosten per huishouden en per persoon zijn weergegeven in Tabel 17.

Tabel 17: Totale jaarlijkse kosten (€) voor een huishouden of persoon bij toepassing van verschillende zuiveringstechnieken. Het scenario met de kleinste reststroom is cursief weergegeven.

Plaats	Scenario	Beschrijving	huishouden	persoon
stad	3a+3c+3d	Drinkwater uit effluent aardappelfabriek en brak grondwater; huishoudwater uit grijs water	246	82
	<i>3b+3c+3d</i>	<i>Drinkwater uit effluent aardappelfabriek en brak grondwater; huishoudwater uit grijs water</i>	<i>365</i>	<i>122</i>
dorp	3a+3c+3f	Drinkwater uit effluent aardappelfabriek en brak grondwater; huishoudwater uit grijs water	374	125
	<i>3b+3c+3f</i>	<i>Drinkwater uit effluent aardappelfabriek en brak grondwater; huishoudwater uit grijs water</i>	<i>492</i>	<i>164</i>

Uit deze gegevens blijkt duidelijk dat ook de kleinschalige zuivering van grijs water tot huishoudwater in het dorp aanzienlijk duurder is dan de zuivering op iets grotere schaal in de stad. Voor drinkwater zijn de inwoners van het dorp namelijk net zoveel kwijt als de stadsbewoners, dus het verschil in kosten wordt veroorzaakt door de zuivering van het grijze water tot huishoudwater. Hierdoor zijn de dorpelingen ongeveer 50% meer kwijt dan de stadsbewoners. Bovendien blijkt in alle gevallen dat het huishoudwater duurder is dan het drinkwater.

Ook in deze gevallen zijn de schema's gebaseerd op AOP de opties met de kleinste reststromen. De kosten hiervoor lijken hoger dan die voor de schema's gebaseerd op RO, maar dit beeld wordt vertekend door het feit dat de kosten voor behandeling en/of lozing van die reststromen in dit geheel niet worden meegerekend. Hierdoor zullen in de praktijk de kosten voor de RO-schema's hoger uitvallen dan weergegeven in Tabel 17.

In Tabel 18 zijn enkele karakteristieke parameters van de schema's met de kleinste reststroom weergegeven.

Tabel 18: Karakteristieken van zuiveringen met de kleinste reststroom in scenario 3.

Plaats	scenario	Afvalstroom drinkwaterproductie	ruimtebeslag	Personeels- en onderhoudskosten t.o.v. totale investering
Stad	<i>3b+3c+3d</i>	5-10% ^{a)}	Centraal + per wijk	8-10%
dorp	<i>3b+3c+3f</i>	5-10% ^{a)}	Centraal + per wijk	8-10%

*)Ten opzichte van totale waterinname

Aangezien een groot deel van de zuivering, namelijk het drinkwaterdeel, centraal geregeld is, komen beide scenario's hier vrij gunstig uit tevoorschijn in vergelijking met scenario's waarin decentraal drinkwater wordt geproduceerd.

5.4 Consequenties

5.4.1 Consequenties voor de drinkwatersector

In dit scenario, waarin het centrale drinkwatersysteem lijkt op het huidige systeem, zullen niet op alle vlakken grote veranderingen in de bedrijfsvoering van de waterbedrijven nodig zijn. Hieronder zijn onderdelen op een rij gezet waarop wel grote veranderingen verwacht worden.

In een scenario waarin grondwatervoorraden sterk onder druk staan wordt bronbescherming een nog belangrijkere focus van drinkwaterbedrijven dan in het huidige tijdperk. Als men echter overstapt op brakwaterwinning in combinatie met zuivering door omgekeerde osmose (RO), worden in dit proces veel soorten verontreinigingen uit het water verwijderd. Er zijn echter ook typen verontreinigingen die met RO niet goed verwijderd kunnen worden. Deze zullen aandacht vereisen.

Hoewel piekwatervragen niet behandeld zijn in de scenario's, kan verwacht worden dat in een scenario met een gestegen watervraag en vaker voorkomende droogte, de watervraag vooral zal stijgen tijdens piekperioden en -momenten. Dit vereist een robuust systeem, waarbij bijvoorbeeld voldoende capaciteit beschikbaar is om meer water te winnen tijdens droogte of waarbij gebruik wordt gemaakt van (ondergrondse) waterberging. Hierbij kan ook gedacht worden aan een flexibel systeem, waarbij, afhankelijk van behoefte, verschillende bronnen kunnen worden ingezet.

Als een tweede watervoorziening (huishoudwater) wordt ingezet op een grotere schaal dan die van één huishouden, zal beheer en onderhoud uitgevoerd moeten worden door een organisatie die verantwoordelijk is voor het geleverde water en de kwaliteit daarvan. Tijdens de workshop zagen de deelnemers hierin een mogelijke rol voor de waterbedrijven, gezien hun ervaring met zuivering en levering van water. Een groot verschil met de huidige werkzaamheden is de schaal waarop dit plaatsvindt (namelijk wijkschaal) en de samenwerking met andere organisaties (zoals gemeenten) die hiervoor nodig is.

Wanneer een tweede watersysteem voor zogenaamd huishoudwater wordt aangelegd, zijn er verschillende risico's waarmee rekening gehouden moet worden.

- Directe verspreiding van pathogenen (afhankelijk van toegepaste zuivering)
- Verwisseling van kranen of leidingen binnen huizen, waardoor bewoners onbedoeld huishoudwater binnen krijgen in plaats van drinkwater.

5.4.2 Consequenties voor de omgeving

Mogelijke daling van de grondwaterstand en/of verzilting. De winning van (brak) grondwater kan leiden tot mogelijke daling van de grondwaterstand en/of verzilting. Of deze negatieve effecten optreden hangt vooral af van de plaatsing van de bronnen en de netto hoeveelheid gewonnen water. Het zou op bepaalde plekken zelfs mogelijk zijn om brakwaterwinning in te zetten om verzilting aan het landoppervlak (door brakke

kwel) te verminderen (Waternet 2017, Stofberg, Zuurbier et al. 2018). Wanneer winning van brakwater gecombineerd wordt met meer infiltratie van zoetwater kan (netto) verzilting voorkomen worden en kunnen zoetwatervoorraden in de ondergrond mogelijk vergroot worden.

Reststroom. Wanneer brakwater gezuiverd wordt middels RO komt een concentraatstroom vrij die bestaat uit ingedikt brakwater (de concentratie is afhankelijk van de recovery efficiency). Het lozen van deze reststroom in (grond- of open) wateren met van nature lagere zoutconcentraties zou vervuiling van de omgeving betekenen en is onder Nederlandse en Europese wetgeving niet toegestaan. In de huidige praktijk worden dergelijke concentraatstromen daarom op zee of in de diepere ondergrond geloosd, waar de aanwezige zoutconcentraties even hoog of hoger zijn. Ook hiervoor zijn uiteraard vergunningen nodig.

5.4.3 Maatschappelijke consequenties

Het leveren van twee kwaliteiten water in een gescheiden leidingnet kan de maatschappelijke kosten voor waterzuivering enigszins verminderen, maar leidt tot een aanzienlijke toename in materiaal- en energiegebruik, vanwege het dubbele leidingnet. Daarnaast ontstaan er nieuwe risico's doordat leidingen verwisseld kunnen worden en burgers huishoudwater te drinken krijgen. Deze risico's zijn vooral groot aan het begin van de transitie, als het systeem nog relatief onbekend is.

Naast de infrastructurele aspecten moet bij het gebruik van huishoudwater ook rekening worden gehouden met sociale factoren, zoals gedrag, perceptie en acceptatie. Huishoudwater kan een andere geur en kleur hebben dan drinkwater en dat kan wennen zijn als dat gebruikt wordt voor het doorspoelen van het toilet en het wassen van kleding in de wasmachine.

Door het winnen van ondiep grondwater komt de drinkwaterwinning in directe concurrentie met landbouw en natuur. Landbouw maakt, zeker in droge tijden, ook gebruik van grondwater voor beregening. Natuurgebieden hebben een relatief hoge grondwaterstand nodig. Daarnaast zijn er tal van lokale factoren die het effect van grondwateronttrekkingen op de omgeving bepalen, zoals aanwezigheid van oppervlaktewater en doorlatendheid van de bodem.

5.5 Transitie

Brak grondwater is een bron voor drinkwater die door verschillende Nederlandse waterbedrijven met interesse wordt gevolgd of zelfs wordt onderzocht. Waternet onderzoekt bijvoorbeeld brakwaterwinning in een polder met brakke kwel (Deltanieuws 2016). Ook Dunea onderzoekt dit onderwerp en kijkt daarbij ook naar de mogelijkheden voor brakwaterwinning in de duinen (Stofberg, Zuurbier et al. 2018). In deze laatste studie zijn ook de kosten berekend voor brakwaterwinning en de afvoer van brijn (in de bodem of in zee, indien de zee dichtbij is). De totale kosten bleken in de range 0,90 tot 1,70 €/m³ te liggen, afhankelijk van factoren zoals rente, RO recovery efficiency en wijze van concentraatafvoer.

Aangezien deze bron centraal gewonnen en gezuiverd kan worden is deze relatief eenvoudig in te passen in het huidige systeem. De belangrijkste aandachtspunten in het kader van transitie naar het gebruik van deze bron zijn:

- Oplossing voor de lozing van het concentraat. Het concentraat bevat hogere concentraties zouten dan het gewonnen water. Daarnaast kan het van nature

aanwezige stoffen bevatten, zoals nutriënten en zware metalen, die door de ontzilting in hogere concentraties voorkomen. Lozing in de (diepere) ondergrond is in principe niet toegestaan, hoewel dit op kleinere schaal (glastuinbouw) onder voorwaarden vooralsnog tijdelijk wordt toegestaan. De Putter, Handgraaf et al. (2018) heeft de mogelijkheden voor brakwaterwinning en concentraatlozing juridisch verkend. Voordat brakwaterwinning toegepast zou kunnen worden, moet de lozing van het concentraat praktisch, maar ook juridisch worden geregeld.

- Geschikte locatie voor brakwaterwinning. Brakwaterwinning wordt vaak als gunstige optie gezien als het, naast een bron van drinkwater, ook andere gunstige effecten heeft, zoals vergroting van de zoetwatervoorraden (bij winning in de duinen) of vermindering van brakke kwel (bij winning in diepe polders). Of een dergelijk gunstig effect ook bereikt kan worden, hangt sterk af van de lokale situatie, waaronder bijvoorbeeld de gelaagdheid van de ondergrond. Transitie vereist daarom een grondige verkenning van de mogelijkheden op de beoogde locatie, inclusief aandacht voor eventuele nadelige gevolgen.

Zoals al eerder opgemerkt is het niet waarschijnlijk dat in bestaande wijken een tweede leidingnet zal worden aangelegd. In nieuwe wijken is dit wel mogelijk en daar wordt her en der al mee geëxperimenteerd. In SUPERlocal Kerkrade wordt een systeem ontwikkeld waarbij gezuiverd grijswater wordt gebruikt voor een gemeenschappelijke wasserette en een gemeenschappelijke autowasstraat. Omdat het exclusief voor deze functies wordt gebruikt, verkleint dat het risico op verkeerde aansluitingen aanzienlijk.

6 Discussie

6.1 Vergelijking van de scenario's

Tabel 19 toont een vergelijking van de belangrijkste kenmerken van ieder scenario. Opvallend is dat de zuiveringstechnieken in hoofdlijnen voor ieder scenario hetzelfde zijn. Er zijn wel belangrijk verschillen in de specifieke toepassing van de technieken, zoals de schaal en de combinatie van technieken voor specifieke verontreinigingen en technieken zoals buffering om vraag en aanbod in balans te brengen.

In alle scenario's neemt de complexiteit voor de waterbedrijven aanzienlijk toe. In het eerste scenario wordt dat vooral veroorzaakt door de lokale schaal van de waterproductie en de integratie met afvalwater en energie. Die integratie met afvalwater komt overigens in bijna ieder scenario terug. Het is opvallend dat de deelnemers aan de workshop in alle scenario's grijswater en neerslag als potentiële bron identificeerden, hoewel het belang van die bronnen per scenario verschilt.

In het tweede scenario wordt de complexiteit veroorzaakt door de toenemende integratie van de waterketen met de afvalwaterketen en de industriële waterketen. Grondwater- en oppervlaktewaterbronnen hebben doorgaans een voorspelbare kwaliteit en kwantiteit (afgezien van incidenten), maar industrieel restwater kan fluctueren per seizoen en kan onderbroken worden als gevolg van (bedrijfs)economische invloeden.

In het derde scenario staat de winning van brak grondwater centraal. Dit moet in goede samenhang gebeuren met andere functies in de omgeving. Zo kan voorkomen worden dat de winning van brak grondwater leidt tot verdroging of verzilting en kan het zelfs leiden tot een toename van zoetwatervoorraden of vermindering van het zoute kwel.

Wat in alle scenario's geldt, maar in het derde scenario wat nadrukkelijker is besproken, is de aanleg van een tweede leidingnet voor huishoudwater. Hoewel dit wordt gezien als een mogelijkheid om te besparen, is het een complexe maatregel, vooral vanwege de kans op verkeerde aansluitingen en contaminaties.

In alle scenario's liggen de kosten voor drinkwaterproductie aanzienlijk hoger dan in het huidige systeem. De kosten nemen toe, naarmate de schaal van de waterproductie afneemt. Dus een systeem op huishoudenniveau is duurder dan straatniveau, dat weer duurder is dan wijkniveau, etc. Het is moeilijk in te schatten of deze toename in kosten opwegen tegen de eventuele baten op andere gebieden (circulariteit, duurzaamheid, klimaatbestendigheid).

De impact op burgers van het gebruik van alternatieve bronnen in de scenario's wordt vooral bepaald door de lokale schaal van de waterproductie, het gebruik van grijswater (en ander restwater) als bron en het gebruik van huishoudwater. Hiervoor is gedragsverandering nodig bij burgers, soms onder invloed van een andere technologie (zoals een dubbel leidingstelsel), acceptatie van veranderingen in de omgeving (zoals lokaal zichtbare zuiveringen) of acceptatie van veranderingen in de ervaring van watergebruik (zoals kleur en geur van huishoudwater). Het zullen echter vooral de hoge kosten zijn die gepaard gaan met lokale drinkwaterproductie die de grootste invloed zullen hebben.

Als het gebruik van alternatieve bronnen leidt tot een afname in het gebruik van grondwater, dan heeft dat ook invloed op alle activiteiten rondom het winnen van grondwater, zoals bronbescherming. De drinkwaterbedrijven zijn een belangrijke pleitbezorger voor het beschermen van ons grondwater, bijvoorbeeld in reactie op vermessing door de landbouw of de winning van schaliegas. Als het belang van grondwater voor de drinkwatervoorziening afneemt, verliest het grondwater mogelijk een belangrijke belanghebbende.

De aanleg van lokale zuiveringen leidt tot een toename in het ruimtegebruik, vooral als er ook een tweede leidingnet voor huishoudwater wordt aangelegd. Dit leidt tot meer gebruik van de ruimte die vooral in de steden schaars is. Dit zou gecompenseerd worden door intensiever gebruik van de ruimte, bijvoorbeeld door het combineren van meerdere functies. Zo kan de berging van hemelwater gecombineerd worden met recreatie of natuur. Er zijn echter ook compactere RWZI's, bijvoorbeeld NEREDA, die in de periferie van een stedelijk gebied geplaatst kunnen worden. Daarmee wordt ruimte bespaard ten opzichte van de huidige RWZI's.

Tabel 19: Vergelijking van de scenario's

Thema	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Schaal	Sterk lokaal	Combinatie centraal-lokaal	Combinatie centraal-lokaal
Geleverde waterkwaliteiten	Drinkwater en huishoudwater	Drinkwater en huishoudwater	Drinkwater en huishoudwater
Waterbronnen	Neerslag, waterstof, ondiep grondwater, permanente bemalingen, oppervlaktewater, grijs water	Restwater industrie, restwater RWZI, water uit airconditioner, neerslag, grijs water, zwart water.	Brak grondwater (permanente bemaling), restwater industrie, grijs water, neerslag
Zuivering (hoofd)	Omgekeerde osmose, geavanceerde oxidatie	Omgekeerde osmose, geavanceerde oxidatie (indien zoutgehalte laag)	Omgekeerde osmose, geavanceerde oxidatie (indien zoutgehalte laag)
Gevolgen voor bedrijfsvoering	Geen centrale drinkwaterinfrastructuur; kleinschalige zuiveringen; sectorale integratie op lokaal niveau (energie, water, etc.), multi-utility, grotere rol voor burgers	Aanpassingen en aanvullingen aan huidige infrastructuur; afhankelijk van waterschappen en industrie; integratie van de waterketen; waterbedrijven moeten zelf ook circulair worden; minder	Dilemma tussen betere bronbescherming of zwaardere zuivering; hoge piekvraag; alternatief leidingnet voor huishoudwater (ook in andere scenario's)

		waterwinningen nodig	
Effecten op de omgeving en maatschappij	Minder bronbescherming, stijging grondwaterniveaus door minder onttrekking, meer drukte in de ondergrond (lokaal), andere ruimtelijk inrichting omgeving, gedragsverandering bij burgers	Lokale verdroging door hergebruik restwater (RWZI), andere ruimtelijke inrichting omgeving, acceptatie van het gebruik van restwater voor drinkwater.	Daling grondwaterniveaus en verzilting door onttrekking brak grondwater, concurrentie met landbouw en natuur, zoute reststroom RO.
Nieuwe risico's	Contaminatie door verkeerd gebruik/verkeerde aansluitingen	Industrie onderbreekt levering door faillissement of sluiting fabriek	Verzilting of daling grondwaterstand door gebruik brak grondwater

6.2 Discussie: decentrale zuiveringen

Over het algemeen kan worden gesteld dat een zuivering goedkoper en effectiever wordt naarmate de schaal groter wordt. Dit kwam ook duidelijk naar voren uit eerder onderzoek (Hofman-Caris, de Waal et al. 2018, Hofman-Caris, Cirkel et al. 2019). Vanaf ongeveer 600 woningen bleken de kosten per m³ geproduceerd drinkwater in de orde grootte uit te komen van de huidige kosten voor centraal geproduceerd en gedistribueerd drinkwater. Dit betekent in de praktijk dat op wijkschaal decentrale zuivering financieel te realiseren is. Hoewel in die onderzoeken vooral naar de kosten voor de zuivering is gekeken, kost ook het aanleggen van een extra of dubbel leidingnet veel geld. De kosten voor aansluiting op het drinkwaternet per meter aan te leggen drinkwaterleiding zijn (sterk) afhankelijk van het type ondergrond waarin gegraven moet worden en de lokale infrastructuur (gebouwen, wegen, natuurlijke barrières, etc.). Als vuistregel voor het aanleggen van een drinkwaterleiding (Mesman 2018) kan worden gesteld: één euro per millimeter leidingdiameter per meter leiding. De standaard diameter van een dienstleiding voor een woning is 32 mm. De kosten voor het aanleggen van deze leiding op basis van bovengenoemde vuistregel bedragen dus 32 euro per meter aangelegde drinkwaterleiding. Bij dit bedrag gaat men uit van een levensduur van 60 jaar van een nieuw aangelegde drinkwaterleiding.

Een belangrijk aspect in het verhaal van decentrale zuivering zijn de kosten voor de benodigde analyses. In het Drinkwaterbesluit is vastgelegd welke parameters met welke frequentie op welk punt in het productieproces gemeten moeten worden (in het ruwe water, het reine water en aan de tap). De kosten hiervoor bedragen zeker €20.000,- per jaar per zuivering. Naarmate de debieten kleiner zijn kunnen de kosten per m³ geproduceerd drinkwater hierdoor sterk toenemen. Wel is in het drinkwaterbesluit vastgelegd dat bepaalde parameters minder vaak of zelfs helemaal niet meer gemeten hoeven te worden, mits minstens twee of drie jaar achter elkaar de waarden van die parameters (ver) onder de norm zijn gebleven. Er zijn echter niet zo heel veel parameters die hiervoor in aanmerking komen, en dan nog pas na verloop van tijd. De hoogste analysekosten worden veroorzaakt door microbiologische analyses, die vanwege de veiligheid niet weggelaten kunnen worden.

Kosten zijn echter niet het enige aspect waarnaar gekeken moet worden, en in een omgeving kunnen ook andere belangen een rol spelen, die moeten worden afgewogen. Voorbeelden hiervan zijn:

- Regenwateropvang betekent dat er ruimte moet zijn om het water te bergen, omdat regenwater vaak in pieken valt. Ondergrondse berging is de mooiste oplossing, maar niet altijd praktisch haalbaar. Bovengrondse berging vraagt veel oppervlak, dat bijvoorbeeld in een stad niet altijd beschikbaar is.
- Regenwateropvang in een gesloten tank kan eigenlijk alleen als het water op korte termijn gezuiverd kan worden, omdat ongezuiverd water niet lang bewaard kan worden. Dit kan betekenen dat een grote zuiveringscapaciteit geïnstalleerd moet worden, die in de praktijk slechts af en toe benut wordt.
- Bij membraanprocessen kunnen vrij grote concentraatstromen vrijkomen, die behandeld en/of geloosd moeten worden. Niet overal is dit te realiseren.
- Decentrale zuiveringen zijn kwetsbaarder voor incidenten. De beveiliging van een groot aantal kleine zuiveringen is lastiger te organiseren dan de beveiliging van één grote centrale zuivering. Bij centrale zuiveringen is er een grotere kans op systeemrisico's, maar doordat zuiveringen eigenlijk altijd redundant zijn uitgevoerd zijn de gevolgen van storingen klein. Bovendien is het in de praktijk vaak mogelijk bij calamiteiten een klein deel van het net te isoleren, en mensen via andere routes drinkwater te leveren. Bij kleinschalige zuiveringen zal dit veel minder het geval zijn, waardoor een andere oplossing beschikbaar moet zijn voor calamiteiten. Bij heel kleinschalige zuiveringen kan nog drinkwater aangeleverd worden per tankwagen, maar in bijvoorbeeld een stedelijke omgeving is een dergelijke oplossing praktisch niet haalbaar, omdat het om te grote volumes gaat.
- Een centraal net aanleggen puur als back-up geeft grote nadelen voor dit centrale net. Zo zal in geval van nood voldoende water geleverd moeten kunnen worden, waardoor zowel het leidingnet als de zuiveringscapaciteit vrij groot moeten zijn, terwijl die vaak niet in gebruik zijn. Dit resulteert in relatief hoge kosten per m³ geleverd water. Door lange verblijftijden in het net kan ook de waterkwaliteit achteruit gaan. Een centrale zuivering met centraal leidingnet kan eigenlijk alleen worden toegepast, als het continu in gebruik is, en dus decentrale zuivering als aanvulling hierop beschouwd kan worden.
- Het aanleggen van extra zuiveringen en leidingnetten heeft een relatief grote voetafdruk. Verder geldt dat kleinschalige zuiveringen minder efficiënt zijn, en daardoor in de regel ook een grotere voetafdruk geven (denk bv. aan de lagere recovery die bij RO-processen kan worden gerealiseerd op kleinere schaal).
- Op het ogenblik bestaan er nog geen goede online sensoren om de waterkwaliteit te bewaken. Juist bij kleinschalige systemen, waarbij het geproduceerde drinkwater vrijwel direct bij de klant komt, is het heel belangrijk goed en vooral veilig drinkwater te leveren, maar dat is op dit moment dus vrij lastig te garanderen. Uiteraard kunnen analyses worden uitgevoerd, maar op het ogenblik kosten die per zuivering ongeveer €20.000,- per jaar (wat kleinschalige zuiveringen bijzonder kostbaar maakt), en bovendien duurt het minstens een dag voordat de resultaten hiervan beschikbaar komen, en eventueel maatregelen kunnen worden genomen. Decentrale systemen worden vooral interessant als er online sensoren komen, die ervoor zorgen dat bij problemen de levering van water direct gestopt wordt. Hiervoor moet dan wel een back-up systeem aanwezig zijn.

- Het klantvertrouwen in centraal geleverd drinkwater is groot, en dit vertrouwen moet behouden blijven. Met name bij gebruik van grijs water en RWZI effluent is het belangrijk dit aspect mee te wegen.
- In het huidige systeem worden grijs en zwart water op een RWZI gezuiverd, en wordt het effluent op het oppervlaktewater geloosd. Kleine oppervlaktewateren bestaan dan ook vaak voor meer dan 50% uit RWZI effluent. Indien het grijze en zwarte water niet meer via de RWZI op het oppervlaktewater zal worden geloosd, heeft dit mogelijk consequenties voor de waterstand in die oppervlaktewateren.
- Wat betekent het gebruik van decentrale bronnen voor de beschikbaarheid van bluswater?

Dit betekent dat er voor een optimalisatie een compleet overzicht gemaakt moet worden, waarin alle stakeholders betrokken moeten worden.

Dat er veel aandacht is voor decentrale zuiveringsprocessen voor (drink)water, komt deels ook doordat mensen duurzamer willen leven. Uit eerder onderzoek (Hofman-Caris, de Waal et al. 2018; Hofman-Caris, Bertelkamp et al. 2019) is gebleken dat, wanneer alleen consumables worden beschouwd, decentrale zuivering in het beste geval een heel kleine milieuwinst oplevert, die echter teniet wordt gedaan door de materialen en de energie die nodig zijn voor meerdere kleinschalige productiefaciliteiten en de aanleg van extra distributienetten. Dezelfde overwegingen gelden ook voor de in dit rapport beschreven kleinschalige zuiveringen.

Toch kan het de moeite waard zijn kleinschalige zuiveringen te realiseren. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan afgelegen gebieden, waarvoor het moeilijk en/of duur is ze aan te sluiten op het centrale net. Het kan zijn dat de kosten hiervoor te hoog zijn, maar het is ook mogelijk dat het praktisch lastig te realiseren is vanwege drukverliezen in de leiding (Hofman-Caris, Cirkel et al. 2019). Een andere overweging kan zijn dat bepaalde alternatieve waterbronnen voorhanden zijn. Zo neemt de behoefte toe om piekbuien op te vangen om schade door overstromingen te voorkomen. Als het water eenmaal is opgevangen, is het jammer het vervolgens niet te gebruiken.

Dit betekent dat gebruik van alternatieve bronnen en decentrale, kleinschalige, zuiveringen niet op voorhand moet worden afgeschreven. Afhankelijk van de omstandigheden is het denkbaar dat bijvoorbeeld een op zichzelf duurdere zuivering toch zodanige (praktische) voordelen biedt, dat dat te verkiezen is boven centrale drinkwaterproductie. Wel is het met name bij decentrale drinkwaterproductie van groot belang dat de waterkwaliteit voldoende gewaarborgd kan worden. De ontwikkeling van geschikte sensoren lijkt hiervoor een vereiste, want met de huidige benodigde analyses zal elke kleinschalige zuivering al gauw veel te duur worden.

7 Conclusies

In dit onderzoek is verkend wat de impact kan zijn van het gebruik van alternatieve bronnen voor de productie van drinkwater. Uit de uitwerking van de scenario's blijkt dat er diverse bronnen zijn die kansrijk geëxploiteerd zouden kunnen worden, maar nu nog niet (of weinig worden benut).

Brak grondwater, industrieel restwater, RWZI effluent en permanente bemalingen zijn relatief goed te combineren met ons huidige drinkwatersysteem. Er zullen vooral aanpassingen moeten worden gedaan aan de zuiveringskant, maar distributie kan grotendeels op dezelfde manier plaatsvinden. Bij de restwatercategorie is de continuïteit van de beschikbaarheid een mogelijke uitdaging. Lozing van verontreinigd water op oppervlaktewater wordt echter steeds minder toegestaan. Als toch een zuivering moet worden toegepast, kan het voordeliger zijn om dan ook een hoogwaardiger toepassing voor het water te zoeken.

Voor neerslag en grijswaterhergebruik geldt dat de schaal van de zuivering zeer bepalend is voor zowel de efficiëntie als de kosten. Kleinschalige zuiveringen zijn bijna altijd duurder en minder efficiënt dan zuiveringen op grotere schaal. Dat er veel aandacht is voor decentrale zuiveringsprocessen voor (drink)water, komt deels doordat mensen duurzamer willen leven. De milieu-impact van kleinschalige drinkwaterzuiveringen zal echter nauwelijks of niet kleiner zijn dan die van centrale drinkwaterproductie.

Toch kan het de moeite waard zijn kleinschalige zuiveringen te realiseren, afhankelijk van de lokale omstandigheden. Voorbeelden zijn afgelegen gebieden, waarvoor het moeilijk en/of duur is ze aan te sluiten op het centrale net, of de aanwezigheid van bepaalde alternatieve waterbronnen (als opgevangen piekbuien).

Voor restwater uit airconditioners of uit het gebruik van waterstof is de impact moeilijk vast te stellen. Vanwege de kleine hoeveelheden die ook nog eens zeer locatie-specifiek zijn (een airco of de afvoer van een fuel cell) kan dit misschien in specifieke gevallen een klein onderdeel van de watervoorziening zijn.

De scenario's laten zien dat de inzet van alternatieve bronnen vooral leidt tot een grotere diversiteit, zowel in gebruikte waterbronnen als in schaalniveaus van zuivering en distributie. Daarbij zijn het sluiten van (lokale) waterketens en het leveren van verschillende kwaliteiten water stevast ingrediënten van de toekomstbeelden. Dit kunnen we uiteraard niet opvatten als een voorspelling, maar het laat vooral zien welke beelden er in de sector bestaan ten aanzien van een toekomstige watervoorziening op basis van alternatieve bronnen.

8 Referenties

De Putter, P., S. Handgraaf, K. Zuurbier and K. Raat (2018). COASTAR Bestuurlijk-juridisch onderzoek naar het grootschalig opslaan van zoet water in de (brakke) ondergrond. Nieuwegein, KWR.

Deltanieuws (2016). "Temmen van brakke kwel in de Horstermeer." Deltanieuws 6(4).

DHV Water (2000). Handboek kosten kleinschalige waterbehandeling. Amersfoort, DHV

Hofman-Caris, C. H. M., C. Bertelkamp, L. d. Waal, T. v. d. Brand, J. Hofman, R. v. d. Aa and J. P. v. d. Hoek (2019a). "Rainwater Harvesting for Drinking Water Production: A Sustainable and Cost-Effective Solution in The Netherlands?" Water 11(3).

Hofman-Caris, C. H. M., G. Cirkel, H. Huiting and L. d. Waal (2019b). Stand-alone decentrale zuivering voor afgelegen gebieden. Nieuwegein, KWR Watercycle Research Institute.

Hofman-Caris, C. H. M., L. de Waal and T. Van Den Brand (2018). Regenwater als bron voor drinkwater: productiekosten en milieuaspecten. Nieuwegein, KWR Watercycle Research Institute.

Khoury, M., M. Morley and D. Savic (2016). Serious Game Approach to Water Distribution System Design and Rehabilitation Problems.

Mesman, G. (2018). KWR Watercycle Research Institute.

Oesterholt, F. (2003). Beleidsonderbouwende monitoring huishoudwater.. Nieuwegein, Kiwa Water Research.

Oesterholt, F., A. Sluijs, M. N. Mons and G. J. Medema (2003). Evaluatie van praktijkervaringen met huishoudwater. H2O, KNW. 16: 22-24.

Roest, E. v. d., L. Snip, M. Bloemendal and A. v. Wijk (2018). Power to X. Nieuwegein, KWR Water Research Institute.

Stofberg, S. F., C. Bertelkamp, M. Huijgevoort and P. S. Bauerlein (2018) Achtergronddocument VO Alternatieve Bronnen voor Drinkwater. Nieuwegein, The Netherlands, KWR Water Research Institute.

Stofberg, S. F., K. G. Zuurbier, G. Janssen, G. H. P. Oude Essink, E. S. Van Baaren, A. M. H. Boonekamp, W. De Buck, J. Hulzebos, M. Schetters and G. Zwolsman (2018). COASTAR - Verkenning strategische brakwaterwinning. Nieuwegein, Allied Waters.

Water, D. (2000). Handboek Kosten Kleinschalige Waterbehandeling. Amersfoort, DHV.

Waternet. (2017). "Onderzoek: van zout kwelwater naar drinkwater." from <https://www.waternet.nl/blog/onderzoek-van-zout-kwelwater-naar-drinkwater/>.

Wit, J. B. d., R. d. Graaf, N. Nico Elzinga, W. Debucquoy, G. P. 't Lam, J. Rodenhuis, E. Stutterheim and L. Piekema (2018). EVALUATIE NIEUWE SANITATIE NOORDERHOEK/WATERSCHOON 2.

Bijlage I

Factsheet Bokkerlo en omstreken

Gemeente Bokkerlo

20.000 woningen met verharde daken en 50% zonnepanelen

Normale verharding straten en trottoirs

Ecodorp Twigt

300 woningen met groene daken

Minimale verharding

Buurtschap Buitenrust

5 vrijstaande woningen

Omgeven door landbouwgrond

Overige bedrijvigheid

Waterstoftankstation

RWZI

Aardappelfabriek

Boerderijen

Permanente bemaling

Open water

Meer (zoet)

Rivier (zoet)

Zee (zout)



Scenario 1: Maximale waterbesparing en lokale bronnen

De vijf extreem droge zomers van 2018 tot 2023 hebben de publieke opinie rond water gekanteld. Besparen is hip & happening. Met sensoren en apps kunnen mensen hun waterverbruik real time volgen en via social media vergelijken met hun vrienden. Tegelijkertijd zoeken mensen naar manieren om zelf iets te doen in de watervoorziening. Waterschappen en drinkwaterbedrijven proberen dit te faciliteren door lokale oplossingen aan te bieden.



Opdracht: Ontwikkel een watervoorziening die uitgaat van waterbesparing en de benutting van lokale bronnen.

- Bespreek welke gevolgen het scenario heeft voor het watersysteem
- Gebruik de tegels om combinaties te maken tussen bronnen en zuiveringen.
- Als je verschillende kwaliteiten water produceert, geef dan aan welk water voor welke functies worden gebruikt.
- Geef aan hoeveel liter/per persoon/per dag het systeem produceert.
- Geef ook aan op welke schaal (aantallen huishoudens) het systeem functioneert.

Beantwoord na het ontwerp de volgende vragen:

1. Wat betekent dit systeem voor je rol als drinkwaterbedrijf?
2. Welke 'externe effecten' heeft het systeem? Veroorzaakt het problemen elders of lost het deze juist op?
3. Wat voor onderzoeksvragen roept dit scenario op?

Scenario 2: Circulaire economie

Internationale onrust en dreigende schaarste aan grondstoffen hebben de transitie naar een circulaire economie versneld. Ook de watersector heeft de handschoen opgepakt. Het gebruik van allerlei vormen van restwater is een belangrijk criterium geworden bij de ontwikkeling van de watervoorziening om zo lozingen en onttrekkingen te minimaliseren.



Opdracht: Ontwikkel een watervoorziening die uitgaat van het zoveel mogelijk gebruiken van allerlei vormen van restwater.

- Bespreek welke gevolgen het scenario heeft voor het watersysteem
- Gebruik de tegels om combinaties te maken tussen bronnen en zuiveringen.
- Als je verschillende kwaliteiten water produceert, geef dan aan welk water voor welke functies worden gebruikt.
- Geef aan hoeveel liter/per persoon/per dag het systeem produceert.
- Geef ook aan op welke schaal (aantallen huishoudens) het systeem functioneert.

Beantwoord na het ontwerp de volgende vragen:

1. Wat betekent dit systeem voor je rol als drinkwaterbedrijf?
2. Welke 'externe effecten' heeft het systeem? Veroorzaakt het problemen elders of lost het deze juist op?
3. Wat voor onderzoeksvragen roept dit scenario op?

Scenario 3: Onder druk

Nederland krijgt te maken met de gevolgen van klimaatverandering. Verzilting en bodemdaling in het westen, extreme neerslagepisodes afgewisseld met langdurige droogte wat leidt tot grote fluctuaties in de rivier aanvoer. Ondertussen neemt de intensivering van de landbouw toe ten koste van de kwaliteit en kwantiteit van grondwaterbronnen. Tegen de verwachtingen in stijgt het individuele waterverbruik sterk, ondanks besparingscampagnes. Klimaatimmigratie leidt bovendien tot een snelle groei van de bevolking, met name in stedelijke gebieden.



Opdracht: Ontwikkel een watervoorziening die een antwoord vormt op de in het scenario genoemde uitdagingen

- Bespreek welke gevolgen het scenario heeft voor het watersysteem
- Gebruik de tegels om combinaties te maken tussen bronnen en zuiveringen.
- Als je verschillende kwaliteiten water produceert, geef dan aan welk water voor welke functies worden gebruikt.
- Geef aan hoeveel liter/per persoon/per dag het systeem produceert.
- Geef ook aan op welke schaal (aantallen huishoudens) het systeem functioneert.

Beantwoord na het ontwerp de volgende vragen:

1. Wat betekent dit systeem voor je rol als drinkwaterbedrijf?
2. Welke 'externe effecten' heeft het systeem? Veroorzaakt het problemen elders of lost het deze juist op?
3. Wat voor onderzoeksvragen roept dit scenario op?

Bijlage II

Kostenberekeningen voor Scenario 1

Tabel 20: kostenberekeningen voor de stad in scenario 1

Scenario	type	bron	Totaal debiet (m³/jaar)	Stad		Kosten over tien jaar (€)
					zuivering	
1a	RO	Hemelwater dak + weg	575.000	Buffertank (staal) - boosterpomp - zakfilter 25 µm - filterkaars 5 micron – RO (40%) – dosing pump < 4 bar - remineralisatie & pH-correctie -buffertank DW – distributiepomp- UV piekfactor		84.706.269
1b	AOP	Hemelwater dak + weg	575.000	Buffertank (staal) - boosterpomp - zakfilter 25 µm - UF desinfectie – UV/H ₂ O ₂ + dosing pump >4 bar – A.K.F.(40) - Remin / pH correctie + dosing pump < 4 bar - buffertank DW - distributiepomp DW - UV piekfactor		42.216.575
1c	RO	ondiep zoet grondwater	1.036.045	winputten - lage druk RO – remineralisatie (kosten snelfilter) & pH correctie (chemicaliendosering + chemicalienopslag) - actieve kool filtratie (5) - buffertank staal/kunststof - distributiepomp - UV desinfectie		5.111.585
1d	RO	ondiep zoet grondwater	604.795	winputten - lage druk RO – remineralisatie (kosten snelfilter) & pH correctie (chemicaliendosering + chemicalienopslag) - actieve kool filtratie (5) - buffertank staal/kunststof - distributiepomp - UV desinfectie		4.080.137
1e	AOP	ondiep zoet grondwater	828.836	winputten -> beluchting / ontgassing -> microzeef -> ultrafiltratie -> chemicaliendosering + chemicalien opslag -> H ₂ O ₂ /UV -> actieve kool filtratie (40) - > Buffertank staal / kunststof -> distributiepomp - UV desinfectie		18.051.275
1f	AOP	ondiep zoet grondwater	483.836	winputten -> beluchting / ontgassing -> microzeef -> ultrafiltratie -> chemicaliendosering + chemicalien opslag -> H ₂ O ₂ /UV -> actieve kool filtratie (40) - > Buffertank staal / kunststof -> distrubtiepomp - UV desinfectie		11.573.027

1g	Grijs	Grijs water huishoudelijke bron (alles behalve toilet en was)	978.078	aanzuigpomp - vast vuil afscheider (kosten van zakfilter) - buffertank - boosterpomp - wasbaar zak filter 500µm - zak filter 25µm - Ultrafiltratie (fijn filtratie) - buffertank HW - UV - recirculatiepomp (aanzuigpomp) - distributiepomp HW	101.681.992
----	-------	---	---------	---	-------------

Tabel 21: kostenberekeningen voor het dorp in scenario 1

Dorp					
Scenario	type	bron	Totaal debiet (m ³ /jaar)	zuivering	
1h	RO	Dak neerslag	11.400	Buffertank HW + DW (HDPE) - boosterpomp - zakfilter 25 µm - filterkaars 5 micron - RO (20%) - dosing pump < 4 bar - remineralisatie & pH-correctie -buffertank DW - distributiepomp- UV	2.838.990
1i	AOP	Dak neerslag	11.400	Buffertank HW + DW (HDPE) - boosterpomp - zakfilter 25 µm - UF desinfectie - UV/H ₂ O ₂ + dosing pump >4 bar - A.K.F.(40) - Remin / pH correctie + dosing pump < 4 bar - buffertank DW - distributiepomp DW - UV piekfactor	3.937.126
1j	RO	Oppervlaktewater	27.760	Aanzuigpomp - uitwasbaar zakfilter - zakfilter 25 µm - UF (fijn-filtratie) - Buffervat DW + HW HDPE - boosterpomp - RO (40% recovery) - dosing pump < 4 bar - remineralisatie & pH-correctie - A.K.F(5) - Buffertank DW - distributiepomp - UV piekfactor	518.017
1k	RO	Oppervlaktewater	4.960	Aanzuigpomp - uitwasbaar zakfilter - zakfilter 25 µm - UF (fijn-filtratie) - Buffervat DW + HW HDPE - boosterpomp - RO (40% recovery) - dosing pump < 4 bar - remineralisatie & pH-correctie - A.K.F(5) - Buffertank DW - distributiepomp - UV piekfactor	176.893

1l	AOP	Oppervlaktewater	11.104	Aanzuigpomp - uitwasbaar zakfilter – zakfilter 25 µm - UF (Desinfectie) – UV/H ₂ O ₂ + dosing pump >4 bar – A.K.F(40) - Buffertank DW - distributiepomp – UV	310.322
1m	AOP	Oppervlaktewater	1.984	Aanzuigpomp - uitwasbaar zakfilter – zakfilter 25 µm - UF (Desinfectie) – UV/H ₂ O ₂ + dosing pump >4 bar – A.K.F(40) - Buffertank DW - distributiepomp – UV	156.323
1n	Grijs	Grijs water huishoudelijke bron (alles behalve toilet en was)	12.355	aanzuigpomp - vast vuil afscheider (kosten van zakfilter) - buffertank - boosterpomp - wasbaar zak filter 500µm - zak filter 25µm - Ultrafiltratie (fijn filtratie) - buffertank HW - UV - recirculatiepomp (aanzuigpomp) - distributiepomp HW	1.857.488

Bijlage III

Kostenberekeningen voor scenario 2

Tabel 22: kostenberekeningen voor de stad in scenario 2

scenario	type	bron	Totaal debiet (m ³ /jaar)	Stad	
				zuivering	Kosten over tien jaar (€)
2a	RO	Effluent aardappelfabriek	1.000.000	microzeef - ultrafiltratie - omgekeerde osmose - remin + pH (kosten snelfilter) - buffertank - Distributiepomp - UV desinfectie	9.121.797
2b	RO	RWZI effluent	1.451.052	deeltjesafvang microzeven, UF-RO (25 l/mh), rekening houden met pathogenen, robuuste desinfectiebarrieres, opharding, remin, buffer, distributiepomp - UV desinfectie.	9.921.067
2c	Grijs	Grijs water	795.515	Aanzuigpomp - Vuilafvang (kosten van zakfilter) - buffertank HW + DW incl. wasbaar zakfilter - boosterpomp - zakfilter 25 micron - UF (fijn filtratie) - UV desinfectie - aanzuigpomp voor recirculatie - buffertank - distributiepomp	202.016.306

Tabel 23: kostenberekeningen voor het dorp in scenario 2

scenario	type	bron	Totaal debiet (m ³ /jaar)	Dorp	
				zuivering	Kosten over tien jaar (€)
2d	RO	Neerslag dak	11.400	Buffertank HW + DW (HDPE) - boosterpomp - zakfilter 25 µm - filterkaars 5 micron - RO (20%) - dosing pump < 4 bar - remineralisatie & pH-correctie - buffertank DW - distributiepomp - UV	1.711.180
2e	AOP	Neerslag dak	11.400	Buffertank HW + DW (HDPE) - boosterpomp - zakfilter 25 µm - UF desinfectie - UV/H ₂ O ₂ + dosing pump >4 bar - A.K.F.(40) - Remin / pH correctie + dosing pump < 4 bar - buffertank DW - distributiepomp DW - UV piekfactor	2.084.123
2f	RO	Grijs water	36.125	Aanzuigpomp - Vuilafvang (kosten zakfilter) - buffertank HW + DW+zakfilter+UV desinfectie+boosterpomp (recirculeren met UV en zakfilter in recirculatie) - Aanzuigpomp - UF (fijn-filtratie) - Buffervat DW + HW HDPE - boosterpomp - RO (40% recovery) - dosing pump < 4 bar - remineralisatie & pH-correctie - A.K.F(5) - Buffertank DW - distributiepomp - UV piekfactor	1.486.761
2g	RO	Grijs water	26.650	Aanzuigpomp - Vuilafvang (kosten zakfilter) - buffertank HW + DW+zakfilter+UV desinfectie+boosterpomp (recirculeren met UV en zakfilter in recirculatie) - Aanzuigpomp - UF (fijn-filtratie) - Buffervat DW + HW HDPE - boosterpomp - RO (20% recovery) - dosing pump < 4 bar - remineralisatie & pH-correctie - A.K.F(5) - Buffertank DW - distributiepomp - UV piekfactor	1.333.539
2h	AOP	Grijs water	15.443	Aanzuigpomp - Vuilafvang (kosten zakfilter) - buffertank HW + DW+zakfilter+UV desinfectie+boosterpomp (recirculeren met UV en zakfilter in recirculatie) -	1.187.813

				Aanzuigpomp - UF (Desinfectie) - UV/H ₂ O ₂ + dosing pump >4 bar - A.K.F(40) - Buffertank DW - distributiepomp - UV	
2i	AOP	Grijs water	15.443	Aanzuigpomp - Vuilafvang (kosten zakfilter) - buffertank HW + DW+zakfilter+UV desinfectie+boosterpomp (recirculeren met UV en zakfilter in recirculatie) - Aanzuigpomp - UF (Desinfectie) - UV/H ₂ O ₂ + dosing pump >4 bar - A.K.F(40) - Buffertank DW - distributiepomp - UV	984.336
2j	RO	Grijs water + neerslag	41.825	Aanzuigpomp - Vuilafvang (kosten zakfilter) - buffertank HW + DW+zakfilter+UV desinfectie+boosterpomp (recirculeren met UV en zakfilter in recirculatie) - Aanzuigpomp - UF (fijn-filtratie) - Buffervat DW + HW HDPE - boosterpomp - RO (40% recovery) - dosing pump < 4 bar - remineralisatie & pH-correctie - A.K.F(5) - Buffertank DW - distributiepomp - UV piekfactor	3.217.131
2k	AOP	Grijs water + neerslag	26.843	Aanzuigpomp - Vuilafvang (kosten zakfilter) - buffertank HW + DW+zakfilter+UV desinfectie+boosterpomp (recirculeren met UV en zakfilter in recirculatie) - Aanzuigpomp - UF (Desinfectie) - UV/H ₂ O ₂ + dosing pump >4 bar - A.K.F(40) - Buffertank DW - distributiepomp - UV	1.890.355
2l	Grijs	Grijs water	10.113	Aanzuigpomp - Vuilafvang (kosten van zakfilter) - buffertank HW + DW incl. wasbaar zakfilter - boosterpomp - zakfilter 25 micron - UF (fijn filtratie) - UV desinfectie - boosterpomp voor recirculatie - buffertank - distributiepomp	706.492
2m	Grijs	Grijs water	11.933	Aanzuigpomp - Vuilafvang (kosten van zakfilter) - buffertank HW + DW incl. wasbaar zakfilter - boosterpomp - zakfilter 25 micron - UF (fijn filtratie) - UV desinfectie - boosterpomp voor recirculatie - buffertank - distributiepomp	730.141

Bijlage IV

Kostenberekeningen voor scenario 3

Tabel 24: kostenberekeningen voor de stad en het dorp in scenario 3. Zowel stad als dorp krijgen centraal geproduceerd drinkwater via scenario a, of b en c, maar het huishoudwater wordt lokaal geproduceerd, via 3d voor de stad en 3f voor het dorp.

scenario	type	bron	Totaal debiet (m ³ /jaar)	Stad en dorp	
				zuivering	Kosten over tien jaar (€)
3a	RO	Brak grondwater	1.954.984	winputten - lage druk RO – remineralisatie (kosten snelfilter) & pH correctie (chemicaliëndosering + chemicalienopslag) - actieve kool filtratie (5) - buffertank staal/kunststof - distributiepomp - UV desinfectie	8.324.820
3b	AOP	Brak grondwater	1.563.987	winputten -> beluchting / ontgassing -> microzeef -> ultrafiltratie -> chemicaliëndosering + chemicalien opslag -> H ₂ O ₂ /UV -> actieve kool filtratie (40) -> Buffertank staal / kunststof -> distributiepomp - UV desinfectie	32.452.885
3c	RO	Aardappelfabriek	1.000.000	microzeef - ultrafiltratie - omgekeerde osmose - remin + pH (kosten snelfilter) - buffertank - Distributiepomp - UV desinfectie	9.149.537
3d	Grijs	Grijs water	1.403.940	aanzuigpomp - vast vuil afscheider (kosten van zakfilter) - buffertank - boosterpomp - wasbaar zak filter 500µm - zak filter 25µm - Ultrafiltratie (fijn	32.036.052

3f	grijs	Grijs water	21.059	filtratie) - buffertank HW -UV -recirculatiepomp (aanzuigpomp kosten) - distributiepomp HW aanzuigpomp - vast vuil afscheider (kosten van zakfilter) - buffertank - boosterpomp - wasbaar zak filter 500µm - zak filter 25µm - Ultrafiltratie (fijn filtratie) - buffertank HW -UV -recirculatiepomp (aanzuigpomp kosten) - distributiepomp HW	864.865
----	-------	-------------	--------	---	---------