



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

De **drinkwatervoorziening** van de toekomst

Ontwikkeling bronnen, zuiveringstechnologie en
klimaatrisico's 2030 tot 2050

De drinkwatervoorziening van de toekomst

Ontwikkeling bronnen, zuiveringstechnologie en klimaatrisico's
2030 tot 2050

RIVM-rapport 2024-0221

Colofon

© RIVM 2025

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

DOI 10.21945/RIVM-2024-0221

R.C. van Leerdam (auteur/coördinator), RIVM

K.S. As (auteur), RIVM

N.G.F.M. van der Aa (auteur), RIVM

Contact:

R.C. van Leerdam

Centrum Milieu en Veiligheid Duurzaamheid Drinkwater Bodem

robin.van.leerdam@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, directie Waterkwaliteit en grote wateren in het kader van de opdracht Bescherming drinkwater en -bronnen, deelproject Waterbeschikbaarheid (M/270101/23/AA) en in het kader van kennisbasisproject Klimaatbestendige drinkwatervoorziening (M/452004/23/KD).

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

De drinkwatervoorziening van de toekomst

Ontwikkelingen bronnen, zuiveringstechnologie en klimaatrisico's 2030 tot 2050

In Nederland zijn zoetwaterbronnen, zoals grote rivieren en grondwater, de basis voor drinkwater. De komende jaren zal in Nederland meer drinkwater nodig zijn, onder meer door de bevolkingsgroei en klimaatverandering. Om aan die vraag te kunnen voldoen, zal de komende jaren meer water uit deze bronnen worden gewonnen. Daarnaast zullen andere soorten bronnen nodig zijn, zoals brak grondwater. Gelijktijdig moet worden ingezet op drinkwaterbesparing.

Het water uit deze nieuwe bronnen vraagt een grotere zuiveringsinspanning om drinkwater van een goede kwaliteit te krijgen. Om onnodige zuivering te voorkomen, is het belangrijk om alle bronnen voor drinkwater zo schoon mogelijk te houden. Dit blijkt uit een door het RIVM gemaakte analyse van ontwikkelingen die invloed hebben op de drinkwatervoorziening van de toekomst.

Van brak grondwater kan drinkwater worden gemaakt door het teveel aan zout eruit te halen. In de toekomst kunnen misschien ook zeewater en gezuiverd huishoudelijk afvalwater worden gebruikt om drinkwater van te maken. De extra zuivering kost geld. Ook moet de wet- en regelgeving worden aangepast om dergelijke bronnen voor de drinkwaterproductie te mogen gebruiken.

De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) wil dat bronnen voor drinkwater schoner worden, zodat drinkwaterbedrijven zo min mogelijk hoeven te zuiveren. Nederland houdt dat doel aan. Toch verwachten veel drinkwaterbedrijven dat ze in de toekomst meer moeten zuiveren voor een goede drinkwaterkwaliteit. Bijvoorbeeld met membraanfilters, die zeer schoon drinkwater kunnen maken. Dat heeft nadelen. Het kost meer energie en er blijft vuil water achter waarmee weer iets moet gebeuren.

Veranderingen in het klimaat, zoals droogte en hevige regenbuien, hebben gevolgen voor de drinkwatervoorziening. Tijdens droge zomers zijn sommige effecten al te zien, zoals te zoute bronnen, te warm rivierwater waar meer ongewenste bacteriën in groeien, een slechtere waterkwaliteit, en natuurschade door lage grondwaterstanden. Ook kan door droogte minder water beschikbaar zijn voor drinkwater, of zijn extra maatregelen nodig om het drinkwater van goede kwaliteit te houden. De verwachting is dat deze klimaateffecten in de toekomst vaker optreden.

Kernwoorden: drinkwater, toekomst, bronkeuzes en afwegingen, zuivering, klimaatrisico's en maatregelen

Synopsis

The drinking water supply of the future

Developments in water sources, purification technology and climate risks from 2030 to 2050

In the Netherlands, freshwater sources, such as large rivers and groundwater, are the basis for drinking water. In the coming years, there will be an increased demand for drinking water in the Netherlands, in part because of population growth and climate change. To meet this demand, more water will be extracted from these sources in the coming years. Additionally, other types of sources will be necessary, such as brackish groundwater. Simultaneously, drinking water conservation must be stimulated.

However, the water from these new sources must undergo additional purification to ensure the drinking water is of good quality. To prevent unnecessary purification, it is important to keep all water sources for drinking water as clean as possible. This emerged from an analysis drawn up by the National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) of developments that will impact the drinking water supply of the future.

Brackish groundwater can be turned into drinking water by removing the excess salt. In future, it may be possible to turn seawater and purified domestic wastewater into drinking water as well. Certain expenses will be associated with this additional purification. Moreover, laws and legislation must be amended before these sources can be used for drinking water production.

The European Water Framework Directive (WFD) aims to ensure cleaner drinking water sources, to reduce the amount of purification drinking water companies have to perform as much as possible. The Netherlands is trying to meet that target. Nevertheless, many drinking water companies expect that more purification will be necessary in future to ensure good quality of drinking water, using membrane filters, for example, which can make very clean drinking water. The downside is that this will cost more energy, and dirty water will remain as a byproduct, which will also require a solution.

The effects of climate change, such as droughts and heavy rainfall, will have consequences for the drinking water supply. Some effects are already visible in dry summers, including water sources containing too much salt, rivers that are too warm and as a result foster the growth of unwelcome bacteria, poorer water quality and damage to the natural environment because ground water levels are too low. Droughts can also result in less water being available for drinking water, or additional measures may be necessary to ensure the quality of drinking water. It is expected that these climate effects will crop up more often in future.

Keywords: drinking water, future, water source choices, purification, climate risks and measures

Inhoudsopgave

Samenvatting — 11

1	Inleiding — 17
1.1	Aanleiding — 17
1.2	Doelstelling — 17
1.3	Afbakening — 18
1.4	Aanpak — 18
1.4.1	Interviews — 18
1.4.2	Literatuuronderzoek — 19
1.4.3	Workshop — 19
1.5	Leeswijzer — 19
2	Ontwikkelingen conventionele drinkwaterbronnen — 21
2.1	Inleiding — 21
2.2	Huidige bronnen voor de bereiding van drinkwater — 21
2.3	Opties voor aanvullende conventionele bronnen in de toekomst — 23
2.3.1	Extra oppervlakte- en oevergrondwater — 23
2.3.2	Aanvullende strategische voorraden (ASV's) — 25
2.3.3	Nationale grondwaterreserves — 30
2.3.4	Aanvullende potentiële grondwatervoorraden — 31
2.3.5	Grootschalige kunstmatige infiltratie — 32
2.4	Toekomstplannen conventionele bronnen per drinkwaterbedrijf/provincie — 34
2.5	Deelconclusies — 39
3	Ontwikkelingen onconventionele drinkwaterbronnen — 41
3.1	Inleiding — 41
3.2	Overzicht toekomstige onconventionele bronnen — 41
3.2.1	Brak of zout grond- en kwelwater — 41
3.2.2	Zeewater — 45
3.2.3	RWZI-effluent — 47
3.2.4	Regenwater — 49
3.2.5	Waterstof — 52
3.3	Toekomstplannen onconventionele bronnen — 54
3.4	Deelconclusies — 56
4	Ontwikkelingen drinkwaterzuiveringstechnologie — 57
4.1	Inleiding — 57
4.2	Huidige technologie voor de bereiding van drinkwater — 57
4.2.1	Gebruik technieken per drinkwaterbron — 57
4.2.2	Geavanceerde zuiveringstechnieken — 61
4.3	Toekomstige technologie voor de bereiding van drinkwater — 65
4.3.1	Inleiding — 65
4.3.2	Elektrochemische zuiveringstechnieken — 69
4.3.3	Membraandestillatie — 70
4.3.4	Eutectische vrieskristallisatie, marmerfiltratie en wervelbed kristallisatie — 71
4.3.5	Affiniteitsadsorptie/nieuwe sorbentia — 71
4.3.6	Schuimfractionering — 73
4.3.7	Superkritisch water — 73

- 4.3.8 Geavanceerde reductie en vacuüm UV (geavanceerde oxidatie) — 73
- 4.3.9 BODAC — 74
- 4.3.10 Biosorptie en helofytenfilters — 74
- 4.3.11 Multicriteria-analyse — 74
- 4.3.12 Combinaties van technieken — 75
- 4.4 Behandeling of lozen van reststromen — 75
- 4.5 Toekomstige focus zuivering per drinkwaterbedrijf — 78
- 4.5.1 Pilotonderzoeken door Nederlandse drinkwaterbedrijven — 80
- 4.6 Deelconclusies — 85

5 Klimatrisico's en adaptieve maatregelen — 87

- 5.1 Inleiding — 87
- 5.2 Klimatrisico's drinkwatersector — 87
- 5.2.1 Grondwater — 87
- 5.2.2 Oppervlaktewater — 91
- 5.3 (Klimaat adaptieve) maatregelen ten behoeve van de drinkwatervoorziening — 95
- 5.3.1 Beleidsprogramma's en strategieën: klimaat en waterbeschikbaarheid — 95
- 5.3.2 Maatregelen om water vast te houden — 96
- 5.3.3 Maatregelen voor (drink)waterbesparing — 99
- 5.3.4 Maatregelen om reserves te vergroten — 102
- 5.3.5 Beleidskaders en maatregelen bij ontwikkeling van de waterkwaliteit — 105
- 5.4 Reflectie vanuit de workshop op klimaat adaptieve maatregelen en risico's — 105
- 5.5 Deelconclusies — 107

6 Aandachtspunten bij inzet verschillende bronnen — 109

- 6.1 Inleiding — 109
- 6.2 Mogelijke voor- en nadelen van de verschillende bronnen — 109
- 6.2.1 Robuustheid bron: kwantiteit, kwaliteit en toekomstbestendigheid — 109
- 6.2.2 Zuiveringsinspanning — 114
- 6.2.3 Energie en kosten — 115
- 6.2.4 Bestuurlijk-juridische context — 116
- 6.2.5 Regionale beschikbaarheid en omgevingseffecten — 117
- 6.2.6 Maatschappelijke acceptatie — 118
- 6.2.7 Bedrijfsspecifieke afwegingen — 119
- 6.3 Deelconclusies — 121

7 Synthese en aanbevelingen — 123

- 7.1 Inleiding — 123
- 7.2 Ontwikkeling inzet drinkwaterbronnen — 123
- 7.3 Ontwikkeling in de zuiveringstechnologie — 125
- 7.4 Aandachtspunten voor inzet van (toekomstige) drinkwaterbronnen — 125
- 7.5 Onzekerheden voor de ontwikkeling van de drinkwaterbronnen — 126
- 7.6 Aanbevelingen — 128
- 7.6.1 Kennisontwikkeling drinkwatervraag en beschikbaarheid bronnen — 128
- 7.6.2 Beleidsmatige aandachtspunten — 128

Dankwoord — 131

Literatuur — 133

Bijlage 1 Lijst met geïnterviewden – 147

Bijlage 2 Vragenlijst voor drinkwaterbedrijven en provincies – 148

Bijlage 3 Verslag workshop – 150

Bijlage 4 Maatregelen grondwater – 159

Bijlage 5 Maatregelen oppervlaktewater – 160

Samenvatting

Aanleiding

In 2023 publiceerde het RIVM een rapport over de waterbeschikbaarheid voor de bereiding van drinkwater tot 2030. Hieruit volgde dat er in 2030 ten opzichte van 2020 een aanvullende productieopgave van circa 100 miljoen m³ per jaar ligt om de drinkwatervoorziening te kunnen waarborgen. Naar aanleiding van dit rapport is in de Tweede Kamer *de Motie Krul* aangenomen waarin wordt gevraagd om een strategie en uitvoeringsprogramma uit te werken voor het tijdig en voldoende aanwijzen van, het beschermen van en het ruimte bieden aan nieuwe drinkwaterbronnen. Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (ministerie van I&W) is daarop het Actieprogramma Drinkwaterbronnen 2023-2030 begonnen. Doel van dat programma is om waterbeschikbaarheid voor drinkwater tot 2030 te waarborgen. Dit kan onder meer door bestaande bronnen volledig te gebruiken en nieuwe bronnen te realiseren. De drinkwatervraag zal echter naar verwachting ook na 2030 verder toenemen. Waarschijnlijk zullen voor de periode na 2030 aanvullende acties nodig zijn. In opdracht van het ministerie van I&W heeft het RIVM daarom onderzoek gedaan naar wat er in de periode na 2030 nodig is om de waterbeschikbaarheid voor de bereiding van drinkwater te waarborgen.

Doel en werkwijze

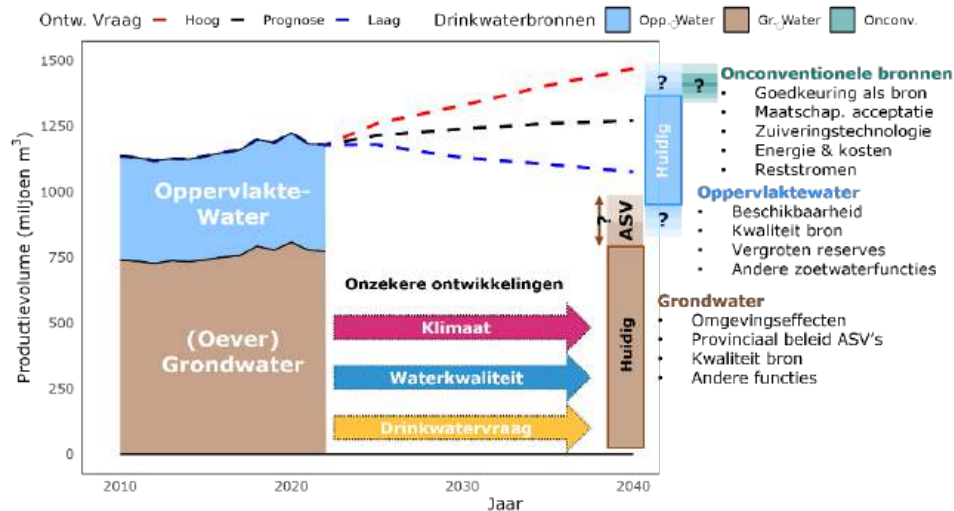
Dit onderzoek richt zich op de drinkwatervoorziening voor de periode van 2030 tot circa 2050. Specifiek beoogt het onderzoek inzicht te krijgen in:

- De verwachte ontwikkeling van conventionele en onconventionele bronnen voor drinkwater en de zuiveringstechnologie.
- De risico's van klimaatverandering voor de drinkwatervoorziening en mogelijke adaptieve maatregelen.
- De belangrijkste aandachtspunten van verschillende drinkwaterbronnen.
- De onzekerheden op het gebied van klimaat, beschikbaarheid van bronnen en zuiveringstechnologie die de ontwikkeling van de drinkwatervoorziening na 2030 beïnvloeden.

Dit onderzoek dient als een overzicht en handreiking aan de voornaamste partijen die besluiten moeten nemen voor de toekomstige drinkwatervoorziening, te weten: drinkwaterbedrijven, provincies en het ministerie van I&W, waaronder Rijkswaterstaat. Hiertoe zijn voor dit onderzoek interviews afgenomen met provincies, de drinkwaterbedrijven en Rijkswaterstaat. De interviews zijn aangevuld met literatuuronderzoek. Zo zijn de plannen en mogelijkheden in kaart gebracht voor conventionele drinkwaterbronnen (zoet oppervlaktewater en grondwater) en onconventionele bronnen (brak grondwater, zeewater, RWZI-effluent, regenwater en waterstof). Aanvullend is geïnventariseerd welke zuiveringstechnologieën in de toekomst nodig zijn om deze bronnen te benutten, alsmede de risico's van klimaatverandering voor de beschikbaarheid van de bronnen.

Resultaten

Uit deze studie blijkt dat de inzet van de bronnen voor drinkwater in hoge mate afhankelijk is van onzekere ontwikkelingen op het vlak van de drinkwatervraag, techniek, klimaat en beleid. De relatie tussen vraag, onzekerheden en de beschikbare bronnen is schematisch samengevat in onderstaande overzichtsfiguur.



Schematische weergave van de ontwikkeling in de drinkwatervraag en bijbehorende inzet van bronnen voor drinkwater. Pijlen geven macro-ontwikkelingen aan die waterbeschikbaarheid van bronnen beïnvloeden (ASV=aanvullende strategische voorraden). De belangrijkste aandachtspunten voor de inzet van specifieke bronnen worden puntsgewijs weergegeven. Licht transparante vlakken met vraagtekens geven onzekerheden weer voor de inzet van specifieke bronnen. Prognoses drinkwatervraag gebaseerd op Baggelaar et al. (2022). Brongebruik van 2010 tot 2022 uit compendium voor de leefomgeving (CLO (2024)).

Verwachte ontwikkelingen inzet bronnen en technologie na 2030

Op basis van de plannen van drinkwaterbedrijven en provincies worden de volgende ontwikkelingen voor de inzet van bronnen en zuiveringstechnologie verwacht.

Conventionele bronnen blijven de komende 20 à 30 jaar de belangrijkste drinkwaterbron. Redenen hiervoor zijn dat huidige winning vanuit conventionele bronnen al is vergund en dat de kwaliteit in het algemeen beter is dan de meeste onconventionele bronnen, en de winning daarmee operationeel gunstiger is. Bovendien worden er mogelijkheden onderzocht om meer uit conventionele bronnen te gaan winnen, bijvoorbeeld grondwater vanuit de Aanvullende Strategische Voorraden (ASV's) of door extra oppervlaktewater in te nemen. Grondwater is echter niet overal meer de preferente bron, vanwege een mogelijke disbalans tussen onttrekking en aanvulling.

Andere inzet van drinkwaterbronnen is nodig om (klimaat)robuust te leveren. Klimaatverandering beïnvloedt de waterbeschikbaarheid van vrijwel alle bronnen. Daarom wordt ingezet op het aanleggen van extra reserves, in bekkens of in de ondergrond om droge perioden te

overbruggen, op kunstmatige infiltratie van extra water en op het ontwikkelen van een multibronnenstrategie. Bij de multibronnenstrategie wordt binnen een leveringsgebied geschakeld tussen bronnen, afhankelijk van de beschikbaarheid en kwaliteit.

Onconventionele bronnen worden de komende 20 à 30 jaar nog beperkt ingezet voor de drinkwatervoorziening. Op basis van de huidige initiatieven zal het aandeel onconventioneel naar verwachting niet meer dan circa 5% van de productie gaan bedragen in de periode tot 2050. Redenen hiervoor zijn dat aanvullende conventionele bronnen vaak nog beschikbaar zijn, dat de zuiveringsinspanning van onconventionele bronnen vaak groter is en ze daardoor operationele nadelen hebben qua kosten en energiegebruik. Ook de maatschappelijke acceptatie van enkele onconventionele bronnen is nog onzeker. Bovendien is voor gebruik van deze bronnen een ontheffing nodig omdat ze niet in de algemene wetgeving zijn opgenomen.

Regionale inzet van onconventionele en conventionele bronnen kan gaan verschillen. Conventionele bronnen hebben in het algemeen de voorkeur van drinkwaterbedrijven. Door de regionale geografische situatie kan beschikbaarheid ervan lokaal echter laag zijn en ook provinciaal beleid beïnvloedt gebruik van bronnen. Bij een stijgende drinkwatervraag kan het aandeel onconventionele bronnen in bepaalde regio's hoger worden, afhankelijk van de lokale mogelijkheden en gekozen oplossingsrichtingen.

Meer geavanceerde zuivering wordt toegepast om drinkwater te zuiveren. Ondanks de doelstelling uit de Kaderrichtlijn Water om de bronnen voor drinkwater schoner te krijgen en het niveau van zuivering te verlagen is de praktijk dat er steeds vaker geavanceerde zuivering wordt toegepast. Redenen zijn de aanwezigheid van organische microverontreinigingen in de bronnen, zoals PFAS, en de daarbij horende stringente normen en de onzekerheid over de toekomstige kwaliteit van de bronnen. Bij toepassing van membraanfiltratie gaat bovendien 20 tot 25% van de invoerstroom verloren als concentraat wat de druk op de bronnen doet toenemen.

Aandachtspunten bij inzet verschillende drinkwaterbronnen

De conventionele en onconventionele drinkwaterbronnen zijn vergeleken op basis van de onderwerpen robuustheid, zuiveringsinspanning, energie en kosten, bestuurlijk-juridische complexiteit, omgevingseffecten en maatschappelijke acceptatie. Hieronder staan de belangrijkste inzichten die dit oplevert.

Kwantiteit en toekomstbestendigheid van onconventionele en conventionele bronnen zijn vergelijkbaar. Veel onconventionele bronnen zijn qua beschikbare hoeveelheid en toekomstbestendigheid vergelijkbaar met conventionele bronnen. Uitzonderingen zijn opgevangen regenwater, waar ruimtebeslag een knelpunt kan zijn, brak grondwater, met een waarschijnlijk maximum van enkele tientallen miljoenen m³, en waterstof, waarvan slechts één à enkele miljoenen m³ centraal beschikbaar lijkt te komen.

Kwaliteit conventionele bronnen is een belangrijk operationeel voordeel. Conventionele bronnen hebben in het algemeen een betere kwaliteit dan onconventionele bronnen. De zuiveringsinspanning is hierdoor lager en daarmee ook het energieverbruik en de kosten. Inzet op kwaliteitsbehoud en -verbetering van conventionele bronnen is belangrijk om deze operationele voordelen te behouden.

Juridische en maatschappelijke knelpunten van onconventionele bronnen. De meeste onconventionele bronnen zijn niet opgenomen in de Drinkwaterwet en de vereisten aan risicoanalyse en monitoring niet in de Drinkwaterregeling. Voor gebruik van deze drinkwaterbronnen is een expliciete ontheffing nodig. Ook is het lozen van concentraat, dat bij zuivering met membraanfiltratie wordt geproduceerd, vergunningsplichtig. Maatschappelijke acceptatie van onconventionele bronnen is ook een aandachtspunt. Dit beïnvloedt de realisatietijd van onconventionele bronnen.

Lokale mogelijkheden en bedrijfsspecifieke afwegingen bepalen bronkeuze. Zo moet de realisatietijd van de bron in lijn zijn met de capaciteitsopgave in de tijd, moeten bronnen inpasbaar zijn in bestaande infrastructuur, en moet het drinkwaterbedrijf beschikken over benodigde expertise of die kunnen aanboren.

Onzekerheden bij inzet bronnen na 2030

Er zijn enkele onzekere ontwikkelingen geïdentificeerd die bovengenoemde ontwikkelingen sterk kunnen beïnvloeden.

Ontwikkeling drinkwatervraag bepaalt grootte van de opgave. Scenariostudies naar de drinkwatervraag laten een grote bandbreedte zien voor de daadwerkelijke drinkwatervraag in 2040. De uiteindelijke vraag heeft grote consequenties voor de hoeveelheid te ontwikkelen bronnen.

Beschikbaarheid van conventionele bronnen is ook afhankelijk van klimaatverandering. Klimaatverandering beïnvloedt de waterbeschikbaarheid nu al. Klimaatscenario's geven aan dat gevolgen groter zullen worden, maar scenario's zijn inherent onzeker. Hier moet rekening mee worden gehouden. De implementatie van mitigerende en adaptieve maatregelen kan de gevolgen beperken.

Verslechtering kwaliteit van conventionele bronnen kan operationele voordelen tenietdoen. Productie uit conventionele bronnen, met name grondwater, vraagt meestal niet om geavanceerde zuiveringstechnieken. Meetnetten laten echter een toenemende vervuiling van grondwater zien. Als op termijn meer geavanceerde zuivering nodig blijkt, vallen belangrijke operationele voordelen ten opzichte van onconventionele bronnen weg. Om te voorkomen dat onnodig aanvullende, geavanceerde zuivering nodig is, en om aan de doelen van de KRW te voldoen, blijft inzet op bronbescherming een belangrijk aandachtspunt.

Aanbevelingen

De toekomstige inzet van drinkwaterbronnen is meer dan ooit afhankelijk van ontwikkelingen die onzeker zijn, zoals klimaat, drinkwatervraag, waterkwaliteitsontwikkeling, technologie en (beleids)keuzes ten aanzien van ruimtelijke ordening, waterhuishouding en andere sectoren, zoals landbouw en industrie. Het is daarom belangrijk ruimte te houden voor verschillende oplossingsrichtingen. Dit maakt de drinkwatervoorziening flexibeler als zich onverwachte omstandigheden voordoen. Hiervoor worden de volgende aanbevelingen gedaan qua kennisontwikkeling en beleidsmatige aandachtspunten.

Kennisontwikkeling

- Onderzoek de benodigde toekomstige inzet van drinkwaterbronnen bij combinaties van verschillende klimaat-, drinkwatervraag- en beleidsscenario's.
- Onderzoek hoe de balans tussen drinkwatervraag en -aanbod te verbeteren is. Kijk hierbij specifiek naar flexibele inzet en vergroten van opslag en reserves. Onderzoek ook de meerwaarde van een verdere ontwikkeling van een supraregionale drinkwaterinfrastructuur.
- Stimuleer nationale kennisontwikkeling en samenwerking tussen drinkwaterbedrijven en andere partners die bij het ontwikkelen van onconventionele drinkwaterbronnen betrokken zijn. Dit betreft bijvoorbeeld onderzoeks-, innovatie- en implementatietrajecten op thema's als bronkeuze, zuiveringstechnologie, en drinkwaterinfrastructuur, maar ook maatschappelijke acceptatie. De inzet van onconventionele bronnen vergt daarnaast nieuwe manieren van werken en samenwerking met andere partners.

Beleidsmatige aandachtspunten

- Scenariostudies voor de toekomstige drinkwatervraag laten een grote bandbreedte zien. Houd de voortgang en effectiviteit van waterbesparingsmaatregelen, zoals geformuleerd in het *Nationaal plan van aanpak drinkwaterbesparing*, nauwlettend in de gaten. De drinkwatervraag bepaalt namelijk de te ontwikkelen nieuwe drinkwaterbronnen en de bijbehorende inspanning qua kosten, energie en zuivering. Stuur aan op reductie van de behoefte.
- Blijf nadrukkelijk inzetten op verbetering van de waterkwaliteit van de bronnen voor drinkwater en versterk de inzet van maatregelen die emissies vanuit industrie, landbouw en huishoudens naar het watersysteem aantoonbaar reduceren. Goede bescherming van bronnen draagt bij aan het behoud en de kwaliteitsverbetering van conventionele bronnen in de toekomst.
- Onderzoek wat de structurerende ruimtelijke keuzes en acties van de Nationale Adaptatie Strategie en het Deltaprogramma zoetwater betekenen voor de robuustheid van het (drink)watersysteem. Met name in relatie tot mogelijk conflicterende functies zoals landbouw en natuur en hoe hier beleidsmatig mee om te gaan.
- Ontwikkeling van nieuwe (onconventionele) bronnen vergt nieuwe beleids-, onderzoeks-, innovatie- en implementatietrajecten, waarbij bovendien andere partners

(gemeenten, waterschappen, onderzoeksinstituten) betrokken zijn. Stimuleer daarom nationale kennisontwikkeling en samenwerking, zodat van elkaar kan worden geleerd.

- Onderzoek wat qua kwaliteitsmonitoring en risicoanalyse nodig is om veilige inzet van onconventionele bronnen bestuurlijk-juridisch te borgen. Kijk ook naar de veilige afvoer van concentraat dat wordt geproduceerd bij membraanfiltratie, zodat dit de inzet van deze drinkwaterzuiveringstechniek zo min mogelijk in de weg staat. Proefprojecten zijn een goede manier om ervaring op te doen.
- De capaciteitsopgave speelt in verschillende regio's op verschillende tijdschalen. Bij krapte op de korte termijn bestaat er een risico dat eerst suboptimale oplossingen worden gezocht. Besteed als relevante overheden en drinkwaterbedrijven waar mogelijk aandacht aan het kiezen van oplossingsrichtingen die meteen duurzaam zijn.

Dit onderzoek heeft laten zien dat de drinkwatersector er in de toekomst anders uit zal komen te zien, afhankelijk van hoe klimaat, drinkwatervraag, technologie en beleid zich ontwikkelen. Het is daarom belangrijk dat relevante overheden reflecteren op hun rol en hun relatie met de drinkwatersector onder verschillende toekomstscenario's. Op deze manier kan op een effectieve wijze invulling worden gegeven aan de verantwoordelijkheid als toezichhouder en meewerkende, sturende of regienemende partij.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De vraag naar drinkwater in Nederland is vanaf 2014 sneller gestegen dan eerder was voorzien (Tangena, 2014; Baggelaar et al., 2022). In 2023 kwam daarom een nieuw onderzoek uit naar de waterbeschikbaarheid voor de bereiding van drinkwater tot 2030 (Van Leerdam et al., 2023). Dit onderzoek toont dat enkele drinkwaterbedrijven de productiecapaciteit nu al moeten uitbreiden om voldoende reservecapaciteit te hebben. Naar verwachting moeten alle drinkwaterbedrijven voor 2030 hun capaciteit uitbreiden om aan de verwachte ontwikkeling in de vraag te kunnen voldoen. Landelijk zou er in 2030 in vergelijking met 2020 circa 100 miljoen m³ extra drinkwater (7%) moeten worden geproduceerd.

Naar aanleiding van dit rapport is in de Tweede Kamer de motie-Krul aangenomen, die vraagt "een strategie en uitvoeringsprogramma uit te werken over het tijdig en voldoende aanwijzen van en het beschermen en ruimte bieden aan nieuwe drinkwaterbronnen" (Krul et al., 2023). Voor de korte termijn heeft het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (ministerie van I&W) het 'Actieprogramma Beschikbaarheid Drinkwaterbronnen 2023-2030' opgesteld (Ministerie van I&W, 2023a, 2024d, 2025). Dit is gebeurd in samenwerking met de Vereniging van Waterbedrijven in Nederland (Vewin) en het Interprovinciaal Overleg (IPO). Doel is het op korte termijn verhogen van de waterbeschikbaarheid voor de bereiding van drinkwater. Dit kan onder meer door bestaande bronnen volledig te gebruiken, nieuwe bronnen te realiseren en drinkwater te besparen.

Ook na 2030 zal de drinkwateropgave uitdagend zijn. Zo wordt verwacht dat de drinkwatervraag verder zal toenemen (Van der Aa et al., 2015; Baggelaar et al., 2022), terwijl er ook sprake is van een veranderde waterbeschikbaarheid in een warmer klimaat (Van der Brugge & de Winter, 2024). In de Kamerbrief van 31 mei 2023 wordt voor de periode na 2030 het volgende geschreven: "Voor de langere termijn wordt bepaald wat in de periode na 2030 nodig is om ook dan de waterbeschikbaarheid voor de bereiding van drinkwater te waarborgen. Daarbij is onder andere vergunningverlening voor het aanwijzen en het beschermen van bestaande en nieuwe drinkwaterbronnen aan de orde, mede in relatie tot de Aanvullende Strategische Voorraden (ASV's), de Nationale Grondwater Reserves (NGR's) en vergrijzing van het grondwater. Daarnaast wordt ook gekeken naar mogelijke alternatieve bronnen zoals onder andere brak grondwater, zeewater of rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI)-effluent. Samen met de drinkwaterbedrijven en de andere overheden wordt onderzocht wat hierbij de kansen en belemmeringen zijn." (Ministerie van I&W, 2023b).

1.2 Doelstelling

Dit onderzoek richt zich op de drinkwatervoorziening voor de periode van 2030 tot circa 2050. Specifiek beoogt het onderzoek inzicht te krijgen in:

- De verwachte ontwikkeling van conventionele en onconventionele bronnen voor drinkwater en zuiveringstechnologie.
- De risico's van klimaatverandering voor de drinkwatervoorziening en mogelijke adaptieve maatregelen.
- De belangrijkste aandachtspunten van verschillende drinkwaterbronnen.
- De onzekerheden op het gebied van klimaat, beschikbaarheid van bronnen en zuiveringstechnologie die de ontwikkeling van de drinkwatervoorziening na 2030 beïnvloeden.

Uit het onderzoek komen specifieke aandachtspunten voor beleid en kennisontwikkeling naar voren. Dit onderzoek dient daarmee als een overzicht en handreiking aan de partijen die besluiten over de toekomstige drinkwatervoorziening moeten nemen. Dit zijn met name het ministerie van I&W, inclusief Rijkswaterstaat, provincies en drinkwaterbedrijven.

1.3 Afbakening

Dit onderzoek richt zich op plannen van drinkwaterbedrijven op het gebied van bronnen en het gebruik van zuiveringstechnologieën tot circa 2050. Daarnaast is gekeken naar de ontwikkeling van het klimaat en de gevolgen daarvan voor de waterbeschikbaarheid voor de drinkwaterbereiding. Omdat beleid en uitvoering een belangrijke rol spelen, zijn naast de drinkwaterbedrijven ook provincies en Rijkswaterstaat geïnterviewd. Het gaat er hierbij om de globale mogelijkheden in beeld te brengen en de afwegingen die bij de geïnterviewde partijen spelen. Er worden geen kwantitatieve prognoses gemaakt van gewonnen hoeveelheden voor specifieke bronnen of voor het (benodigde) gebruik van zuiveringstechnologie. Daarmee samenhangend, wordt er ook niet in detail gekeken naar prognoses voor de drinkwaterbehoefte, naar kwantificering van mogelijke drinkwaterbesparing, of naar veranderingen in waterbeschikbaarheid en daaruit volgende effecten op de inzet van bronnen. Het onderzoek richt zich op conventionele (huidige zoete grond- en oppervlaktewaterwinningen) en onconventionele bronnen. Omdat er veel onconventionele bronnen zijn, is het onderzoek beperkt tot de meest kansrijke bronnen, namelijk brak of zout grond- en kwelwater, zeewater, RWZI-effluent, regenwater en waterstof (Stofberg et al., 2019).

1.4 Aanpak

Voor het onderzoek is gebruik gemaakt van drie methoden: interviews, literatuuronderzoek en een interactieve workshop met de geïnterviewde partijen.

1.4.1 Interviews

In dit onderzoek zijn drinkwaterbedrijven, Rijkswaterstaat en de provincies (met uitzondering van Zeeland en Friesland) geïnterviewd (zie Bijlage 1). Er is hierbij gevraagd naar de ontwikkelingen en plannen op het vlak van (1) bronnen (conventioneel en onconventioneel), (2) zuiveringstechnologieën en (3) klimaatadaptieve maatregelen. De interviews laten zich beschrijven als semigestructureerd. Voor de interviews is een vragenlijst opgesteld (zie Bijlage 2) die zich richt op

bovengenoemde thema's, waarbij is doorgevraagd op basis van de antwoorden van de respondenten. De opgehaalde informatie is verwerkt in onderliggend rapport.

1.4.2 *Literatuuronderzoek*

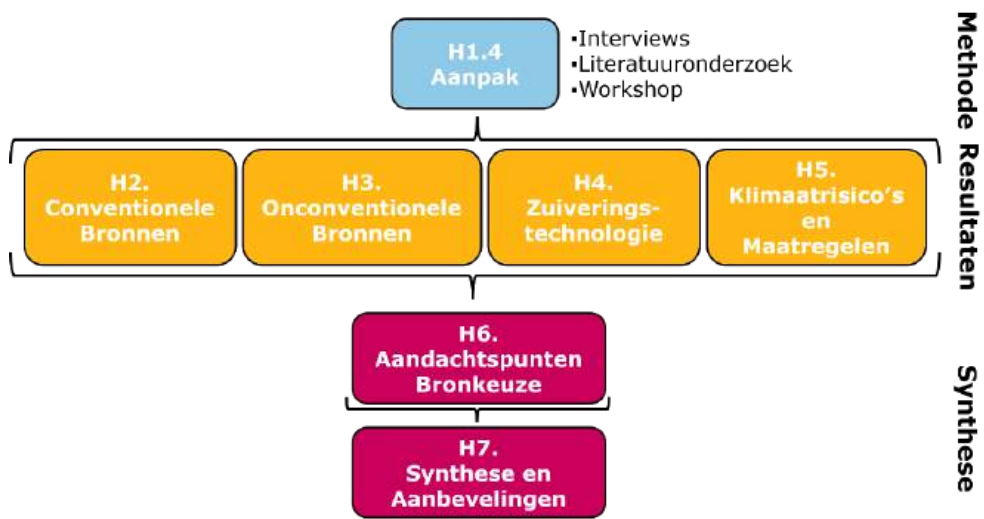
Er is een overzicht gemaakt van informatie en rapporten over de toekomstige drinkwatervoorziening. Hierbij is de *Hydrotheek* van Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) gebruikt als belangrijkste ingang. Een belangrijke informatiebron voor bronnen en zuiveringstechnologie is een recent onderzoek van Waterlaboratorium Noord (Boorsma & Wessels, 2023). Hierin zijn gebruik van technologie en bronnen bij de drinkwaterbedrijven geïnventariseerd.

1.4.3 *Workshop*

Om te reflecteren op de resultaten en conclusies uit de interviews en het literatuuronderzoek, is op 15 mei 2024 een workshop met drinkwaterbedrijven, provincies, het ministerie van I&W, Rijkswaterstaat en enkele kennisinstituten gehouden. In de workshop zijn de tussenresultaten van het onderzoek op het vlak van bronnen, zuiveringstechnologie en klimaatadaptieve maatregelen gepresenteerd en is aanvullende informatie opgehaald over kansen en knelpunten voor de toekomstige drinkwatervoorziening. Het verslag van de workshop is opgenomen in Bijlage 3.

1.5 **Leeswijzer**

Na deze inleiding volgen nog zes hoofdstukken (Figuur 1.1). In hoofdstuk 2 en 3 worden de ontwikkelingen en plannen voor conventionele en onconventionele bronnen vanuit drinkwaterbedrijven en provincies toegelicht. Hoofdstuk 4 gaat over toekomstige zuiveringstechnologie. Hoofdstuk 5 gaat in op de toekomstige klimaatrisico's en klimaatadaptieve maatregelen. In hoofdstuk 6 worden aandachtspunten voor verschillende drinkwaterbronnen besproken. In hoofdstuk 7 zijn de algemene ontwikkelingen en onzekerheden voor de inzet van drinkwaterbronnen en zuiveringstechnologie beschreven, gevolgd door aanbevelingen voor kennisontwikkeling en beleidsmatige aandachtspunten.



Figuur 1.1 Leeswijzer voor dit rapport.

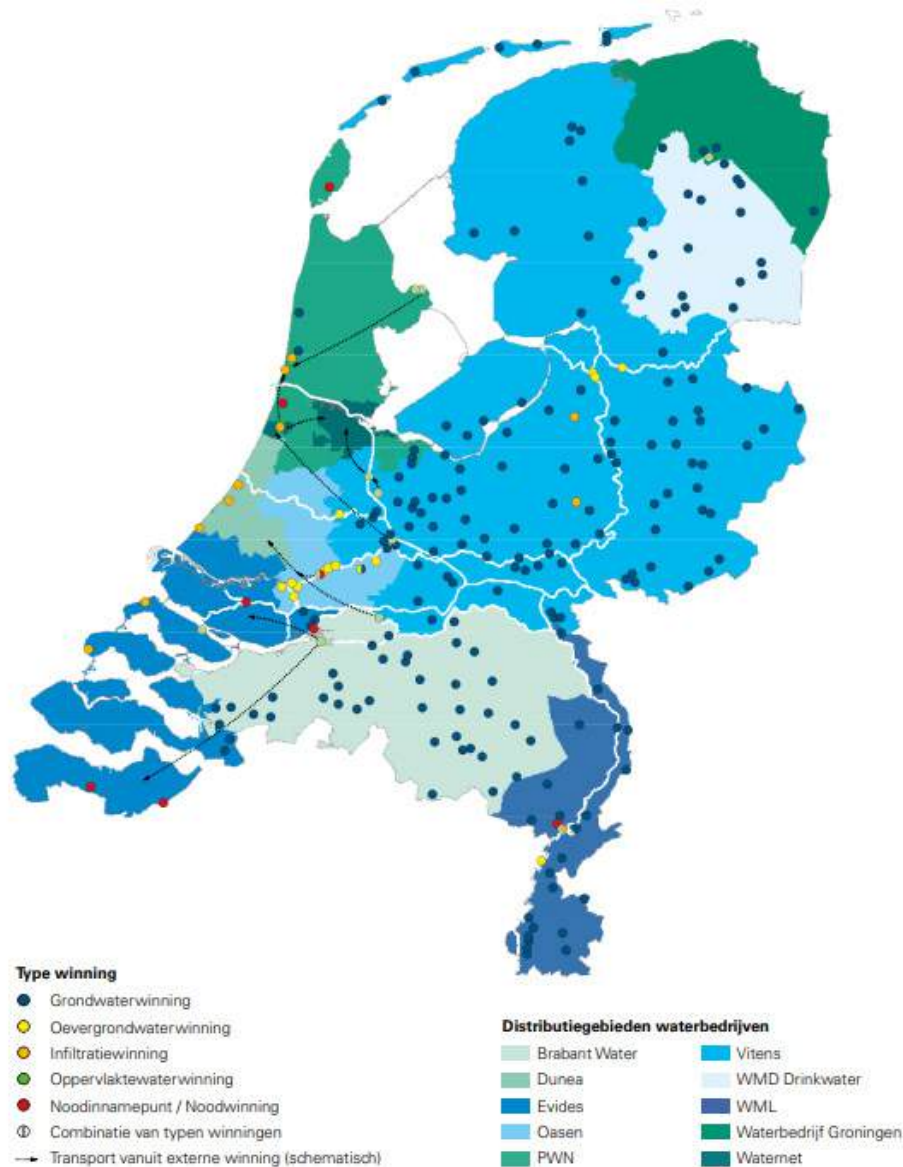
2 Ontwikkelingen conventionele drinkwaterbronnen

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de huidige conventionele bronnen (zoet grond- en oppervlaktewater) voor de bereiding van drinkwater (paragraaf 2.2) en geeft weer welke aanvullende conventionele bronnen in de toekomst kunnen gaan worden gebruikt om na 2030 aan de drinkwatervraag te voldoen (paragraaf 2.3). Paragraaf 2.4 geeft een toelichting op de plannen van drinkwaterbedrijven en provincies ten aanzien van conventionele bronnen nu en in de toekomst. Tot besluit van het hoofdstuk staat in paragraaf 2.5 een aantal deelconclusies.

2.2 Huidige bronnen voor de bereiding van drinkwater

Nederland heeft tien drinkwaterbedrijven met elk hun eigen voorzieningsgebied, winlocaties en type winningen (Figuur 2.1). In totaal zijn er ruim 200 winningen. In 2020 werd ongeveer 1,3 miljard m³ water onttrokken voor de bereiding van drinkwater (Van Leerdam et al., 2023; Vewin, 2023). In 2021 was het aandeel oppervlaktewater (inclusief geïnfiltreerd duinwater) 38% en het aandeel (oever)grondwater 62%. Dit is inclusief natuurlijk duinwater (Vewin, 2023). Het RIVM-rapport 'Waterbeschikbaarheid voor de bereiding van drinkwater tot 2030 - knelpunten en oplossingsrichtingen' (Van Leerdam et al., 2023) geeft per drinkwaterbedrijf weer welke bronnen momenteel worden gebruikt voor de productie van drinkwater en welke hoeveelheden daaruit worden gewonnen. De keuze voor grond- of oppervlaktewater wordt voornamelijk bepaald door de beschikbaarheid en de kwaliteit van het water in de desbetreffende regio.



Figuur 2.1 Overzicht winningen van de Nederlandse drinkwaterbedrijven voor de productie van drinkwater, 2021 (Vewin, 2023).

Oppervlaktewaterwinningen en oevergrondwaterwinningen voorzien West-Nederland en delen van Limburg, Groningen en Overijssel van drinkwater (Figuur 2.1). In West-Nederland wordt een substantieel deel van het oppervlaktewater geïnfiltreerd in de duinen en na duinpassage teruggewonnen. Innamepunten voor oppervlaktewater voor drinkwaterbereiding zijn gelegen aan de Rijn en de door die rivier gevoede wateren (Lek, Lekkanaal, IJssel en IJsselmeer), de Maas en het daarmee verbonden Lateraalkanaal, de Drentsche Aa en de Overijsselse Vecht.

Grondwater vormt de voornaamste bron voor drinkwater in de rest van Nederland. Tijdens bodempassage treedt een natuurlijke verwijdering van verontreinigingen op, wat het gebruik van grondwater voor de drinkwaterbereiding aantrekkelijk maakt.

Oud grondwater is nog niet beïnvloed door menselijk handelen en heeft vaak een zeer goede kwaliteit. Bij winningen die gebruikmaken van jonger grondwater uit ondiepere lagen, zijn de effecten van menselijk handelen al wel geregeld zichtbaar in de kwaliteit van het water (Broers, 2004; Van Driezum, Beekman, et al., 2020).

2.3 Opties voor aanvullende conventionele bronnen in de toekomst

In deze paragraaf worden opties beschreven voor aanvullende conventionele bronnen. Deze opties zijn onder meer het winnen van extra zoet oppervlaktewater of oevergrondwater, het gebruik van aanvullende strategische voorraden (ASV's) en kunstmatige infiltratie van zoetwater.

2.3.1 *Extra oppervlakte- en oevergrondwater*

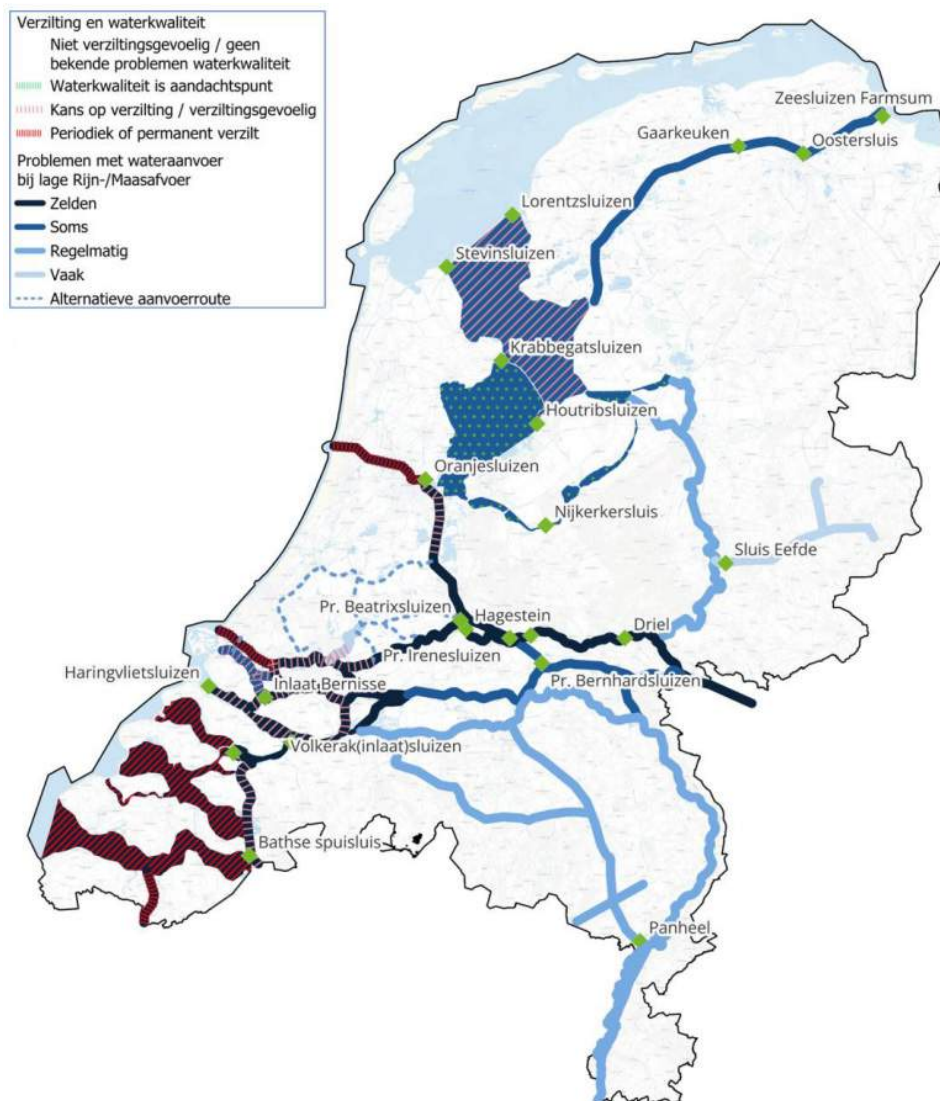
De drinkwaterbedrijven overwegen voor hun toekomstige drinkwatervoorziening in toenemende mate (extra) oppervlaktewater of oevergrondwater uit de rijkswateren als aanvullende bron te gebruiken. Er lopen verschillende initiatieven voor het gebruik van extra oppervlaktewater, zowel voor directe zuivering op nieuwe locaties als voor het (tijdelijk) infiltreren van oppervlaktewater (zie paragraaf 2.4). Opvallend is dat verkenning van oppervlaktewater als extra bron ook gedaan wordt door drinkwaterbedrijven die traditioneel op grondwater zijn gericht. Veel grondwaterwinningen worden al maximaal ingezet en verschillende drinkwaterbedrijven hebben (via convenanten met de provincie) ten behoeve van natuurherstel of in het kader van Natura2000 reductieafspraken gemaakt. De inzet van extra grondwaterbronnen vraagt een brede belangenafweging. In de Beleidsnota Drinkwater 2021-2026 wordt grondwater niet meer automatisch als de preferente bron genoemd.

Rijkswaterstaat denkt mee over het realiseren van nieuwe innamepunten vanuit het hoofdwatersysteem. Aspecten die hierbij een rol spelen zijn wet- en regelgeving, vergunningverlening, beschermingsbeleid, risicobeoordeling en -beheer van het onttrekkingsgebied, jaarronde beschikbaarheid van water, de huidige en toekomstige waterkwaliteit, het omgaan met mogelijke calamiteiten (Hin et al., 2023) en fysieke stuurbaarheid van het watersysteem door middel van sluizen en stuwen.

Ingenieursbureau *HydroLogic* en Rijkswaterstaat hebben een landelijk overzicht op hoofdlijnen gemaakt van de kwaliteit en de kwantiteit van het Nederlandse hoofdwatersysteem. Het doel daarvan is om globaal inzicht te bieden in de geschiktheid van nieuwe locaties voor de onttrekking van water voor drinkwater (HydroLogic, 2024). In het overzicht van HydroLogic (2024) wordt een beeld gegeven van het wateraanbod. Dat wordt onder meer beïnvloed door neerslag, rivierafvoer en verdamping. Afhankelijk van de mate van klimaatverandering zal de afvoer (in de zomerperiode) in het hoofdwatersysteem dalen. Dit zal ook effect hebben op de hoeveelheid water die zou kunnen worden gewonnen voor de bereiding van drinkwater. Figuur 2.2 geeft aan hoe frequent er problemen zijn te verwachten met de wateraanvoer bij een lage Rijn- of Maasafvoer.

Verder geeft de figuur globaal aan wat de waterkwaliteit op de locaties is.

Naast de hoeveelheid water en de kwaliteit spelen ook andere factoren een rol bij de selectie van nieuwe waterinname locaties, zoals regelgeving, vergunningverlening, en fysieke stuurbaarheid van het watersysteem. Op basis van het overzicht van *HydroLogic* en Rijkswaterstaat kan nog niet exact worden vastgesteld wat de beste locaties voor waterinname uit het hoofdwatersysteem voor drinkwaterbereiding zijn. Dit vergt verdere uitwerking door regio-experts van Rijkswaterstaat en het betreffende drinkwaterbedrijf.



Figuur 2.2 Landelijk beeld op hoofdlijnen van de kwaliteit en de kwantiteit van het Nederlandse hoofdwatersysteem ten behoeve van keuzes voor toekomstige nieuwe locaties van winningen voor drinkwater, *HydroLogic* (2024). Groene blokjes: sturingspunten (stuwen en/of sluisen).

2.3.2 *Aanvullende strategische voorraden (ASV's)*

ASV's zijn gebieden met grond- of oppervlaktewatervoorraden die door provincies zijn aangewezen om direct of in de toekomst te worden gebruikt voor de drinkwatervoorziening. Deze gebieden zijn gekozen in zorgvuldig uitgevoerde omgevingstrajecten, zoals ook gebeurt bij een 'reguliere' waterwinlocatie voor drinkwater. Zeven van de twaalf provincies hebben inmiddels ASV's aangewezen en vastgesteld. In een aantal andere provincies zijn deze gebieden nog niet vastgesteld en aangeduid als ASV-zoekgebied.

Sommige provincies hebben te maken met overlap van de ASV's met gebieden die worden aangewezen als nationale grondwater reserves (NGR's). Het traject rond de uitwerking van de (beleids)doelen en de begrenzing van de NGR's loopt nog (zie paragraaf 2.3.3). In dat traject vindt afstemming tussen Rijk en provincies plaats.

Om de ASV's in de praktijk te verwezenlijken, is het nodig dat concrete acties worden ondernomen, zoals het formaliseren van belangenafwegingen, het maken van gebiedskeuzes voor winningen, en het opstarten van gebiedsprocessen (Royal Haskoning DHV, 2021). Goede inpassing in de fysieke leefomgeving en afstemming met andere gebruikers van het watersysteem en van de ondergrond zijn hier cruciaal. Dit kunnen langdurige procedures zijn.

Het Actieprogramma Beschikbaarheid Drinkwaterbronnen 2023-2030 van IPO, ministerie van I&W en Vewin (Ministerie van I&W, 2023a, 2024d, 2025) brengt de knelpunten (voor onder meer het verwezenlijken van ASV's) in kaart, inclusief mogelijke oplossingen en benodigde acties van de drinkwaterbedrijven, provincies en het ministerie van I&W.

Uiteindelijk is het nodig dat strategieën, doelen en ASV-gebieden nationaal, regionaal en lokaal in beleid en regelgeving worden verankerd. Sommige provincies hebben de ASV-gebieden al vastgelegd in het Regionaal Water Programma en/of de Omgevingsverordening (Leeuwis-Tolboom et al., 2022). Bij sommige ASV's is het beschermingsbeleid al geregeld, zoals boringsvrije zones, bij andere moet dit nog worden ontwikkeld.

Inzet van de ASV's

De ASV's zijn bedoeld om te worden ingezet voor de drinkwatervoorziening, in principe op de middellange termijn in de periode vanaf 2030-2040. Dit verschilt echter per provincie en regio. Sommige regio's zijn eerst bezig met andere stappen, zoals bijvoorbeeld waterbesparing en het maximaal inzetten van huidige vergunningsruimte, terwijl andere regio's al stappen zetten om ASV's te operationaliseren. Tabel 2.1 toont de stand van zaken met betrekking tot de ontwikkeling en ingebruikname van de ASV's in de verschillende provincies en de ligging van de ASV's is in Figuur 2.3 weergegeven.

Tabel 2.1 Stand van zaken van de ASV's in alle provincies. Zoeklocaties zijn weergegeven in Figuur 2.3.

Provincie	Locaties/licging	Beoogde hoeveelheden (miljoen m ³ per jaar)	Planning (gedeeltelijke) ingebruikname	Toelichting
Drenthe	Kleinere gebieden rondom bestaande winningen, aangevuld met nieuwe locaties	12 (samen)	Start met 1 miljoen m ³ per jaar in 2024 en 1,5 miljoen m ³ in 2025	De ASV's zijn opgenomen in het Regionaal Waterprogramma Drenthe 2022-2027. Vastgesteld in december 2021 door Provinciale Staten.
Groningen	In Groningen zijn enkele ASV-zoekgebieden aangewezen.		Nog niet bekend en aan de orde.	Nog geen definitieve ASV's vastgesteld, maar wel globale zoekgebieden in beeld, die via een plan-MER verder worden uitgewerkt. Doelstelling: in 2025 ASV's definitief aanwijzen en opnemen in de provinciale omgevingsvisie.
Flevoland	Eén relatief grote ASV in zuidelijk Flevoland	10-25	Nog niet bekend	ASV's vastgesteld en opgenomen in provinciale beleidsstukken en verordeningen
Friesland	Vijf zoekgebieden: Dwarsdijp, Oldenkamp, Skarster Rien, Tsjûskemar, Grootte Brekken.	30	Na 2030, deels al 2026-2030	De plan-MER loopt nog voor de ASV-gebieden in Friesland. Q3 2024 is de Notitie Reikwijdte en Detailniveau gepubliceerd.
Gelderland	Enkele grotere gebieden aangewezen als ASV	45-55	Vanaf 2030	Inmiddels 11 ASV-gebieden bestuurlijk vastgesteld in provinciale omgevingsverordening als drinkwaterreserveringsgebied (DRG)
Limburg	Venloschol en Roerdalslenk* (2 grotere ASV-gebieden) De Dommel	Nog niet bekend	Nog niet bekend	In het Provinciaal Waterprogramma 2022 – 2027 Venloschol en Roerdalslenk benoemd als ASV. Bescherming van de ASV-gebieden in Omgevingsverordening opgenomen.

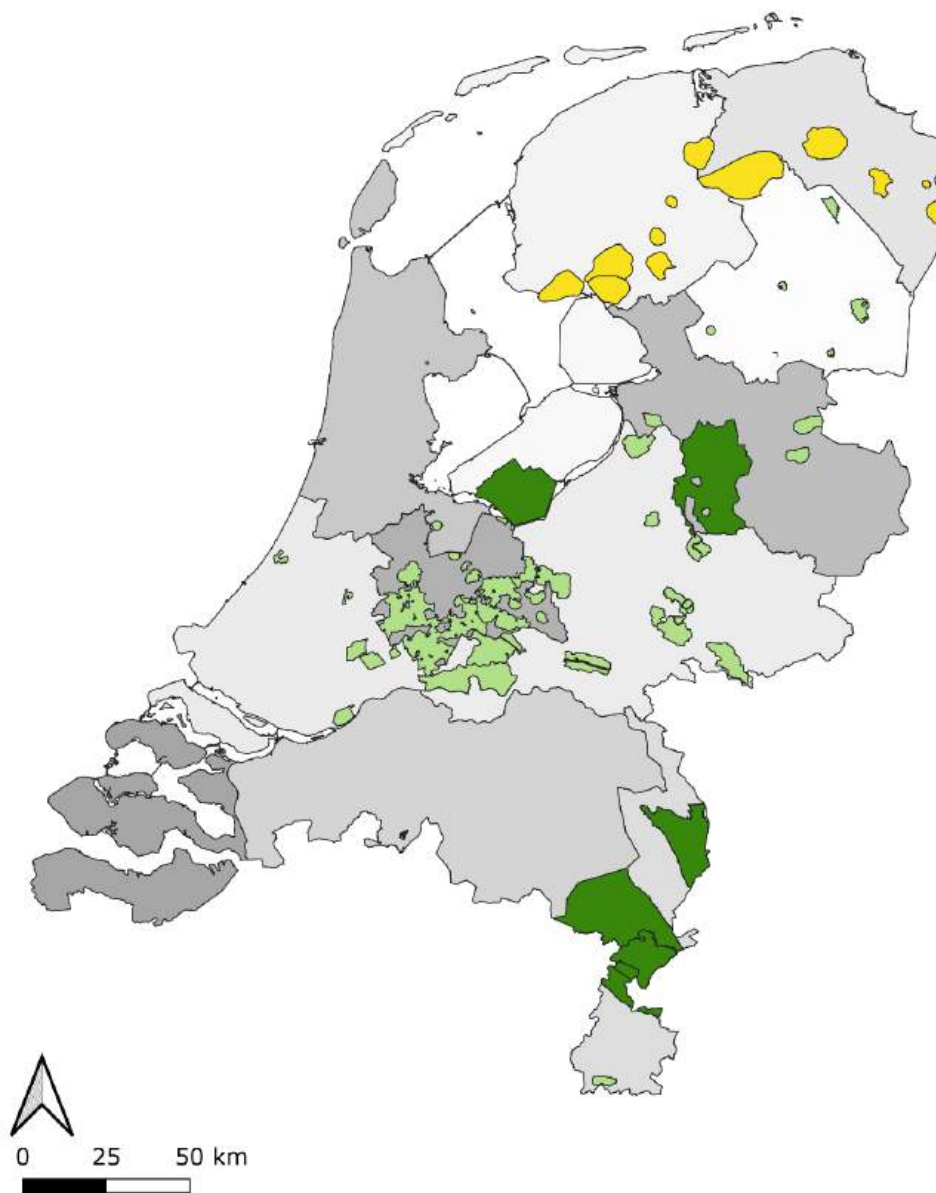
Provincie	Locaties/licging	Beoogde hoeveelheden (miljoen m³ per jaar)	Planning (gedeeltelijke) ingebruikname	Toelichting
	(Z-Limburg, relatief klein)			
Overijssel	Verkenning mogelijkheden ontwikkeling ASV-gebieden: o.a. Salland diep, Koppelerwaard, Bruchterveld	10-25	Na 2030	ASV's vastgesteld en opgenomen in provinciale beleidsstukken en verordeningen
Noord-Brabant	Vijf kleine gebieden in het peilgestuurd gebied	5-10	Alleen ter vervanging bestaande grondwaterwinningen als deze niet meer duurzaam inzetbaar zijn.	Drinkwaterreserveringsgebieden (ASV's) zijn in Noord-Brabant opgenomen in het addendum op het Regionaal Water- en Bodemprogramma (verplicht programma onder omgevingswet). Dit addendum is in januari 2025 vastgesteld. Daarna moeten de ASV's nog worden vastgesteld in ruimtelijke plannen van de vijf gemeentes.
Noord-Holland	Kleine gebieden bij Hoorn en in Horstermeerpolder	5-10	Hoorn in 2027	ASV's vastgesteld en opgenomen in provinciale beleidsstukken en verordeningen
Utrecht	Relatief groot deel van de provincie aangewezen als ASV	60-70	Sinds 2016, maar herijking volgt.	ASV's vastgesteld en opgenomen in provinciale beleidsstukken en verordeningen. De provincie Utrecht wil een herijking uitvoeren van de vastgestelde ASV's: inperken met mogelijk betere bescherming.

Provincie	Locaties/licging	Beoogde hoeveelheden (miljoen m³ per jaar)	Planning (gedeeltelijke) gebruikname	Toelichting
Zeeland		0		Geen ASV's aangewezen.
Zuid-Holland	Gebieden wat beperkter van omvang	10	2030 **	ASV's vastgesteld en opgenomen in provinciale beleidsstukken en verordeningen (gebied Oasen en Evides)

* De Roerdalslenk is een ASV, maar gezien het ingestelde onttrekkingsplafond is deze niet inzetbaar voor extra winning.

** Beoogd is vanaf 2030, vanwege langlopende vergunningsprocedures waarschijnlijk niet haalbaar.

- Niet vastgelegd in POV, MER loopt
- Vastgelegd in POV
- Vastgelegd in POV, Boringsvrije zone



Figuur 2.3 Aanvullende Strategische Voorraden (data: Ministerie van I&W). POV = provinciale omgevingsverordening.

Drenthe ziet door een toename van de vraag de inzet van de ASV's dichterbij komen en wil een plan-MER uitvoeren.

In Utrecht zijn de ASV's opgenomen in het Bodem- en Waterprogramma provincie Utrecht 2022-2027. Ze zijn al in gebruik sinds 2016, maar het gebruik hiervan zal in 2025 worden herijkt naar aanleiding van de aanwijzing van de NGR's door het Rijk. Voor Zuid-Holland loopt een MER-procedure om op middellange termijn een ASV in te zetten.

Overijssel kampt nu al met knelpunten in de capaciteit en houdt rekening met inzet van de ASV's voor de middellange termijn.

Friesland voorziet ook inzet van een deel van de ASV's vanaf 2026-2030. Friesland heeft vijf ASV-zoekgebieden aangewezen, waarbij is gekeken naar de risico's van verzilting en invloed op de grondwaterstanden, en waarbij grotere stedelijke gebieden zijn ontzien om de energietransitie middels bodemenergie hier niet in de weg te staan. Of en wanneer in Limburg ASV's gaan worden ingezet is nog niet bekend. Dit zal in elk geval na 2030 gebeuren. Er moet daarbij worden opgemerkt dat de Venloschol en de Roerdalslenk nu al regulier worden ingezet. De bescherming van deze ASV-gebieden is in de Omgevingsverordening opgenomen, omdat het twee reeds bestaande boringsvrije zones zijn en omdat het een bestaand grondwaterbeschermingsgebied betreft van een winning die in het verleden actief was, maar nu uit gebruik is genomen.

In Noord-Brabant zijn de ASV's nog niet vastgesteld. Ze zullen ter vervanging worden ingezet en niet als aanvulling; vanwege een disbalans tussen onttrekking en aanvulling mogen ze alleen worden ingezet als een bestaande grondwaterwinning niet robuust en duurzaam te maken is. Dit betekent dat er in Noord-Brabant geen ruimte is om de groei van de drinkwatervraag op te vangen met grondwater. De provincie Zeeland heeft geen ASV's aangewezen. Daar zijn geen nieuwe grote voorraden zoet grondwater van voldoende grootte aanwezig. Voldoende zoet oppervlaktewater is beschikbaar via spaarbekkens en infiltratie. Voor Midden-Zeeland is na 2030 wel meer water nodig voor de drinkwatervoorziening. Dit gaat via externe aanvoer of door extra oppervlaktewater in te zetten.

2.3.3 *Nationale grondwaterreserves*

In de Beleidsnota Drinkwater (Ministerie van I&M, 2014) is het concept van Nationale Grondwater Reserves (NGR's) geïntroduceerd. Doel hiervan is de bescherming van natuurlijk kapitaal ten behoeve van de drinkwatervoorziening in de verre toekomst en tijdens grootschalige en meerjarige crisissituaties. Het zijn oude, onaangetaste grondwaterreserves. Vanwege het nationale belang is het Rijk verantwoordelijk voor het aanwijzen van NGR-gebieden. Ze zijn een aanvulling op de ASV's waarvoor de provincies verantwoordelijk zijn. Waar ASV's zijn bedoeld voor de drinkwatervoorziening op de middellange termijn (vanaf 2030-2040), zijn NGR's bedoeld voor de nog langere termijn. De gebieden kunnen elkaar deels overlappen.

Een eerste, zeer globale aanzet voor NGR-gebieden is opgenomen in de structuurvisie ondergrond (STRONG) (Rijksoverheid, 2018). Nijsten et al. (2024) adviseerden recentelijk over de ligging en begrenzing van de potentiële zoekgebieden voor NGR's. Hierin werd onderscheid gemaakt tussen zoete en brakke voorraden en werd gekeken naar de geschiktheid voor structurele winning of calamiteitenwinning. In met name Limburg, Noord-Brabant, Gelderland en Utrecht komen grote aaneengesloten gebieden in aanmerking voor calamiteitenwinning.

De gebieden waar structurele winning mogelijk is, hebben een beperktere omvang. Dit komt doordat het uitgangspunt voor structurele

winningen is om effecten op grondwaterafhankelijke Natura 2000-gebieden te voorkomen. Daarnaast is de winbaarheid met het gewenste volume (2 of 4 miljoen m³ per jaar) gedurende de levensduur van 30 jaar van de winning, met behoud van kwaliteit van het onttrokken water, een belangrijk criterium. Deze zoekgebieden komen geclusterd voor in Noord-Brabant en Utrecht. Daarnaast zijn er in andere provincies nog geïsoleerde gebieden.

Nijsten et al. (2024) schatten dat jaarlijks maximaal circa 240 miljoen m³ grondwater kan worden onttrokken voor structurele winning, met inachtneming van de gestelde criteria. Hiervan is 100 miljoen m³ per jaar zoetwater en 140 miljoen m³ per jaar brak water. De door Nijsten et al. (2024) geadviseerde gebieden kunnen worden beschouwd als zoekgebieden voor de NGR's; binnen de aangegeven begrenzingen zijn meerdere combinaties van locaties te selecteren. Desondanks zijn er in sommige regio's geen NGR's beschikbaar: grote delen van Noord-Holland, Zeeland, de Waddeneilanden en Oost-Nederland. Deze gebieden zijn bij grootschalige crisissituaties en voor de drinkwatervoorziening in de verre toekomst afhankelijk van andere regio's en/of andere bronnen dan een NGR. Het Rijk moet de begrenzing en juridische bescherming van de NGR's nog beleidsmatig vaststellen. In 2025 onderzoekt het ministerie van I&W via een plan-MER-procedure welke NGR's aangewezen en beschermd gaan worden.

2.3.4 *Aanvullende potentiële grondwatervoorraden*

Deltares heeft andere potentiële grondwatervoorraden in beeld gebracht, in aanvulling op ASV's en NGR's. Daarbij gaat het onder meer over grondwater onder het IJsselmeergebied, kwelwaters uit polders, grondwater onder veenplassen en het aanvullen van grondwatervoorraden via kunstmatige infiltratie of injectie. Met deze aanvullende bronnen kan toekomstige inzet van ASV's en NGR's mogelijk worden beperkt. Deltares heeft een verkenning uitgevoerd naar de hoeveelheid water die kan worden gewonnen en naar eventuele negatieve effecten op het grondwatersysteem (De Louw et al., 2024). De toets voor uitvoerbaarheid moet voor al deze grondwatervoorraden nog worden uitgevoerd. De scheidslijn tussen conventionele bronnen en onconventionele bronnen is soms dun. Het grondwater dat onder het IJsselmeer kan worden gewonnen is vrijwel volledig brak. Daarnaast kunnen winningen van zoet kwelwater als een mogelijke uitbreiding van bestaande conventionele bronnen worden beschouwd. De winning van brak kwelwater hoort vanwege het watertype meer bij onconventionele bronnen (hoofdstuk 3), maar wordt hier samen met zoet kwelwater als één onderwerp behandeld.

Grondwater onder het IJsselmeer en Markermeer

De studie van Deltares (De Louw et al., 2024) laat zien dat onder het IJsselmeer en Markermeer aanzienlijke hoeveelheden grondwater per jaar kunnen worden gewonnen zonder dat dit veel negatieve effecten op het regionale grondwatersysteem van het IJsselmeergebied heeft. Bij onttrekking vindt aanvulling plaats vanuit de meren, zodat de negatieve effecten op het ondiepe grond- en oppervlaktewatersysteem worden gecompenseerd.

Het betreft een verkennende studie, waarvan de haalbaarheid nog verder moet worden onderzocht. De Louw et al. (2024) geven aan dat bij de afweging van het gebruik van deze aanvullende grondwatervoorraden moet worden meegenomen welke maatschappelijke en hydrologische voordelen het kan opleveren en wat eventuele negatieve effecten zijn. Aandachtspunten zijn verder het chloridegehalte van het grondwater en de technische haalbaarheid van de winningen. De benodigde infrastructuur is moeilijker te realiseren dan bij een winning op land.

Kwelgebieden

Deltares vond drie polders waar de kwelflux voldoende sterk is om jaarronde winning mogelijk te maken: de Koekoekspolder, de Horstermeerpolder en de Bethunepolder. Daarnaast werden nog vier andere polders aangetroffen waar een kleinere kwelflux kan worden gewonnen.

Er zijn twee soorten kwelwaterwinning. Bij *passieve kwelwinning* wordt het kwelwater, nadat het is uitgetreden in het oppervlaktewatersysteem, samen met het neerslagoverschot gebruikt voor drinkwaterbereiding. In de Bethunepolder wordt een deel al benut door Waternet. De effecten van deze winmethode op de omgeving zijn beperkt, maar een nadeel is dat het kwelwater mengt met het oppervlaktewater, waardoor het kan worden verontreinigd.

Bij *actieve kwelwinning* wordt het grondwater onttrokken voordat het als brak of zout kwelwater in het oppervlaktewatersysteem uittreedt. Waternet onderzoekt momenteel de mogelijkheden om brak grondwater uit de Horstermeerpolder te onttrekken en in te zetten voor drinkwaterbereiding (zie paragraaf 3.2.1). Deltares vond een aantal andere polders die hier mogelijk ook geschikt voor zijn: het Waverveen, de Purmer, de Koekoekspolder en de Zuidplaspolder. Voor de Koekoekspolder worden de mogelijkheden voor winning momenteel onderzocht. Voor een aantal polders zorgt een diepe onttrekking ook voor een reductie van de zoutbelasting naar de polders (De Louw et al., 2024).

Grondwater onder veenplassen

De effectiviteit en neveneffecten van de winning van grondwater onder veenplassen hangen sterk af van de bodem- en deklaagweerstand onder de plassen. De Loosdrechtse en Vinkeveense plassen zijn in principe geschikt voor waterwinning, omdat de infiltratie van oppervlaktewater de onttrekking grotendeels dekt en de effecten op de omgeving beperkt zijn. Deze plassen staan namelijk deels in open verbinding met het eerste watervoerende pakket. Gedurende de zomer kan een toename in de oppervlaktewatervraag vanwege de onttrekking echter wel een aandachtspunt zijn (De Louw et al., 2024).

2.3.5 *Grootschalige kunstmatige infiltratie*

Bij grootschalige open kunstmatige infiltratie, ook wel aangeduid als *Managed Aquifer Recharge* (MAR), wordt (oppervlakte)water aangevoerd, dat via infiltratieplassen in de bodem terecht komt. Dit extra opgeslagen grondwater stroomt na infiltratie richting de plek waar het water weer wordt teruggewonnen. Hoe groter de afstand tot de terugwinning en hoe lager de doorlatendheid van de bodem, hoe langer dit grondwater kan worden vastgehouden (De Louw et al., 2024). Voor

dit type kunstmatige infiltratie zijn gebieden nodig met relatief diepe grondwaterstanden (dieper dan 2,5 meter onder maaiveld). Voorbeelden van bestaande MAR-systemen zijn de duininfiltratiesystemen van verschillende drinkwaterbedrijven langs de kust.

Bij hoge infiltratie ten opzichte van de onttrekkingshoeveelheid stijgt de grondwaterstand en neemt de afvoer en kwel rondom de infiltratiegebieden toe. Dit kan voor de omgeving als positief worden beschouwd.

Aandachtspunten voor MAR zijn:

- Beschikbaarheid van water voor infiltratie en transport (inclusief energiebehoefte) van dit water richting de hoger gelegen infiltratieplassen.
- Het ontwikkelen en beheer van infiltratieplassen. Dit vergt ruimte en ze dienen zo te worden ingericht dat ze in het landschap passen en een natuurfunctie kunnen vervullen.
- Het voorkomen van te hoge grondwaterstanden waardoor wateroverlast kan ontstaan. Dit kan worden tegengegaan door een lagere infiltratieflex of het aanleggen van extra drainage.

Een ander belangrijk aandachtspunt is de kwaliteit van het te infiltreren water. Deze is altijd anders dan die van het ontvangende grondwater, maar de aanwezigheid van (micro)verontreinigen kan leiden tot ongewenste verandering van de grondwaterkwaliteit (ook wel aangeduid als 'vergrijzing'). Vergrijzing van het grondwater door kunstmatige infiltratie van water kan worden voorkomen door voorzuivering of het gebruik van schone bronnen (bijvoorbeeld opgevangen kwelwater). Eisen aan kunstmatige infiltratie zijn opgenomen in de wetgeving (Zuurbier et al., 2015). Momenteel loopt er bij STOWA een project 'Verantwoord infiltreren en aanvullen' om te onderzoeken hoe infiltratie en grondwateraanvulling vanuit het oogpunt van (grond)waterkwaliteit verantwoord kunnen worden uitgevoerd.

De Veluwe is het grootste gebied dat in aanmerking komt voor MAR (zie *Wateraccu* hieronder). Onder de Veluwe kan het water het langst worden vastgehouden, omdat dit het grootste aaneengesloten gebied is zonder ontwatering. Het is tevens het gebied met de diepste grondwaterstanden. Naast de Veluwe zijn ook de Utrechtse Heuvelrug, Sallandse Heuvelrug en andere stuwwallen kansrijk. Verder onderzoek op lokaal niveau is nodig om de potentie van deze bron voor drinkwater beter te kunnen bepalen. Dit omvat onder meer onderzoek naar omgevingseffecten en risicoanalyse, kosten en baten en maatschappelijk draagvlak.

Wateraccu

Het idee van de zogenoemde Wateraccu is om rivierwater in de ondergrond van de Veluwe op te slaan. Het water uit de IJssel en de Rijn moet hiervoor omhoog worden gepompt, waarna het via infiltratievenen in de bodem van de Veluwe sijpelt. De grondwaterstand op de Veluwe staat is (15 tot 70 meter onder het maaiveld) waardoor er veel ruimte is om water op te slaan. In theorie kan zo 300 miljoen m³ per jaar worden opgeslagen (Mens & de Louw, 2020). De uitvoerbaarheid hiervan moet nog worden getoetst.

Het water blijft lang in de ondergrond, omdat er geen sloten zijn. Verkennende berekeningen van Deltares met het Landelijk Hydrologisch Model laten zien dat na 1 jaar nog 95% van de aangevulde grondwatervoorraad aanwezig is, na 5 jaar nog 55% en na 10 jaar nog steeds 23%, als dit grondwater niet wordt onttrokken (Mens & de Louw, 2020). De grondwatervoorraad kan hiermee sterk toenemen en worden gebruikt voor de landbouw, de drinkwatervoorziening of de industrie. Mogelijke nadelen van dit concept zijn vergrijzing van het grondwater, hoog energieverbruik voor het pompen en verlies aan biodiversiteit (Van Dam, 2020).

Diepinfiltratie

Een andere variant van kunstmatige infiltratie is diepinfiltratie. Hierbij wordt water tijdens natte periodes opgeslagen in de diepe ondergrond en weer opgepompt als de vraag naar drinkwater tijdens droge periodes hoger is. Verschillende drinkwaterbedrijven onderzoeken diepinfiltratie als mogelijkheid om tijdens periodes van grote vraag een extra bron voor drinkwater te hebben (Tabel 2.2, Tabel 2.3). PWN doet bijvoorbeeld onderzoek naar Aquifer Storage & Recovery (ASR) via diepinfiltratie bij Hoorn en Overveen (PWN, 2024b). Hier gelden veel van de aandachtspunten die ook gelden bij open infiltratie, zoals hiervoor beschreven.

2.4 Toekomstplannen conventionele bronnen per drinkwaterbedrijf/provincie

Tabel 2.2 toont de conventionele bronnen die drinkwaterbedrijven in de toekomst denken te blijven of gaan gebruiken of waarnaar onderzoek voor toekomstig gebruik plaatsvindt. Tabel 2.3 toont daarnaast in meer detail welke initiatieven er lopen voor gebruik van extra oppervlaktewater of oevergrondwater. Hieronder wordt dit per drinkwaterbedrijf/provincie kort toegelicht. De informatie is verkregen op basis van interviews en aanvullende informatie.

WBG/provincie Groningen

Waterbedrijf Groningen (WBG) wil bestaande grondwater- en oppervlaktewaterwinningen uitbreiden. Voor de toekomstige drinkwatervoorziening zullen ASV's worden ingezet en er wordt blijvend gezocht naar nieuwe winlocaties. Er wordt ook ingezet op diepinfiltratie tijdens natte periodes. Het vasthouden van water krijgt prioriteit. Onttrekkingen en aanvullingen van grond- en oppervlaktewater moeten in evenwicht worden gebracht.

WMD/provincie Drenthe

Voor WMD Drinkwater NV (WMD) en de provincie Drenthe blijft grondwater de belangrijkste bron voor drinkwater voor de toekomst. Aan de ASV-opgave wordt voldaan door het uitbreiden van bestaande winningen. Er worden onderzoeken gedaan naar natuurlijke infiltratie om de grondwaterstanden aan te vullen, en naar diepinfiltratie met oppervlaktewater.

WMD heeft in het Masterplan Infrastructuur WMD 2019-2040 maatregelen gedefinieerd om in het waterwingebied voldoende reservestelling bij de pompputten te hebben. Hierdoor wordt het mogelijk om de waterwinvergunningen volledig te benutten. De

maatregelen hebben betrekking op het realiseren van nieuwe pompputten in verschillende bestaande waterwingebieden.

PWN/provincie Noord-Holland

N.V. PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland (PWN) gebruikt nu en in de toekomst oppervlaktewater (IJsselmeer, Lekkanaal) voor de drinkwatervoorziening. Dit water wordt deels geïnfiltreerd in de duinen. Er zijn plannen voor een klimaatbuffer in het IJsselmeer, om zo extra voorraden en een natuurlijke voorzuivering te creëren. Een klein deel van het voorzieningsgebied heeft grondwater als bron. PWN doet onderzoek naar Aquifer Storage & Recovery (ASR) via diepinfiltratie bij Hoorn en Overveen (zie ook paragraaf 2.3.5) (PWN, 2024b). In het project Water Aanvoer en Aanvulling in het Gooi (WAAG) onderzoekt PWN samen met Waternet en Vitens het gebruik van oppervlaktewater als bron voor drinkwater in het Gooi.

WAAG-project

Binnen het WAAG-project verkennen Waternet, PWN en Vitens verschillende potentiële aanvullende bronnen en technieken voor toekomstige drinkwatervoorziening in het Gooi. Mogelijke bronnen zijn het Gooimeer, het Eemmeer en het Amsterdam-Rijnkanaal. Daarbij wordt ook onderzocht hoe de drinkwaterproductie en eventuele buffers kunnen bijdragen aan de waterhuishouding en natuur in het Gooi. Het doel is een duurzame en toekomstbestendige drinkwatervoorziening. Bij dit project zijn ook partijen als gemeenten, provincies, Rijkswaterstaat, waterschappen, natuurorganisaties en LTO betrokken. Met hen wordt onder meer de impact op de waterhuishouding en natuur in kaart gebracht, zodat die in de besluitvorming kan worden meegenomen. Het onderzoek richt zich op de volgende onderdelen:

- Van welk water kan het best drinkwater worden gemaakt (het Gooimeer, Eemmeer of het Amsterdam-Rijnkanaal)?
- Hoe kan dit oppervlaktewater het best worden gezuiverd?
- Kan het voorgezuiverde oppervlaktewater en/of het natuurlijke neerslagoverschot in de bodem worden opgeslagen als buffer voor tijden van slechte oppervlaktewaterkwaliteit en droogte?

Als bovenstaande vragen zijn beantwoord, worden verschillende fases doorlopen: van planuitwerking, vergunningsprocedures, definitief ontwerp, aanbesteding tot de uiteindelijke bouw van een winning en zuivering en de aanleg van leidingen. Als alles voorspoedig verloopt, kan deze winning en zuivering in 2035 operationeel zijn (Waternet, 2024b).

Waternet/gemeente Amsterdam/provincie Noord-Holland

Voor de drinkwatervoorziening van Amsterdam wordt door Waternet oppervlaktewater uit het Lekkanaal geïnfiltreerd in de duinen. Waternet wil deze infiltratiecapaciteit in de toekomst verhogen. Daarnaast maakt Waternet gebruik van kwelwater uit de Bethunepolder (zie ook paragraaf 2.3.4). Waternet onderzoekt het gebruik van extra oppervlaktewater. Mogelijk komt het Amsterdam-Rijnkanaal hier in de toekomst voor in aanmerking. Daarnaast werkt Waternet samen met Vitens en PWN aan het hierboven genoemde WAAG-project.

Brabant Water/provincie Noord-Brabant

In de provincie Noord-Brabant wordt door Brabant Water N.V. nu en in de toekomst grondwater gebruikt voor de drinkwatervoorziening. Met de provincie Noord-Brabant zijn afspraken gemaakt over een maximale onttrekking van grondwater voor de drinkwatervoorziening, om daarmee het zoete grondwatersysteem te ontlasten. Dat betekent dat Brabant Water geen grondwater meer kan gebruiken om de groei op te vangen. ASV's worden in de toekomst niet gebruikt om extra grondwater te winnen, maar hooguit om bestaande grondwaterwinning te vervangen. Ook de huidige winningen staan soms ter discussie. Dat maakt dat Brabant Water gebruik moet gaan maken van andere watertypes buiten het zoetwatersysteem, te weten diep brak grondwater en zeewater (zie hoofdstuk 3, Onconventionele bronnen).

WML/provincie Limburg

N.V. Waterleiding Maatschappij Limburg (WML) is een gemengd bedrijf. Er wordt zowel gebruik gemaakt van grondwater (diep en ondiep) als van oppervlaktewater (de Maas en Duits Water uit de Eifel). WML streeft naar het behouden van bestaande grond- en oppervlaktewaterwinningen. Indien nodig moeten in de toekomst bestaande winningen worden vervangen. Niet alle aangewezen ASV-gebieden in Limburg zijn bruikbaar.

WML werkt momenteel gezamenlijk met de provincie Limburg het traject 'adaptieve paden' uit, waarin toekomstige opties voor de drinkwatervoorziening in Limburg worden onderzocht. Daarnaast onderzoekt WML de randvoorwaarden voor de inzetbaarheid van regenwater in het project *Superlocal* (zie hoofdstuk 3).

Dunea/provincie Zuid-Holland

Dunea Duin & Water (Dunea) gebruikt oppervlaktewater uit de Afgedamde Maas als primaire bron voor drinkwater en water uit de Lek als aanvullende bron of vervanging bij een calamiteit. Dit water wordt na een voorzuiveringsstap geïnfiltreerd in de duinen. Voor de toekomst wordt de reservevoorraad onder de duinen vergroot. In het pilotproject *Freshman* wordt gekeken hoe de winning van brak grondwater helpt om de zoetwaterbel te vergroten (dit wordt verder toegelicht in hoofdstuk 3 over onconventionele bronnen). Verder wordt onderzocht of lokaal zoet oppervlaktewater een aanvullende bron kan zijn, bijvoorbeeld het Valkenburgse Meer of de Vliet (Dunea, 2023).

Evides/provincies Zuid-Holland, Noord-Brabant en Zeeland

De grootste bron voor de productie van drinkwater voor Evides N.V. (Evides) is Maaswater, dat wordt ingenomen in de spaarbekkens in de Brabantse Biesbosch. Daarnaast heeft Evides grondwaterwinningen, met name gelegen op de Brabantse Wal en nabij de locatie Baanhoek. Ook wordt op twee locaties in de duinen geïnfiltreerd oppervlaktewater gewonnen. Voor Midden-Zeeland zijn na 2030 meer oppervlaktewaterbronnen nodig. Mogelijk leent het Volkerak-Zoommeer zich hiervoor. Dit is brak oppervlaktewater en dat komt terug in hoofdstuk 3.

Oasen/provincies Zuid-Holland en Utrecht

Voor Oasen N.V. (Oasen) blijft oeverfiltraat/grondwater de hoofdbron. ASV's zijn onderdeel van de zoektocht naar nieuwe

oevergrondwaterwinningen tot 2040. Oasen verkent ook de inzet van andere bronnen zoals oppervlaktewater, gezuiverd rioolwater en brak grondwater. Die laatste twee komen ook terug in hoofdstuk 3 (onconventionele bronnen).

Vitens/provincies Utrecht, Gelderland, Overijssel, Flevoland en Friesland

Vitens N.V. (Vitens) gebruikt vooral grondwater als bron voor de drinkwaterbereiding. Daarnaast wordt op enkele locaties oevergrondwater of geïnfiltreerd oppervlaktewater gewonnen.

In sommige regio's is er sprake van een tekort aan drinkwater (Twente, de Achterhoek en de Noordoostpolder). Deze regio's moeten in de toekomst via transportleidingen worden gevoed vanuit regio's waar wel voldoende bronnen zijn. Vitens is daarom van plan het leidingnetwerk grondig te herzien (H2O-Actueel, 2023) en is voornemens om productielocaties te clusteren en meer centraal te zuiveren. Dit traject wordt de Vitens Streefstructuur genoemd. Onderdeel hiervan is een ringleiding die door het voorzieningsgebied van Vitens moet gaan lopen. Het plan van Vitens is om vanaf 2035 met de aanleg te beginnen.

Regio's of locaties waar mogelijk meer water kan worden gewonnen, zijn de bestaande productielocatie Spannenburg, de IJsselvallei, het Ketelmeer, Arnhem-Noord, de Wateraccu op de Veluwe (zie 2.3.5) en in het Gooi (WAAG, zie boven).

Bij oppervlaktewater is er de keuze tussen directe inname of inname via oeverfiltratie. Oppervlaktewater uit het Apeldoorns Kanaal, de Klarbeek en de Grift wordt nu al na natuurlijke infiltratie teruggewonnen via grondwateronttrekking bij Schalterberg en Epe.

Vitens heeft projecten lopen voor uitbreiding van de zuiveringscapaciteit uit grondwater, vooral bij bestaande productielocaties, maar er worden ook nieuwe productielocaties ontwikkeld. ASV's vallen deels binnen bestaande winningen. Tot 2040 worden deze één voor één ontwikkeld.

Vitens richt zich ook op andere bronnen, zoals (licht) brak grondwater (de IJsselvallei nabij Deventer en de regio Salland), oppervlaktewater (IJssel en Ketelmeer) en zeewater (Waddeneilanden). Zie hiervoor ook Hoofdstuk 3.

Tabel 2.2 Openstaande opties (X) voor huidige en toekomstige conventionele bronnen per provincie/drinkwaterbedrijf.

Drinkwaterbedrijf		Vitens	Waternet	WBG	Dunea	Evides	Brabant Water	WML	WMD	Oasen	PWN
Provincie(s)		Utrecht Gelderland Overijssel Flevoland Friesland	Noord- Holland	Groningen	Zuid- Holland	Zuid- Holland Zeeland Noord- Brabant	Noord- Brabant	Limburg	Drenthe	Zuid- Holland Utrecht	Noord- Holland
Toekomstige conventionele bron	Grondwater /ASV's	X		X		X	X	X	X	X	X
	Oppervlakte-water	X	X	X	X	X		* X			X
	Duininfiltratie										X
	Opp. water via bodempassage (infiltratie)	** X	** X								X
	(Diep)infiltratie oppervlakte-water	X	X	X	*** X			****	X		X
	Oevergrond-water/ASV's	X						X		X	

* korte bodempassage Heel

** WAAG-project

*** in duinsysteem

**** pilot diepinfiltratie zuidoost Nederland (1998)

Tabel 2.3 Initiatieven voor toekomstig (periode circa 2030-2050) gebruik van zoet oppervlaktewater voor de drinkwaterbereiding.

Drinkwaterbedrijf	Huidig	Toekomstige aanvullende opties
Brabant Water	-	Provinciebreed natuurlijke grondwateraanvulling via Brabants grondwaterconvenant/ droogteagenda 2040
Dunea	Afgedamde Maas, Lek	Lokaal oppervlaktewater, diepinfiltratie in duinsysteem, extra oppervlaktewater uit de Lek
Evides	Biesbosch/Maas/Haringvliet	Aanvullend (brak) oppervlaktewater voor Midden-Zeeland
Oasen	Oevergrondwater	Aanvullende capaciteit oevergrondwater, oppervlaktewater (wellicht na 2040)
PWN	IJsselmeer, Lekkanaal	WAAG, diepinfiltratie oppervlaktewater
Vitens	De IJssel, en de Overijsselse Vecht, gewonnen als oevergrondwater (Engelse Werk) en de Vecht (Vechterweerd)	Wateraccu, WAAG, Living lab langs de IJssel opties: Rijn, IJssel, IJsselmeer, Natuurlijke infiltratie oppervlaktewater
Waternet	Lekkanaal, Betunepolder	WAAG, Oppervlaktewater Amsterdam-Rijnkanaal, Diepinfiltratie oppervlaktewater
WBG	Drentsche Aa	Diepinfiltratie oppervlaktewater
WMD	-	Diepinfiltratie oppervlaktewater, Grondwateraanvulling via natuurlijke infiltratie
WML	Maas via bodempassage in Roosteren en via spaarbekken, bodempassage in Heel	Toekomstige opties worden in het kader van de adaptieve paden verkend/onderzocht

2.5 Deelconclusies

Huidige winningen optimaal blijven benutten.

Huidige drinkwaterbronnen zullen grotendeels in gebruik blijven. Winningen zullen misschien alleen vanwege andere omgevingsfuncties of vanwege waterkwaliteitsproblemen worden gesloten of verplaatst. Voor de drinkwatervoorziening is het belangrijk dat deze huidige conventionele bronnen duurzaam inzetbaar en goed beschermd blijven.

Provincies hebben ASV's vastgesteld en het Rijk stelt NGR's vast voor de toekomstige drinkwatervoorziening.

Aanvullende strategische voorraden zullen in de meeste provincies vanaf 2030 geleidelijk in gebruik worden genomen, of zijn soms deels al in gebruik. Niet elke provincie heeft echter grote hoeveelheden beschikbaar.

Daarnaast worden nationale grondwaterreserves aangewezen door het Rijk. Die dienen als noodvoorraad tijdens een crisis en voor de drinkwatervoorziening op lange termijn.

Mogelijk nog andere aanvullende grondwatervoorraden beschikbaar.

Onderzoek van Deltares laat zien dat er in (technische) potentie significante grondwatervoorraden zijn die in de toekomst ook zouden kunnen worden gebruikt voor de drinkwatervoorziening. Voorbeelden zijn brakke en zoute kwel in polders, en grondwater onder veenplassen en onder het IJsselmeer. De haalbaarheid en uitvoerbaarheid van deze bronnen moet nog worden onderzocht.

Veel drinkwaterbedrijven die grondwater winnen, overwegen ook oppervlaktewaterwinning.

Winning van grondwater kan invloed hebben op andere ruimtelijke functies, zoals natuur en landbouw. Veel grondwaterwinningen worden al maximaal ingezet en verschillende drinkwaterbedrijven hebben ten behoeve van natuurherstel of in het kader van Natura2000 reductieafspraken met de provincie gemaakt. Oppervlaktewater is een alternatief, ook voor drinkwaterbedrijven die traditioneel bijna uitsluitend grondwater gebruiken.

Drinkwaterbedrijven onderzoeken nieuwe manieren om bronnen te gebruiken.

Drinkwaterbedrijven zijn bezig om meerdere conventionele (en ook onconventionele) bronnen te ontwikkelen. Zo is de voorziening minder kwetsbaar als één bron uitvalt, bijvoorbeeld als de kwaliteit tijdelijk niet goed is, of als er (tijdelijk) minder beschikbaar is. Dit wordt de multibronnenstrategie genoemd.

Onderdeel daarvan kan het aanvullen van grondwater door natuurlijke infiltratie van oppervlaktewater zijn, waardoor meer grondwater beschikbaar komt. Er lopen ook verschillende onderzoeken naar diepinfiltratie in Nederland. Water kan daarmee tijdelijk in de diepe ondergrond worden opgeslagen en in tijden van grote drinkwatervraag (meestal in de zomer) voor de drinkwatervoorziening worden gebruikt.

3 Ontwikkelingen onconventionele drinkwaterbronnen

3.1 Inleiding

Drinkwaterbedrijven en samenwerkingspartners ontplooiën steeds meer initiatieven op het gebied van zogenoemde onconventionele bronnen. Dit zijn bronnen, anders dan zoet grond- of oppervlaktewater. Dit wordt gedaan omdat de vraag naar drinkwater de laatste jaren stijgt en om minder afhankelijk te zijn van een beperkt aantal bronnen. Met name in gebieden met een lage beschikbaarheid van conventionele bronnen kunnen onconventionele bronnen een uitkomst zijn.

De afgelopen jaren is al onderzoek gedaan naar het gebruik van deze onconventionele bronnen, onder meer door Stofberg et al. (2019) en (Riemer et al., 2021). De meest veelbelovende onconventionele bronnen op basis van die studies zijn:

- brak en zout grondwater
- zeewater
- RWZI-effluent
- regenwater
- waterstof

Dit hoofdstuk begint met een update van de ontwikkelingen voor deze onconventionele bronnen (paragraaf 3.2). Daarna volgt een overzicht van lopende initiatieven per provincie en/of drinkwaterbedrijf (paragraaf 3.3). Het hoofdstuk besluit met een aantal deelconclusies (paragraaf 3.4).

3.2 Overzicht toekomstige onconventionele bronnen

3.2.1 *Brak of zout grond- en kwelwater*

3.2.1.1 Algemeen

In grote delen van het Nederlandse kustgebied is het diepere grondwater brak tot zout. In diepe polders en droogmakerijen waar kwel (opwaartse grondwaterstroming) plaatsvindt, kan het brakke of zoute water naar het oppervlak komen, waar het via sloten wordt afgevoerd. Ook buiten het kustgebied komt op grotere diepte brak grondwater voor. Zout en brak grondwater wordt van oudsher in Nederland niet gebruikt voor de bereiding van drinkwater, omdat hiervoor ontzilting nodig is en de benodigde technologie relatief duur is.

Brak water kan een zeer geschikte bron van zoetwater zijn, als antropogene verontreinigingen afwezig zijn en ontzilting kosteneffectief is. Als brak water op strategische locaties kan worden gewonnen, kan daarnaast verzilting van de omgeving en van stroomafwaarts gelegen gebieden, zoals polders, worden tegengegaan (Stofberg et al., 2018). Dit biedt een bijkomend voordeel voor de landbouw, omdat brakke of zoute kwel daar een probleem voor kan vormen.

Het stromingspatroon in de omgeving past zich aan, waardoor zoutwaterintrusie kan worden voorkomen of de zoutvracht naar het oppervlaktewater wordt gereduceerd. Toenemende verzilting wordt bestreden, waardoor de doorspoelbehoefte wordt verminderd (Bos-Burgering et al., 2021). Gewonnen brak water is in te zetten voor de productie van zoetwater voor landbouw, industrie en drinkwater. De

positieve effecten zijn het grootst als het verwijderde zout (brijn) na ontzilting wordt afgevoerd naar zee, in plaats van te worden geloosd in de lokale ondergrond (Stofberg et al., 2018). Wel moet er rekening mee worden gehouden dat onttrekking de grondwaterstand kan doen verlagen, waardoor mogelijke negatieve effecten kunnen optreden. Dit geldt ook voor conventionele grondwaterwinningen.

Voor ontwikkeling van brakwaterwinningen is 'COASTAR' (COastal Aquifer STORAGE and Recovery) een belangrijk samenwerkingsverband (Stofberg et al., 2018; Bos-Burgering et al., 2021). In COASTAR werken universiteiten, kennisinstellingen, drinkwaterbedrijven en overheden samen aan de toepassing, opschaling en implementatie van brakwaterwinning, in combinatie met de ondergrondse opslag van zoetwater. Zoetwateropslag in de ondergrond overbruggt het verschil in tijd en ruimte tussen watervraag en wateraanbod (zie ook paragraaf 2.3.4).

Beschikbaarheid

In het kader van COASTAR zijn geohydrologische geschiktheidskaarten voor ondergrondse opslag en brakwaterwinning ontwikkeld (Bos-Burgering et al., 2021). Hydrologisch gezien is brakwaterwinning zowel langs de kustlijn als in diepe polders interessant. Brakke en zoute grondwatervoorraden zijn beschikbaar onder een groot deel van Nederland, maar hoe verder landinwaarts, hoe dieper de voorraden zich bevinden. De brakke voorraden zouden jaarrond in relatief beperkte volumes kunnen worden gewonnen. De bestudeerde casussen uit Stofberg et al. (2018) hebben een potentiële capaciteit van 2 tot 6 miljoen m³ per jaar. Daarnaast ontstaat door infiltratie aan het maaiveld een extra voorraad zoet grondwater. Er zou in de komende tientallen jaren in potentie voor tientallen miljoenen m³ extra opslagcapaciteit kunnen worden opgebouwd (Stofberg et al., 2018).

Kwaliteit

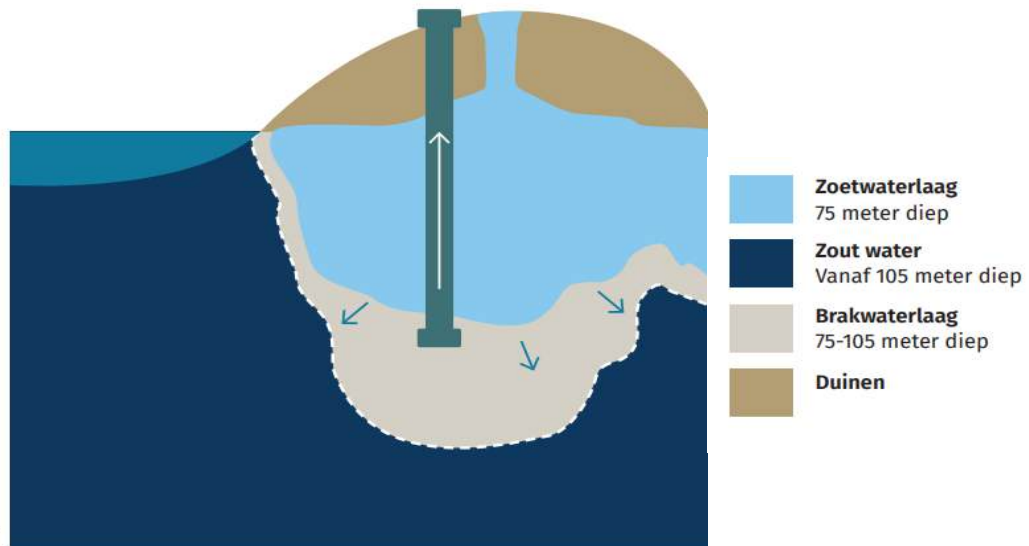
De belangrijkste kwaliteitsparameter voor brak en zout grondwater is het zoutgehalte. Om brak of zout grondwater te kunnen gebruiken voor de bereiding van drinkwater, moet het worden ontzilt. Dit gebeurt meestal met omgekeerde osmose, een vorm van membraanfiltratie. Hoe hoger het zoutgehalte, hoe meer druk nodig is om het water door het membraan te persen wat meer energie en geld kost. Meer informatie over deze technieken is te vinden in hoofdstuk 4. Naast zout kan het grondwater stoffen bevatten die van nature in grondwater voorkomen, zoals ijzer, mangaan en ammonium. Net als bij zoet grondwater zullen deze componenten moeten worden verwijderd. De kans op aanwezigheid van antropogene verontreinigingen, zoals medicijnresten en bestrijdingsmiddelen, is echter klein, omdat veel van de voorraden brak en zout grondwater zich al duizenden jaren in de ondergrond bevinden, en niet aan menselijke activiteiten zijn blootgesteld (Stofberg et al., 2019).

Er lopen binnen en buiten COASTAR verschillende onderzoeksinitiatieven om brak grondwater te winnen en in te zetten voor de drinkwatervoorziening. Hieronder worden enkele voorbeelden uitgewerkt.

3.2.1.2 Lopende proefprojecten en voorbeelden

Freshman

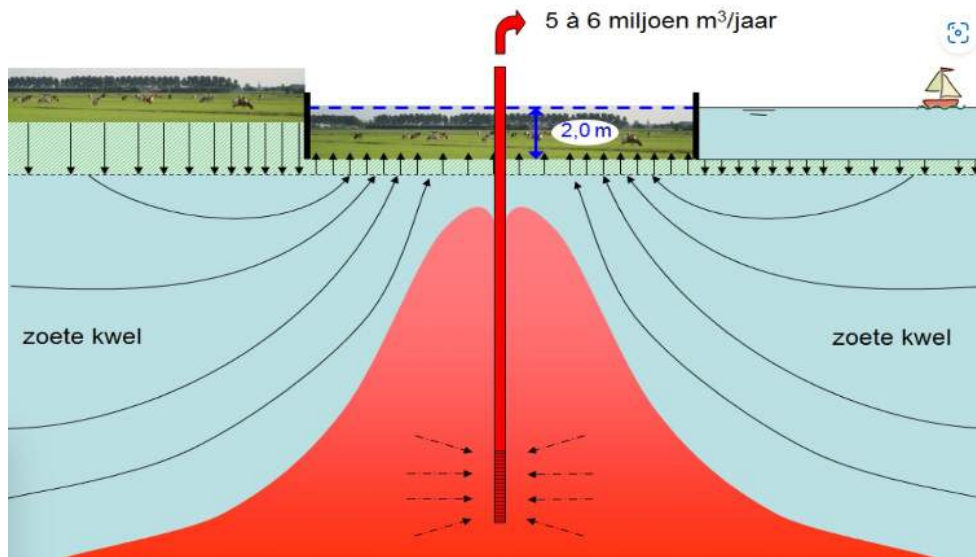
Het Freshman-project is een brak grondwaterproject dat in de duinen van Scheveningen bij Dunea wordt uitgevoerd. Aan de onderkant van de zoetwaterbel in de duinen is het water te zout voor drinkwaterproductie. Door dit brakke grondwater te winnen en extra zoetwater te infiltreren, treedt er minder verlies van zoetwater naar zee en het poldersysteem op (Figuur 3.1). Daarmee wordt de strategische zoetwatervoorraad onder de duinen groter. Tevens is er door de brakwaterwinning extra drinkwaterproductie. Het brakke water wordt behandeld met een kaarsenfilter, gevolgd door omgekeerde osmose.



Figuur 3.1 Het Freshman-concept in de duinen bij Scheveningen, afbeelding overgenomen van (Dunea, 2024b).

Brakke kwel Horstermeerpolder

Waternet wil brakke kwel die in de laaggelegen Horstermeerpolder omhoog komt oppompen voordat het water bovengronds komt (Figuur 3.2). Het drinkwaterbedrijf onderzoekt daarbij of het brakke water gebruikt kan worden als aanvullende bron voor de bereiding van drinkwater.



Figuur 3.2 Gebruik van brakke kwel uit de Horstermeerpolder, afbeelding overgenomen van (Waternet, 2024a).

Het oppompen van dit grondwater heeft verschillende voordelen voor de omgeving:

- Het zoute water komt niet meer in het lokale oppervlaktewater terecht. De waterkwaliteit in de Vecht en de noordelijke Vechtplassen verbetert hierdoor.
- Er blijft nu zoet kwelwater van goede kwaliteit over voor de omgeving, waardoor minder zoetwater uit het Markermeer nodig is om verzilting tegen te gaan.
- Verder blijft er nu meer water uit de Bethunepolder over voor een bekken in de Loosdrechtse plassen. Waternet vult dat nu soms aan met water uit het Amsterdam-Rijnkanaal, maar dat heeft een slechtere kwaliteit.

Voor Waternet heeft het gebruik van deze bron ook een aantal voordelen. Het opgepompte brakke water wordt gebruikt om in de toenemende vraag naar drinkwater in Amsterdam te voorzien. Dit kan enkele miljoenen kubieke meters drinkwater per jaar opleveren. Er is dan minder water uit de Bethunepolder nodig. Waternet hoeft ook minder vaak water uit Amsterdam-Rijnkanaal te gebruiken om de 'Waterleidingplas', een procesbekken in de Loosdrechtse plassen, bij te vullen. Het water uit het Amsterdam-Rijnkanaal is van mindere kwaliteit en hoeft dan alleen bij calamiteiten te worden ingezet.

Als de pilot goed werkt zal het brakke water in de toekomst naar pompstation Weesperkarspel gepompt worden (Waternet, 2017). Hier wordt het met omgekeerde osmose ontzilt en gemengd met water dat bij Weesperkarspel is gewonnen. Het brijn dat na zuivering van het brakke water overblijft, gaat naar de RWZI in Weesp. Daar wordt het gemengd met gezuiverd afvalwater. Dit gemengde water wordt geloosd op het Amsterdam-Rijnkanaal. Daar zou de zoute kwel anders ook terecht komen, maar op deze manier komt het niet meer in de Vecht terecht. Het water gaat via het IJ en het Noordzeekanaal bij IJmuiden naar de Noordzee (Waternet, 2017).

Brak grondwater Genderen (Brabant Water)

Op dit moment wordt de winning van diep brak grondwater op de locatie Genderen verkend als uitbreiding van de reeds bestaande winning van zoet grondwater. Doel is om per jaar 6,5 miljoen m³ brak grondwater te winnen, wat ongeveer 5 miljoen m³ extra drinkwater moet opleveren. In 2022 is een pilotonderzoek begonnen, waarbij eerst een winput is geslagen. Hiermee wordt een pompproef gedaan en wordt de waterkwaliteit gemonitord. Daarnaast vindt sinds 2024 pilotonderzoek plaats naar de meest geschikte zuivering (zie Tabel 4.4 in hoofdstuk 4).

3.2.1.3 Conclusie

Er lijkt een redelijke hoeveelheid winbaar, brak grondwater te zijn. Het gaat vaak om enkele miljoenen kubieke meters per jaar en de proefprojecten laten zien dat het technisch mogelijk is om dit als bron van drinkwater te benutten. Als de onttrekkings- en lozingsvergunningen tijdig zijn vastgesteld, zouden brak waterbronnen vanaf circa 2030-2035 gebruikt kunnen worden voor de productie van drinkwater.

Ontzilten is de belangrijkste zuiveringsstap voor brak grondwater.

Als de winning niet in de buurt van de kust gebeurt, is een oplossing nodig voor het afvoeren of behandelen van het gevormde concentraat. In hoofdstuk 4 wordt hier verder op ingegaan.

3.2.2 Zeewater

3.2.2.1 Algemeen

Zeewater ontzilten voor drinkwaterdoeleinden gebeurt al veel in droge gebieden waar onvoldoende zoetwater voorhanden is, zoals het Midden-Oosten of op eilanden (Jones et al., 2019). In Europa is gebruik beperkt en vooral geconcentreerd rond de Middellandse zee (Adamovic et al., 2019). Hiervoor worden meestal membraanfiltratie-systemen gebruikt.

Op Curaçao bijvoorbeeld zijn onvoldoende bronnen van zoetwater en er valt niet genoeg regen om voldoende drinkwater te produceren. Daarom wordt gebruik gemaakt van zeewater. Al sinds 1928 destilleert het lokale drinkwaterbedrijf zeewater om drinkwater te maken. Ook past het drinkwater- en elektriciteitsbedrijf Aqualectra 'omgekeerde osmose' toe (Aqualectra, 2022). Ook in Nederland is ontzilting van zeewater toegepast. Waterbedrijf PWN deed dat van 1973 tot 1987 in Oudeschild om in een deel van de Texelse drinkwaterbehoefte te voorzien (Haasnoot, 1988). De ontzilting stopte toen er in 1988 een leiding vanaf het vasteland werd aangelegd (Peters, 2013).

Deze paragraaf gaat verder in op aspecten van drinkwaterproductie uit zeewater en geeft een toelichting op enkele lopende initiatieven.

Beschikbaarheid en kwaliteit

Zeewater is langs de Nederlandse kust gedurende het hele jaar praktisch onbeperkt beschikbaar. De belangrijkste kwaliteitsparameter voor zeewater is de saliniteit van ongeveer 35 gram per liter, waardoor het noodzakelijk is om het water te ontzilten voordat het als drinkwater kan worden gebruikt. Afhankelijk van de ligging (nabij een estuarium of niet) en menselijke activiteiten (lozing en vervuiling vanaf land of schepen) kan zeewater daarnaast antropogene verontreinigingen bevatten. Sommige verontreinigende stoffen (kleine moleculen) worden niet volledig door omgekeerde osmose uit het water verwijderd.

Daarnaast moet er rekening mee gehouden worden dat aanwezige zwevende deeltjes (zoals sediment, organisch materiaal en algengroei) bij de toepassing van omgekeerde osmose problemen kunnen opleveren. Voordat het water met omgekeerde osmose kan worden behandeld, is er daarom een voorzuivering nodig (Stofberg et al., 2019).

Concentraat

Als restproduct van ontzilting van zeewater en brak grondwater door middel van omgekeerde osmose ontstaat een concentraatstroom van ingedikt zeewater. In de meeste gevallen waarbij het door lokale wet- en regelgeving wordt toegestaan, wordt het concentraat in zee geloosd (Greenlee et al. (2009), in Stofberg et al. (2019)). Vergunningverlening is echter niet vanzelfsprekend. In hoofdstuk 4 wordt verder ingegaan op het lozen en verwerken van concentraat dat ontstaat bij de productie van drinkwater.

3.2.2.2 Lopende proefprojecten en voorbeelden

Project De Ganzepoot

In België wordt door drie Vlaamse drinkwaterbedrijven vanwege zoetwater tekorten proefproject 'De Ganzepoot' uitgevoerd. De Ganzepoot is vernoemd naar het gelijknamige sluiscomplex in de IJzermonding, waar zes waterwegen en de Noordzee bij elkaar komen. Het hele jaar is er onbeperkt zoet, brak en zout water beschikbaar dat behandelbaar is tot drinkwater (Nijholt, 2022). Doorgaans zal zoet oppervlaktewater worden gewonnen voor de drinkwaterproductie. Tijdens droogteperiodes wordt ook brak water en zeewater gewonnen. In 2025 moet er een nieuwe productielocatie met een capaciteit van 4 miljoen m³ per jaar beschikbaar zijn. Hiermee wordt drinkwater aan ruim 30.000 huishoudens geleverd. Met deze extra locatie kan aan de toenemende vraag in de kustregio worden voldaan en blijft de productie van de bestaande productielocaties stabiel. In het testcentrum is de CCRO-technologie (Closed Circuit Reverse Osmosis) gebruikt. Deze technologie kan automatisch schakelen tussen brak water, zout water en zoetwater als wisselende bronnen. Daarna is ook de Sonix ED-technologie getest. Deze technologie maakt gebruik van 'sonificatie'. De membranen die bij deze technologie worden gebruikt, zouden in theorie minder gevoelig zijn voor verontreiniging en een grotere zoutvracht kunnen verwerken.

Brabant Water

Brabant Water ziet zeewater als een potentiële bron voor drinkwater voor de langere termijn (vanaf 2032/2035). Dit is mede ingegeven door het feit dat het grondwatersysteem uit balans is en de groeiende vraag niet met grondwater mag worden opgevangen. Zeewater is onderdeel van de multibronnenstrategie, maar grondwater blijft voor Brabant Water wel de hoofdbron (zie ook paragraaf 2.4). Brabant Water heeft een bureaustudie gedaan, waarbij is gezocht naar de meest geschikte locatie. Daarbij is gekeken naar de waterkwaliteit, naar welke voorzuiveringstechnieken in aanmerking komen en naar de mogelijkheden voor het afvoeren van concentraat. Op basis daarvan wil Brabant Water een pilotonderzoek beginnen bij de Oosterschelde. De voorbereidingen staan gepland voor 2025. De beoogde drinkwaterproductie is 10 miljoen m³ per jaar.

3.2.2.3 Conclusie

Enkele drinkwaterbedrijven zien zeewater als een potentiële aanvullende bron voor drinkwater voor de toekomst. Zeewater zal vermoedelijk niet voor 2035 daadwerkelijk voor drinkwaterdoeleinden worden gebruikt, en mogelijk pas nog verder in de toekomst. Dit is afhankelijk van regionale omstandigheden. Belemmeringen voor zeewater zijn momenteel nog de investeringskosten, het energieverbruik in combinatie met de beschikbaarheid van energie, de transportafstanden en de vergunningverlening. Ook moet het concentraat kunnen worden afgevoerd of behandeld (zie ook hoofdstuk 4).

3.2.3 RWZI-effluent

Algemeen

In Nederland wordt RWZI-effluent in de meeste gevallen op het oppervlaktewater geloosd. Het wordt momenteel niet direct hergebruikt voor de bereiding van drinkwater. Deze mogelijkheid wordt op dit moment wel onderzocht door een consortium van onder meer drinkwaterbedrijven en waterschappen (zie hieronder).

Er vindt ook onderzoek plaats naar hergebruik van RWZI-effluent voor de landbouw (Roex et al., 2021; Bartholomeus, 2024; Swartjes et al., 2024). Ook leveren drinkwaterbedrijven de industrie soms proceswater dat is geproduceerd uit RWZI-effluent. Hiervoor hoeven dan geen conventionele bronnen voor drinkwater te worden gebruikt (Hooijmeijer, 2016). RWZI-effluent is ook nodig om zowel de lokale kleinere waterlopen als de grotere van water te voorzien.

Wanneer oppervlaktewater wordt gewonnen voor drinkwater, kan er op bepaalde locaties sprake zijn van onbewust hergebruik van RWZI-effluent, omdat het oppervlaktewater voor een significant percentage uit effluent kan bestaan (Stofberg et al., 2019). De kwaliteit hiervan is door verdunning, afbraak, selectieve inname en voorzuivering wel beter dan het effluent zelf.

Beschikbaarheid RWZI-effluent

Er zijn 315 RWZI's in Nederland. Deze zuiverden in 2022 samen ongeveer 1,8 miljard m³ afvalwater (CBS, 2022). Dat is gemiddeld zo'n 5,7 miljoen m³ per RWZI (Roex et al., 2021). Door infiltrerend grond- of oppervlaktewater belandt er ook rioolvreemd water in het riool. Anderzijds kan er door lekkages ook rioolwater verloren gaan en in de bodem terechtkomen. In gemengde riolen wordt ook veel neerslag via het riool afgevoerd. De neerslaghoeveelheid beïnvloedt daarmee de totale stroom aan RWZI-effluent (CBS & KNMI, 2018; Stofberg et al., 2019). In periodes zonder neerslag volgt het volume huishoudelijk afvalwater - en daarmee het effluent - echter grotendeels het huishoudelijke drinkwaterverbruik. Tijdens de zomer zal de stroom in verhouding wel iets afnemen, doordat drinkwater wordt gebruikt om bijvoorbeeld tuinen te sproeien en dan niet in het riool terecht komt.

Kwaliteit RWZI-effluent

Afvalwater bevat veel verontreinigingen, zoals organische stof, nitraat, fosfaat, bacteriën, pathogenen, virussen, en organische microverontreinigingen (OMV's), zoals medicijnresten en poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS). Voordat gezuiverd afvalwater mag worden geloosd dient het aan een aantal eisen te voldoen. Er zijn normen voor het biologisch zuurstofverbruik (BZV, 20 mg per liter), het chemisch

zuurstofverbruik (CZV, 125 mg per liter) en de concentratie opgeloste stoffen (30 mg per liter). Het fosforgehalte in het effluent mag bij grote RWZI's niet hoger zijn dan 1 mg per liter en het stikstofgehalte niet hoger dan 10 mg per liter (IPLO, 2024a). Er bestaan momenteel geen grenswaarden voor bacteriën, pathogenen, virussen en organische microverontreinigingen in RWZI-effluent. Door de herziene Europese Richtlijn stedelijk afvalwater zullen in de toekomst meer nutriënten (fosfaat en stikstof) en microverontreinigingen uit het afvalwater moeten worden verwijderd (Anonymous, 2024).

Concentraties van bovengenoemde verontreinigingen zijn in RWZI-effluent vaak veel hoger dan in reguliere bronnen voor drinkwater (oppervlaktewater of grondwater). Voor organische microverontreinigingen is dit een factor 10-100, voor microbiologische parameters scheelt dit 4-5 log-eenheden (10.000- 100.000). Om van RWZI-effluent drinkwater te maken, zijn dus geavanceerde zuiveringsmethoden nodig. Alle bovengenoemde verontreinigingen zullen immers in zo'n mate moeten worden verwijderd dat wordt voldaan aan de kwaliteitseisen voor drinkwater. Gegarandeerde desinfectie is hierbij een belangrijk aandachtspunt (Stofberg et al., 2019). Zie ook Hoofdstuk 4.

3.2.3.1 Lopende proefprojecten en voorbeelden

Buitenlandse voorbeelden

In Vlaanderen wordt RWZI-effluent op één locatie ingezet voor de drinkwatervoorziening. Het effluent van RWZI Wulpen wordt gezuiverd met onder meer membraanfiltratie. Vervolgens is er een duinpassage en na terugwinning wordt het opnieuw gezuiverd bij pompstation Torreele van het Vlaamse drinkwaterbedrijf Aquaduin/IWVA (IWVA, 2024). Dankzij de continue aanvoer van effluent is men verzekerd van deze bron en hoe meer drinkwater wordt verbruikt, hoe hoger de aanvoer van huishoudelijk afvalwater naar de RWZI.

In Windhoek (Namibië) wordt RWZI-effluent direct gezuiverd tot drinkwater voor circa 300.000 inwoners. Dit is hier noodzakelijk vanwege een tekort aan andere waterbronnen. De zuivering bestaat uit een groot aantal stappen, waaronder actief koolfiltratie (AKF), ozonisatie en ultrafiltratie (InfoMIL, 2024). In Californië, een staat met een tekort aan waterbronnen, is het sinds 2023 toegestaan om RWZI-effluent direct te hergebruiken als bron voor drinkwater (Beam, 2023).

Project De Ultieme waterfabriek

In het project 'De Ultieme Waterfabriek' (2021-2027) laten een aantal waterschappen en drinkwaterbedrijven gezamenlijk zien hoe en onder welke voorwaarden RWZI-effluent rechtstreeks kan worden gebruikt als bron voor drinkwater. De praktijkfase van het project vindt plaats in de *ultrapuur waterfabriek Nieuwater* in Emmen, waar RWZI-effluent uit Emmen wordt gezuiverd. De installatie bestaat uit bewezen technieken, zoals koolfiltratie, ultrafiltratie, omgekeerde osmose, UV-desinfectie en marmersfiltratie. Er is gekozen voor bewezen technieken, omdat technische innovatie niet het speerpunt van dit project is. Technisch zijn er immers al voldoende mogelijkheden om van RWZI-effluent drinkwater te maken. Het project focust op kwaliteitsmonitoring,

consumentenperceptie, effecten voor de waterketen, betrekken van stakeholders en het verkennen van juridische randvoorwaarden.

Binnen het project wordt een (risicogestuurd) monitoringsprogramma opgesteld. Omdat RWZI-effluent als bron voor drinkwater nog onbekend is en een andere kwaliteit heeft dan reguliere bronnen voor drinkwater (grondwater, oppervlaktewater), zullen mogelijk aanvullende of andere parameters (zowel chemisch als microbiologisch) moeten worden gemonitord. Het tweede belangrijke onderzoeksonderwerp binnen het project is de acceptatie en perceptie van de consument. Alhoewel het technisch mogelijk is om van RWZI-effluent drinkwater te maken, kan dit idee toch weerstand vanuit de maatschappij ondervinden. Mensen kunnen het een vies idee vinden dat toiletwater wordt gebruikt voor het produceren van drinkwater. Om de perceptie te onderzoeken wordt in het kader van het project een enquête onder een representatieve groep mensen in Nederland uitgezet.

Verder wordt in het project nagegaan wat de gevolgen voor het watersysteem zijn als het RWZI-effluent daar niet meer wordt teruggebracht, maar wordt gebruikt als bron voor drinkwater. Wanneer wordt geloosd op grote wateren, zoals de zee of grote rivieren, zullen de gevolgen van het stopzetten van lozingen naar verwachting klein zijn. Bij kleine wateren, vooral bij beken in droge gebieden, kunnen er gevolgen zijn voor de afvoer, waardoor ecologische waarden mogelijk in het geding komen (Stofberg et al., 2019). Verder worden in het project regionale casestudies uitgewerkt om na te gaan hoe vraag (vanuit een drinkwaterbedrijf) en aanbod (vanuit een waterschap) met elkaar kunnen worden gematcht. Andere stakeholders spelen hierin ook een belangrijke rol.

Tot slot wordt ook in kaart gebracht welke wetten en regels moeten veranderen voor grootschalige toepassingen van RWZI-effluent als bron voor drinkwater. Op dit moment is RWZI-effluent in Nederland nog geen toegestane bron voor de bereiding van drinkwater.

3.2.3.2 Conclusie

RWZI-effluent kan in de toekomst een aanvullende bron voor de bereiding van drinkwater worden als deze bron wettelijk wordt toegestaan. Het gebruik ervan wordt momenteel onderzocht. Veel drinkwaterbedrijven verwachten dat deze bron echter pas op de lange termijn (na 2040) een bijdrage aan de drinkwatervoorziening zal kunnen leveren. Belangrijke aandachtspunten zijn het garanderen van de kwaliteit van het drinkwater, de publieke perceptie en het in balans houden van het watersysteem. RWZI-effluent is ook nodig om zowel de lokale kleinere waterlopen als de grotere waterlopen van water te voorzien. Andere doelen waarvoor RWZI-effluent kan worden gebruikt, zijn irrigatie en industriewater. Door RWZI-effluent hiervoor te gebruiken, kunnen mogelijk andere bronnen, zoals grondwater, vrijkomen voor de productie van drinkwater.

3.2.4 *Regenwater*

3.2.4.1 Algemeen

In Nederland worden soms initiatieven ontplooid om in het kader van de circulaire economie of vanuit de veronderstelde duurzaamheidseffecten regenwater voor de drinkwaterbereiding te gebruiken. In deze paragraaf

wordt eerst ingegaan op beschikbaarheid, kwaliteit en regelgeving en daarna worden twee voorbeelden toegelicht (De Ceutel en Superlocal).

Kwaliteit regenwater

De kwaliteit van hemelwater, maar voornamelijk van opgevangen regenwater, is over het algemeen slechter dan van grondwater en niet voldoende om zonder zuivering te kunnen drinken.

Er zijn zowel microbiologische als chemische parameters die een risico vormen voor de kwaliteit van het opgevangen regenwater (Van Driezum, van der Aa, et al., 2020).

Beschikbaarheid regenwater

Om alle inwoners van een dichtbevolkte stadswijk van voldoende drinkwater te voorzien kan er via alle daken onvoldoende neerslag worden opgevangen. Andere vormen van opslag, zoals een opvangvijver, nemen in steden te veel ruimte in. Realistisch gezien kan hoogstens ongeveer een derde van de drinkwaterbehoefte worden opgevangen (Van Driezum, van der Aa, et al., 2020). In de stedenbouwkundige ontwerpen van nieuwe wijken is het niet mogelijk om in de volledige drinkwaterbehoefte te voorzien (Hofman-Caris, de Waal, et al., 2018).

Duurzaamheid en kosten

Uit een LCA-studie blijkt dat decentrale zuivering op wijksschaal iets duurzamer is dan centrale drinkwaterproductie uit oppervlaktewater, maar het verschil is zo klein dat het slechts minimaal (circa 1‰) bijdraagt aan vermindering van de totale voetafdruk van een individuele inwoner. Decentrale zuivering voor een individuele woning levert nauwelijks milieuwinst op, en is heel duur (Hofman-Caris, Bertelkamp, et al., 2018). Een combinatie van decentrale en centrale drinkwaterzuivering leidt tot hogere kosten en een slechtere kwaliteit drinkwater.

Decentrale productie van drinkwater uit opgevangen regenwater is wat de kosten betreft wel op wijksschaal mogelijk. Indien het voorkomen van overlast en de kosten ten gevolge van zware regenval worden meegerekend, liggen de kosten in dezelfde orde van grootte als de huidige kosten voor centraal geleverd drinkwater.

Regelgeving

Hemelwater wordt in de huidige wet- en regelgeving rond drinkwater expliciet genoemd als bron voor huishoudwater (enkel voor toiletspoeling), maar niet als grondstof voor drinkwater. In de Drinkwaterwet staat vermeld dat bij Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB) kan worden besloten dat het verboden is water te gebruiken voor de bereiding van drinkwater wanneer een bron niet de gestelde kwaliteit heeft en de zuivering niet afdoende is. Het gaat hierbij om water dat niet is gedefinieerd als oppervlaktewater, grondwater en zeewater. Hemelwater wordt echter niet expliciet genoemd als grondstof voor drinkwater.

Het ministerie van I&W en de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) krijgen met regelmaat vragen van particulieren over het gebruik van regenwater als alternatieve bron voor drinkwater, of voor direct gebruik voor douchen, afwassen of wassen.

Wanneer hemelwater op een adequate wijze wordt behandeld, kan het verbod worden opgeheven en kan dit water als drinkwater worden gebruikt. Het ontbreekt echter nog aan een standaard risicobeoordelingsmethodiek om deze aanvragen te behandelen. Ook is het onduidelijk hoe deze bron voor drinkwater moet worden beschermd. Deze informatie is nodig om richtlijnen te kunnen opstellen, bijvoorbeeld voor kwaliteitscontroles in de vorm van een meetprogramma voor deze specifieke bron. In Van Driezum, van der Aa, et al. (2020) wordt voornamelijk aanbevolen voor regenwater het meetprogramma voor oppervlaktewater te gebruiken.

3.2.4.2 Lopende proefprojecten en voorbeelden

De Ceuvel

Het project 'Showcase kringloopsluiting Cleantech Playground Amsterdam' van topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI) is uitgevoerd door kennisinstituut KWR, in samenwerking met *Metabolic*, *Waternet* en *Advanced Waste Water Solutions* (Roest et al., 2016). In dit project werd gestreefd naar een (biologische) kringloopsluiting in een proeftuin voor schone, innovatieve technologie in Amsterdam-Noord. Het project richtte zich op de waterketen van 'De Ceuvel', een broedplaats voor creatieve ondernemers. Onderdeel van de watertechnologieën die onderzocht zijn, is de opvang van regenwater en zuivering tot drinkwaterkwaliteit. Hoewel bleek dat er lokaal drinkwater kan worden geproduceerd dat aan de veiligheidsnormen voldoet, koos 'De Ceuvel' er voor om dat niet te doen. Dit kwam deels door de hoge kosten voor de controles en het onderhoud.

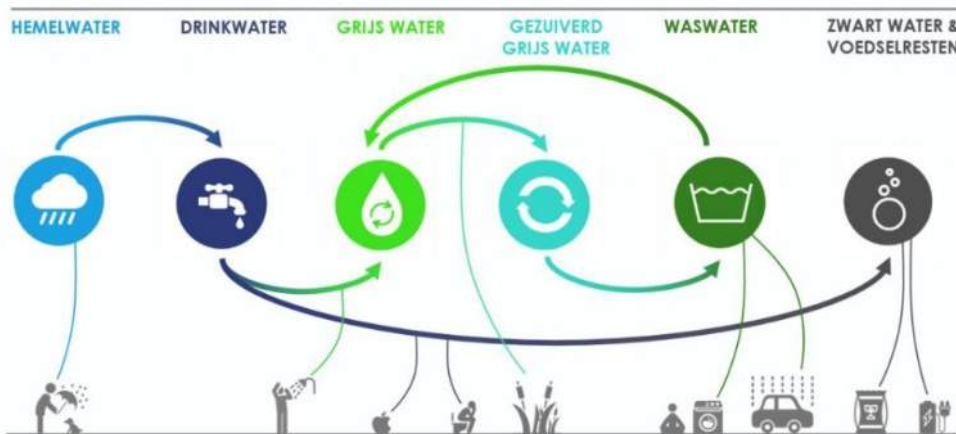
Superlocal

Bij het project *Superlocal* in Kerkrade zijn flats vervangen door sociale huurwoningen. Het streven is om hier een (bijna) gesloten waterkringloop te realiseren, waardoor forse milieuwinst wordt geboekt (Anonymous, 2020). Alle materialen die binnen het gebied vrijkomen, inclusief de waterstromen, worden opnieuw in het gebied gebruikt. Voor het thema water schoven de waterexperts van WML en het waterschapsbedrijf Limburg aan. Samen met gemeenten beheren zij de hele waterketen (van drinkwater tot gezuiverd afvalwater).

WML participeert in het project *Superlocal* om te bepalen of decentrale technieken, bijvoorbeeld voor lokaal gebruik van regenwater, een aanvulling op de huidige centrale drinkwatervoorziening kunnen zijn (WML, 2024). Het regenwater wordt lokaal opgevangen en gezuiverd tot drinkwater. WML geeft aan dat volledige onafhankelijkheid van het centrale drinkwaternet in dit project niet in zicht is. Er zal altijd een *back-up* drinkwatervoorziening moeten zijn. Maar de gesloten waterkringloop kan wel helpen om de negatieve effecten van klimaatverandering tegen te gaan. Denk hierbij aan perioden van hevige regenval of juist langdurige droogte, waarbij de opvang van hemelwater een dempend effect kan hebben op de piekbelasting van zowel het rioolstelsel als het drinkwaternet.

Afvalwater uit de douche en wasbak (grijs water) wordt gezuiverd door planten. Het grijze water wordt waswater, dat kan worden gebruikt in een (centrale) wasserette en een autowasstraat (Figuur 3.3). Het gebruik van vacuümtoiletten en voedselrestenvermalers in de woningen

zorgt voor een zeer geconcentreerde stroom zwart water. Via vergisting ontstaan uit dat zwart water biogas, dat wordt omgezet in elektriciteit of warmte, en hoogwaardige meststof (Anonymous, 2020). Momenteel zit het project nog in de experimentele fase en het zal naar verwachting in 2027 zijn afgerond. Hoogstwaarschijnlijk zal uiteindelijk geen gezuiverd regenwater als drinkwater worden geleverd.



Figuur 3.3 Overzicht hergebruik van waterstromen in het Superlocal-project. Afbeelding overgenomen van Anonymous (2020).

3.2.4.3 Conclusie

Gebruik van regenwater als bron voor drinkwater middels decentrale zuivering levert nauwelijks voordelen op voor het milieu en de noodzakelijke installaties brengen aanzienlijke kosten met zich mee. Daarbij kan in stadswijken realistisch gezien slechts een derde tot de helft van de drinkwaterbehoefte worden opgevangen. Het is bovendien vrij kostbaar en in dichtbevolkte stadswijken praktisch vaak niet mogelijk. Wellicht dat op wijkniveau in de toekomst meer lokale initiatieven zullen ontstaan, maar regenwater lijkt geen significante bron voor de toekomstige drinkwatervoorziening te zijn.

3.2.5 Waterstof

3.2.5.1 Algemeen

Wanneer waterstof als brandstof wordt gebruikt of wordt omgezet in elektriciteit, wordt er water geproduceerd: $2 \text{ H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O}$. Deze waterstroom zou potentieel als bron voor drinkwater kunnen fungeren. Een aanzienlijk deel van het waterstofgebruik valt echter af voor hergebruik, omdat het waterstofgebruik te verspreid plaatsvindt, bijvoorbeeld in vrachtwagens, of omdat waterstof wordt gebruikt als grondstof in een chemisch proces waarbij geen water vrijkomt, zoals bij kunstmestproductie.

Toekomstige toepassingen worden verwacht in huishoudens, de industrie en voor de productie van elektriciteit. Een deel van het gebruik van waterstof in de industrie wordt ingezet voor het genereren van warmte, waarbij wel een waterstroom vrijkomt (Folmer et al., 2024).

Waterstof als aardgasvervanger in huishoudens en gebouwen

Waterstof die via het gasnet wordt verspreid, zou in de toekomst als energiedrager in huishoudens en gebouwen kunnen worden ingezet.

De productie van water uit het gebruik van waterstof voor verwarming is per puntbron echter relatief klein (enkele liters per huishouden per dag) en seizoensafhankelijk. De kwaliteit van het water zou vrij goed kunnen zijn. Aandachtspunten voor gebruik als drinkwater zijn opharding en de mogelijke aanwezigheid van opgeloste zware metalen (Stofberg et al., 2019). Gezien de geringe hoeveelheden lijkt dit geen kansrijke aanvullende bron voor drinkwater.

Waterstof voor de industrie

Waterstof als energiedrager kan voor de industrie een alternatief zijn voor fossiele brandstoffen. Stofberg et al. (2019) geven een rekenvoorbeeld van *Port of Amsterdam* waarin 15.000 ton waterstof per jaar wordt geproduceerd. Die kan worden omgezet in 135.000 m³ water per jaar, relatief constant in de tijd. Vermoedelijk wordt niet alle waterstof omgezet in water, maar wordt een deel ook gebruikt voor productie van chemicaliën. Indien er meerdere, kleinere puntbronnen zijn waar het water vrijkomt, is dit minder aantrekkelijk voor hergebruik voor drinkwater. Als de waterstof op of nabij de productielocatie wordt ingezet, kan het bovendien aantrekkelijker zijn om het (relatief zuivere) geproduceerde water weer te hergebruiken voor de waterstofproductie.

De kwaliteit van het water dat uit waterstofcellen of verbranding van waterstof wordt geproduceerd is naar verwachting relatief hoog, aangezien het weinig opgeloste stoffen bevat. Een risico is wel dat zware metalen of andere stoffen uit de gebruikte materialen oplossen en in het water terecht komen (Hristovski et al., 2009), waardoor de kwaliteit afneemt en de leidingen zelf ook minder lang mee gaan. Wettelijke eisen of voorschriften kunnen dit risico beperken. Folmer et al. (2024) geven aan dat er bij gebruik van waterstof als brandstof ten behoeve van warmteproductie waterdamp vrijkomt bij zeer hoge temperatuur. Die damp moet daarom worden gekoeld om als (vloeibare) bron voor drinkwater te kunnen fungeren. Daarnaast zullen bij de verbranding van waterstof ook andere producten dan water vrijkomen, zoals NO_x. De gevormde waterdamp is niet geheel zuiver, waardoor er additionele zuiveringsstappen nodig zijn om een zuivere waterstroom te kunnen produceren.

Waterstofgebruik voor elektriciteitsproductie

De elektriciteitsproductie in brandstofcellen, waarbij de elektrolyse reactie wordt omgekeerd, levert eveneens een waterstroom op. Waterstof reageert met zuurstof uit de lucht tot water, waarbij stroom wordt gegenereerd. Hierbij is een zuivere waterstroom te verwachten, op een aanzienlijk lagere temperatuur dan bij verbranding. Hierdoor is het een kansrijkere waterstroom voor hergebruik. Folmer et al. (2024) gaan uit van een scenario in 2040 of 2050 waarin per jaar 120 kiloton waterstof voor elektriciteitsproductie wordt geproduceerd. Dit levert maximaal ongeveer 1 miljoen m³ water per jaar op. Als dit water op één locatie vrijkomt, zou dit mogelijk een bijdrage kunnen leveren aan de drinkwaterproductie. Het is echter een relatief kleine hoeveelheid ten opzichte van de gemiddelde capaciteit van drinkwaterproductielocaties (circa 5 miljoen m³).

3.2.5.2 Conclusie

De inzet van waterstof in de industrie zou in theorie kunnen leiden tot een aanzienlijke productie van water. Er bestaat echter nog onduidelijkheid rondom de verdeling over verschillende locaties of processen, andere doelen dan verbranding en elektriciteitsproductie en eventueel hergebruik op eigen terrein. Het water is naar verwachting relatief schoon, maar enige zuivering zal wel nodig zijn. Elektriciteitsproductie lijkt op dit moment de beste kans te zijn om het water te hergebruiken, hoewel het ten opzichte van de gemiddelde productie van een drinkwaterproductielocatie niet om zeer grote hoeveelheden gaat. Waterstof zal daarom waarschijnlijk geen significante bron van water voor de drinkwatervoorziening zijn.

3.3 Toekomstplannen onconventionele bronnen

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de initiatieven van drinkwaterbedrijven en provincies op het gebied van onconventionele drinkwaterbronnen. Veel van deze initiatieven zijn nog in de onderzoeksfase. Er zijn met name veel initiatieven op het gebied van brak grondwater. Zeewater en RWZI-effluent worden door enkele drinkwaterbedrijven gezien als potentiële bron voor de langere termijn, vermoedelijk na 2040.

Tabel 3.1 Overzicht van onderzoeken en plannen van drinkwaterbedrijven en provincies voor toekomstige onconventionele bronnen.

Drinkwaterbedrijf/ provincie	Onderzoeken en plannen voor toekomstige onconventionele bronnen
Brabant Water/Noord-Brabant	Brak grondwater (Genderen), zeewater (Oosterschelde)
Dunea/Zuid-Holland	Brak grondwater aan randen duingebied (Freshman), zeewater optie voor verdere toekomst
Evides/Zuid-Holland, Zeeland, Noord-Brabant	Brak oppervlaktewater Volkerak Zoommeer
Oasen/Zuid-Holland, deel Utrecht	Oeverfiltraat/grondwater blijft hoofdbron. Langere termijn: brak grondwater, gezuiverd afvalwater/RWZI-effluent
PWN/Noord-Holland	Brak grondwater in de Haarlemmermeerpolder
Vitens/Utrecht, Gelderland, Overijssel, Flevoland Friesland	(Licht) brak grondwater (IJsselvallei, nabij Deventer en de regio Salland), zeewater op de Waddeneilanden
Waternet/ Noord-Holland	Brak grondwater Horstermeerpolder, RWZI-effluent voor industriewater
WBG/Groningen	Brak grondwater (terugvaloptie), RWZI-effluent via joint venture (North Water) voor industrie
WMD/Drenthe	Onderzoek naar brak grondwater, RWZI-effluent en hemelwater (samen met provincie Groningen, WBG en Vitens).
WML/Limburg	<i>Superlocal</i> Kerkrade als kleinschalig circulair experiment (waaronder drinkwater uit regenwater). Waarschijnlijk geen levering van drinkwater meer als eindresultaat.
Enkele	RWZI-effluent (Ultieme Waterfabriek)

Drinkwaterbedrijf/ provincie	Onderzoeken en plannen voor toekomstige onconventionele bronnen
drinkwaterbedrijven en waterschappen samen	
Waterstofindustrie	Gebruik van water dat vrijkomt bij de productie van elektriciteit uit waterstof

Tabel 3.2 toont enkele voorbeelden van bureau- of praktijkstudies die worden uitgevoerd, met de beoogde wincapaciteit en de schatting wanneer deze onconventionele bronnen daadwerkelijk een bijdrage aan de drinkwatervoorziening zouden kunnen leveren. Op basis van de huidige initiatieven (Tabel 3.1, Tabel 3.2) blijft het toekomstige aandeel van onconventionele bronnen voor de totale drinkwatervoorziening de komende tientallen jaren vermoedelijk beperkt tot maximaal circa 5%.

Tabel 3.2 Enkele lopende onderzoeken naar onconventionele bronnen.

Drinkwater- bedrijf	Naam project	Type bron	Verwachte wincapaciteit (miljoen m ³ per jaar)	Verwachting operationeel
Brabant Water	Pilotonderzoek Genderen	Brak grondwater	6,5	2030
Brabant Water	Zeewater Oosterschelde (deskresearch- fase)	Zeewater	10	2032-2035
Dunea	<i>Freshman</i> (Scheveningen)	Brak grondwater	5 (Stofberg et al., 2018)	Pilot loopt 2020-2025
Evides	Volkerakzoom- meer	Brak oppervlak- tewater	?	Pilotonderzoek in opstartfase
Oasen	MT-polder (bureaustudie)	Brak grondwater	?	Na 2040
Waternet	Horstermeer- polder	Brakke kwel	5-6	Vanaf 2030(?)
Enkele drinkwater- bedrijven en waterschappen	Ultieme waterfabriek	RWZI- effluent	Potentieel enkele miljoenen m ³ per jaar per RWZI	Vermoedelijk niet voor 2040
Waterstof industrie		Waterstof	1	2040-2050
Waternet	De Ceuvel	Regenwater	?	Na proeffase niet in praktijk gebracht
WML	<i>Superlocal</i>	Regenwater	0,9	In 2027 afgerond, waarschijnlijk geen drinkwater geleverd

3.4 Deelconclusies

Onconventionele bronnen als aanvulling op conventionele bronnen.

De gehouden interviews en literatuurstudie tonen de interesse van drinkwaterbedrijven in gebruik van onconventionele bronnen. Deze bronnen worden soms al toegepast om laagwaardig drinkwatergebruik te substitueren, bijvoorbeeld via levering van gezuiverd RWZI-effluent voor de industrie. Bereiding van drinkwater uit onconventionele bronnen beperkt zich voor nu tot pilotprojecten en onderzoeken. Op basis van de initiatieven is de verwachting dat de komende 25 jaar het aandeel van onconventionele bronnen niet meer dan circa 5 procent van het totaal zal zijn.

Concentraat, wetgeving, duurzaamheid en maatschappelijke acceptatie bemoeilijken snelle toepassing onconventionele bronnen.

De aandachtspunten bij het gebruik van onconventionele bronnen zijn deels vergelijkbaar met die bij conventionele bronnen, zoals beschikbaarheid en kwaliteit van de bron. Milieu en duurzaamheid, bestuurlijk-organisatorische haalbaarheid, maatschappelijk kosten en baten en de perceptie en klantbeleving vergen bij onconventionele bronnen extra aandacht.

Daarnaast zijn veel onconventionele bronnen nog niet in wetgeving opgenomen, waardoor ontheffing nodig is voor gebruik in drinkwaterbereiding. Het beschermingsbeleid moet vaak ook nog worden ontwikkeld. Om het gebruik van deze bronnen mogelijk te maken, is het belangrijk voorbereidingen te treffen.

Ook het vrijkomen van concentraat als reststroom bij gebruik van membraanfiltratie betekent dat een lozingsvergunning nodig is, wat een knelpunt voor gebruik van onconventionele bronnen kan vormen.

Van de onconventionele bronnen is brak grondwater het dichtst bij realisatie.

Er lopen meerdere praktijkprojecten met brak grondwater bij drinkwaterbedrijven. Zeewater en RWZI-effluent zijn als drinkwaterbron opties voor de langere termijn vanwege energieverbruik, hogere kosten en mogelijk beperkte maatschappelijke acceptatie.

Het duurzaam kunnen afvoeren of behandelen van het concentraat is wel cruciaal voor het succes van ontziltingstechnieken.

Waterstof en regenwater zijn minder kansrijk als aanvullende drinkwaterbron, vanwege de beperkte winbaarheid ten opzichte van de andere onderzochte onconventionele bronnen. Bij toekomstig gebruik van waterstof in elektriciteitscentrales komt een relatief beperkte hoeveelheid water beschikbaar. Voor regenwater zijn erg veel lokale, kleinschalige initiatieven nodig om in een substantieel deel van drinkwaterbehoefte te kunnen voorzien.

4 Ontwikkelingen drinkwaterzuiveringstechnologie

4.1 Inleiding

Om van een drinkwaterbron daadwerkelijk drinkwater te maken dat voldoet aan de kwaliteitseisen uit het Drinkwaterbesluit, is zuivering nodig. Grondwater wordt vaak nog behandeld met eenvoudige zuiveringsmethoden, zoals beluchten en filtreren. Om uit oppervlaktewater drinkwater te produceren zijn extra zuiveringsstappen nodig, in de praktijk in elk geval een vorm van koolfiltratie en soms geavanceerde zuiveringsmethoden. Dit hoofdstuk begint met een overzicht van de huidige zuiveringsmethoden die worden gebruikt voor het produceren van drinkwater.

Daarna wordt een overzicht gegeven van innovatieve zuiveringstechnologieën en hun ontwikkelingsstadium. Er wordt ook nog specifiek in gegaan op de behandeling van concentraatstromen, die ontstaan bij bijvoorbeeld het gebruik van omgekeerde osmose en er is specifiek aandacht voor de verwijdering van PFAS uit (drink)water. Ten slotte is per drinkwaterbedrijf is aangegeven welke benodigde ontwikkelingen zij richting 2040-2050 op het gebied van zuivering zien.

Speciale aandacht voor PFAS

Een grote waterkwaliteitsuitdaging voor nu en de toekomst is verontreiniging door PFAS. PFAS kan al bij lage concentraties effecten hebben op de gezondheid. Het RIVM heeft een drinkwaterrichtwaarde afgeleid voor de som van PFAS met een waarde van 4,4 nanogram per liter PEQ (PFOA-equivalenten) (Van der Aa et al., 2021). De schadelijkheid van verschillende PFAS wordt vergeleken met de relatieve potentie van perfluorooctaanzuur (PFOA). Het voornemen van de overheid is om deze richtwaarde in de toekomst als wettelijke kwaliteitseis in het Drinkwaterbesluit op te nemen. Het RIVM-advies is om alle PFAS met een relatieve potentiefactor (RPF) daarin mee te nemen (Hartmann et al., 2023).

Drinkwaterbedrijven onderzoeken samen met onderzoeksinstituut KWR welke opties er zijn om PFAS-concentraties in drinkwater te verlagen. Hiervoor is waarschijnlijk aanvullende zuivering nodig en het verwerken van PFAS-bevattende reststromen krijgt in het onderzoek momenteel veel aandacht. Daarom wordt PFAS-verwijdering in dit hoofdstuk specifiek behandeld.

4.2 Huidige technologie voor de bereiding van drinkwater

4.2.1 *Gebruik technieken per drinkwaterbron*

Drinkwaterbedrijven zetten voor de productie van drinkwater verschillende zuiveringstechnieken in. Het hangt van verschillende factoren af welke techniek wordt gebruikt. De belangrijkste factoren zijn de waterkwaliteit van de bron, de visie van het waterbedrijf, de lokale omstandigheden, zoals aanwezige ruimte en mogelijkheden om concentraat te lozen, technische factoren en de kosten en duurzaamheid, waaronder energie- en chemicaliënverbruik (Hofman-Caris, 2019). Door de vaak complexe watersamenstelling en de gestelde kwaliteitseisen, is het vrijwel nooit mogelijk om met één enkele

zuiveringsstap drinkwater te bereiden. Meestal is een combinatie van technologieën nodig om alle verontreinigen te verwijderen.

Het KWR-rapport 'Afwegingen bij toepassing van zuiveringstechnieken in de Nederlandse drinkwaterproductie' (Hofman-Caris, 2019) geeft een helder overzicht van de huidige zuiveringsmethoden en de methoden voor de nabije toekomst. Tabel 4.1 geeft een overzicht van de veelgebruikte technologieën, met daaronder per bron een korte samenvatting van de huidige werkwijze. Paragraaf 4.2.2 gaat dieper in op de geavanceerde technologieën.

Per productielocatie wordt een selectie van technologieën gebruikt. De meeste hiervan kunnen zowel voor grondwater- als voor oppervlaktewaterbronnen worden gebruikt. Een verdere toelichting is onder meer te vinden in het boek 'Drinkwater – principes en praktijk' (De Moel et al., 2005) en in De Waal en Hofman-Caris (2021).

Tabel 4.1 Overzicht veelgebruikte zuiveringstechnieken per drinkwaterbron. Oppervlaktewater (O) of grondwater (G).

Zuiverings-technologie	Toepassing	Drinkwater-bron
Traditioneel		
Beluchten en ontgassen	Toevoeging zuurstof aan het water; verlagen concentraties opgeloste gassen zoals methaan (CH ₄), waterstofsulfide (H ₂ S), koolstofdioxide (CO ₂) en vluchtige organische stoffen	G
Coagulatie en flocculatie	Vormen van vlokdeeltjes om te laten bezinken of te verwijderen met snelfiltratie	O
Snelfiltratie	Verwijderen van grove deeltjes; oxidatie en verwijdering van ijzer, mangaan, en geadsorbeerde zware metalen, ammonium	O, G
UV-disinfectie	Inactiveren van bacteriën, virussen en Giardia/Crypto.	O, G
Actieve kool (Filter of poeder)	Adsorptie van organische stoffen, geur, smaak, PFAS en andere OMV's	O, G
Ontharding	Verwijderen van calcium om water zachter te maken	O, G
Langzame zandfiltratie	Verwijderen zwevend stof, ammonium, diverse OMV's, en desinfectie	O
Ultrafiltratie	Verwijderen deeltjes en desinfectie, bij grondwaterzuivering vooral voor spoelwaterbehandeling	O, G
Geavanceerd		
Nanofiltratie (NF)	Verwijderen opgeloste stoffen, multivalente ionen, ontharden, OMV's, desinfectie	O, G

Zuiverings-technologie	Toepassing	Drinkwater-bron
Omgekeerde osmose (RO)	Verwijderen opgeloste stoffen, zouten, ontharden, OMV's, desinfectie	O, G
Geavanceerde oxidatie (O ₃ of UV/H ₂ O ₂)	Afbraak van OMV's (niet PFAS) en ook desinfectie	O
Ionenwisseling	Verwijderen van anionen of kationen of geladen organische stoffen	O, G

Grondwater

Grondwater wordt meestal als de meest aantrekkelijke bron voor de productie van drinkwater beschouwd, omdat het microbiologisch betrouwbaar is en minder kwetsbaar is voor verontreiniging dan oppervlaktewater. Dit zorgt ervoor dat het zuiveringsproces relatief eenvoudig en goedkoop kan worden uitgevoerd (Van der Aa et al., 2015). Een klassieke grondwaterzuivering bestaat uit beluchting/ontgassing, gevolgd door zandfiltratie voor de verwijdering van ijzer en mangaan en voor nitrificatie. Afhankelijk van de kwaliteit van het grondwater en de diepte waaruit het water wordt onttrokken, kan het noodzakelijk zijn om nog extra zuiverings- of conditioneringsstappen toe te voegen, zoals ontharding, ontzuring, actief koolfiltratie en desinfectie (Hofman-Caris, 2019) en soms ook ionenwisseling of omgekeerde osmose.

Oppervlaktewater

Het zuiveren van oppervlaktewater is vaak gecompliceerder dan grondwaterzuivering, doordat er doorgaans meer chemische en microbiologische verontreinigingen in oppervlaktewater aanwezig zijn, zoals pesticiden, medicijnresten en pathogenen (zoals enterovirussen en *Cryptosporidium* (ILT, 2019)). Voor oppervlaktewater bestaat een klassiek zuiveringsproces uit coagulatie/flocculatie/sedimentatie, gevolgd door filtratie. In Nederland is de oppervlaktewaterzuivering bijna altijd uitgebreid met ontharding, actief koolfiltratie en desinfectie.

Om organische microverontreinigingen verdergaand te verwijderen, worden in de praktijk al aanvullende geavanceerde technologieën ingezet. Voorbeelden zijn membraanfiltratie, bijvoorbeeld nanofiltratie (NF) en omgekeerde osmose (RO), geavanceerde oxidatie (bijvoorbeeld met ozon (O₃), ultraviolet licht (UV) of waterstofperoxide (H₂O₂)), ionenwisseling en actief koolfiltratie.

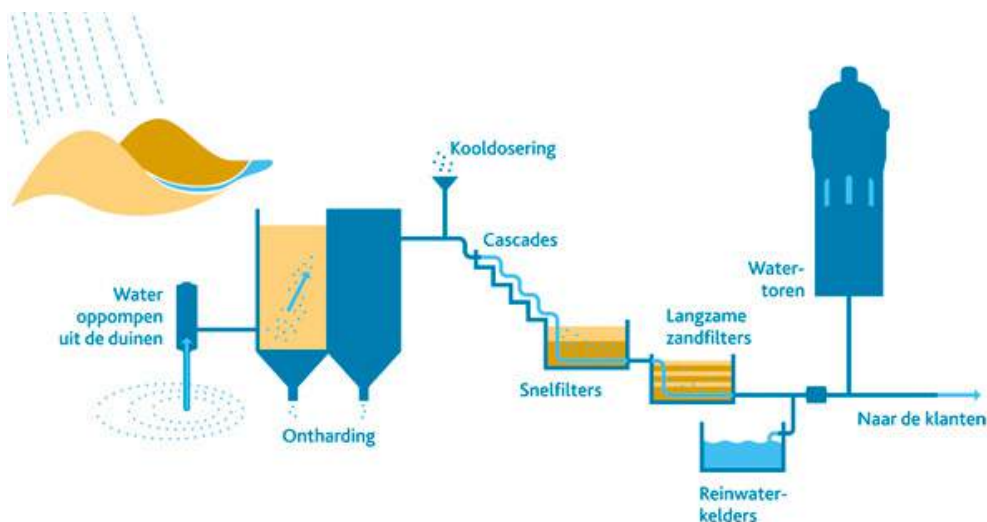
Oevergrondwater

Oevergrondwater is het grondwater dat zich in de directe nabijheid van de oever van oppervlaktewater bevindt en direct wordt beïnvloed door schommelingen in het waterpeil van dat oppervlaktewater. Het is een mengvorm van grond- en oppervlaktewater. Via bronputten, enkele tientallen meters diep en op enige afstand van een rivier, wordt het water door de bodem heen aangetrokken. Het gewonnen water heeft een verblijftijd van tientallen dagen tot enkele jaren in de bodem, waar door bodempassage een natuurlijke zuivering plaatsvindt en het water microbiologisch betrouwbaar wordt en een vrijwel constante

temperatuur heeft. Oevergrondwaterwinningen ondervinden vrijwel geen hinder van tijdelijke verontreinigingen van het oppervlaktewater, maar wel van structurele aanwezigheid van chemische stoffen. Oevergrondwater wordt gebruikt door Oasen, WML en Vitens. De technieken die worden toegepast om oevergrondwater te zuiveren tot drinkwater, hebben veel weg van klassieke grondwaterzuivering met aanvullende zuivering, zoals actief koolfiltratie en/of omgekeerde osmose.

Duinfiltraat

Duinfiltraat is water dat is gefilterd doordat het door zandduinen is gestroomd. Dit natuurlijke filtratieproces helpt verontreinigingen uit het water te verwijderen. Duinfiltraat wordt gebruikt als een drinkwaterbron in West-Nederland. Daar komt dit filtratieproces van nature voor, maar het wordt voor waterzuiveringsdoeleinden ook kunstmatig geïnitieerd met behulp van infiltratiewerken. Hierbij wordt oppervlaktewater voorgezuiverd voordat het naar de duinen wordt getransporteerd. Dit kan eenvoudige zuivering zijn (coagulatie, zandfiltratie), maar soms ook geavanceerde oxidatie van een deelstroom (Dunea) of omgekeerde osmose (PWN). Na een duinpassage van circa 30 tot 60 dagen wordt het weer opgepompt. De nabehandeling kan nog vrij uitgebreid zijn met bijvoorbeeld beluchting en snelfiltratie, ontharding en actief koolfiltratie, eventueel geavanceerde oxidatie en langzame zandfiltratie en desinfectie. Figuur 4.1 toont als voorbeeld het zuiveringsproces van Dunea.



Figuur 4.1 Weergave zuiveringsproces van Dunea, overgenomen van (Dunea, 2024a). Na een voorzuivering wordt het water gefiltreerd in de duinen. Daarna ondergaat het de volgende stappen: ontharding, adsorptie aan poederkool, cascadering/beluchten, snelfiltratie en langzame zandfiltratie.

PFAS-verwijdering met actieve kool

Granulaire actieve kool of poederkool (PAC) die worden gebruikt voor oppervlaktewater-, oevergrondwater- en soms voor grondwaterbehandeling, kunnen een bijdrage leveren aan de verwijdering van PFAS uit het water. Het halen van de toekomstige norm is in de huidige situatie bij gebruik van deze technologieën echter niet gegarandeerd.

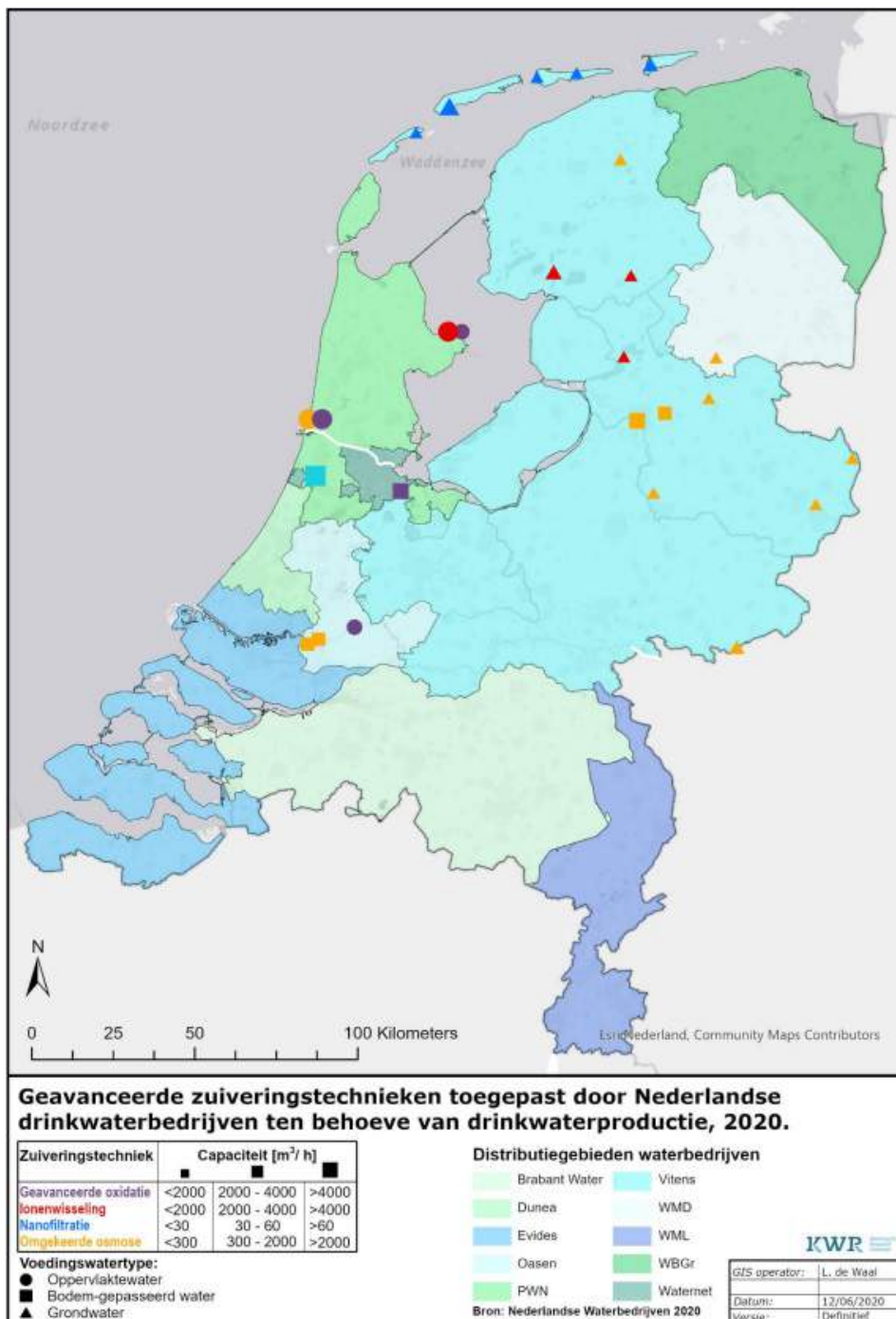
Langere PFAS-ketens adsorberen over het algemeen beter aan actieve kool dan kortere PFAS-ketens. Thermisch geregenereerde en 'verse' kool verwijderen PFAS (en andere stoffen in het water) beter dan actieve kool aan het eind van de looptijd. Om de toekomstige PFAS-norm te halen, moeten actieve koolfilters daarom vaker geregenereerd of vervangen worden. Dit brengt extra kosten, milieu-impact en logistieke bewegingen met zich mee, omdat het regenereren van de filters vaak niet op locatie gebeurt. Het heeft daarmee een negatieve invloed op de CO₂-voetafdruk en duurzaamheidsdoelstellingen van de drinkwaterbedrijven. Regeneratie betekent ook dat het filter niet produceert en daarna weer ingespoeld moet worden. Dat kost tijd en water en gaat ten koste van de productiecapaciteit.

De PFAS is na de adsorptiestap niet verdwenen en tijdens de regeneratie moet voorkomen worden dat de PFAS weer in het milieu terechtkomt. Regeneratie van granulaire actieve kool vindt plaats bij hoge temperaturen (circa 800-900 °C). Dit gebeurt onder reducerende atmosfeer (zonder zuurstof, omdat de kool anders verbrandt) en er zijn sterke aanwijzingen dat PFAS onder die omstandigheden wordt afgebroken (breken van C-F bindingen). Chemische regeneratie (met behulp van een oplosmiddel) zou voor de toekomst een alternatieve optie kunnen zijn.

Bij het gebruik van poederkool is een sterke verhoging van de dosering nodig ten opzichte van de huidige praktijk, waarbij een snellere verstopping van opvolgende filterbedden limiterend kan worden. Het behalen van de aanstaande normwaarde is hierdoor nog onzeker. Ook voor poederkool is de behandeling na verzadiging met PFAS een aandachtspunt. Bij het verbranden van poederkool zijn de temperaturen meestal te laag om PFAS af te breken.

4.2.2 *Geavanceerde zuiveringstechnieken*

Geavanceerde drinkwaterzuiveringstechnieken zijn technologieën en processen die verder gaan dan de traditionele methoden om water te zuiveren voor consumptie. Deze geavanceerde technieken zijn ontwikkeld om water van hoge kwaliteit te produceren en om te kunnen omgaan met uitdagingen zoals verontreinigingen, stijgende vraag naar drinkwater en strengere eisen aan drinkwaterkwaliteit. Geavanceerde oxidatie (O₃, UV en H₂O₂ of combinaties hiervan), nanofiltratie (NF) en omgekeerde osmose (RO), en ionenwisseling zijn geavanceerde technieken die in de praktijk al door verschillende drinkwaterbedrijven in Nederland worden gebruikt (De Waal & Hofman-Caris, 2021). Figuur 4.2 toont waar deze technieken worden toegepast en welke capaciteit ze hebben (referentiejaar 2020).



Figuur 4.2 Overzicht van toegepaste geavanceerde zuiveringstechnieken in Nederland in 2020. Afbeelding is overgenomen uit (De Waal & Hofman-Caris, 2021).

4.2.2.1

Nanofiltratie (NF)

Nanofiltratie is een technologie die gebruikt maakt van membranen met poriën in het nanometerschaalbereik, met een grootte tussen 1 en 10 nanometer. Deze poriën zijn kleiner dan bij microfiltratie en ultrafiltratie, maar groter dan bij omgekeerde osmose. De membranen zijn selectief permeabel, wat betekent dat ze in staat zijn om specifieke ionen, moleculen en verontreinigingen te scheiden op basis van hun grootte en

lading. In tegenstelling tot RO, waarbij vrijwel alle mineralen worden verwijderd, behoudt nanofiltratie sommige mineralen in het water, wat gunstig kan zijn voor de smaak van drinkwater. In drinkwaterzuivering wordt nanofiltratie vaak toegepast voor ontharding, verwijdering van andere twee- of meerwaardig geladen ionen, zoals sulfaat en fosfaat, verwijdering van organische microverontreinigingen en desinfectie.

Vier van de tien Nederlandse drinkwaterbedrijven gebruiken momenteel op tenminste één van hun drinkwaterproductielocaties nanofiltratie en/of omgekeerde osmose, namelijk Oasen, PWN, Vitens en WMD (De Waal, 2020). Veel drinkwaterbedrijven overwegen of onderzoeken de inzet van nanofiltratie of omgekeerde osmose voor conventionele bronnen, of voor toekomstige onconventionele bronnen als brak grondwater, zeewater en RWZI-effluent. Ook voor de zuivering van oppervlaktewater worden nanofiltratie en omgekeerde osmose steeds vaker als potentieel geschikte technieken gezien.

Nanofiltratie is een techniek waarmee (een deel van de) PFAS uit water kan worden verwijderd. NF-membranen hebben een grotere poriëgrootte dan RO-membranen.

4.2.2.2 Omgekeerde osmose (RO)

Omgekeerde osmose is een geavanceerde membraantechnologie. Water wordt onder druk door een semipermeabel membraan geleid (poriegrootte < 1 nm). Het gezuiverde water wordt verzameld aan de ene kant van het membraan, terwijl de verontreinigingen in een geconcentreerde afvalstroom worden afgescheiden. Met omgekeerde osmose kunnen de meeste opgeloste zouten worden verwijderd uit een waterstroom, evenals organische microverontreinigingen, waaronder PFAS, bacteriën en virussen.

De geconcentreerde afvalstroom (concentraat) die verloren gaat bij omgekeerde osmose is aanzienlijk en bedraagt bij gebruik van zoetwater vaak zo'n 10-30% van de voedingsstroom. Omgekeerde osmose heeft ook een relatief hoog energieverbruik, vanwege de hoge druk die nodig is om het water door het membraan te persen. Om optimale resultaten te behalen, wordt omgekeerde osmose vaak gecombineerd met andere zuiveringsstappen in drinkwaterzuiveringsinstallaties. Omgekeerde osmose vereist bijvoorbeeld een zeer goede ingangswaterkwaliteit. Een goede voorbehandeling is nodig om een normale levensduur en productie met het membraan te halen. Onderzoeks- of ontwikkelpunten voor omgekeerde osmose (en nanofiltratie) zijn onder meer het verhogen van de waterrecovery, zodat meer gezuiverd water en minder concentraat wordt geproduceerd, het verlagen van het energieverbruik, het voorkomen van membraanvervuiling en concentraatbehandeling (Boorsma & Wessels, 2023).

Oasen past volstroom omgekeerde osmose toe op oeverfiltraat op de productielocatie in Nieuw-Lekkerland, met vooraf alleen kaarsenfilters om schade aan de RO-membranen te voorkomen. Volstroom betekent dat al het water op deze locatie met omgekeerde osmose wordt behandeld. Oasen noemt dit het one-step-RO concept. Achteraf is er een remineralisatiestap (Zhai et al., 2022; H2O, 2023). Voor oppervlaktewaterbronnen zijn nog extra voorbehandelingsstappen nodig.

Omgekeerde osmose is momenteel een alternatief voor actief koelfiltratie of poederkool voor de verwijdering van PFAS, doordat er aan de techniek zelf geen optimalisatie nodig is en er vrijwel volledige PFAS-verwijdering plaatsvindt. De concentraatbehandeling of -afvoer kan wel een knelpunt zijn (zie paragraaf 4.4). Het verwijderen met actief koelfiltratie van trifluorazijnzuur (TFA), de kleinste van de PFAS-stoffen, is niet effectief.

4.2.2.3

Geavanceerde oxidatie

Geavanceerde oxidatie is een chemische behandelingstechnologie die wordt gebruikt om organische verontreinigingen in water af te breken en te verwijderen. Het proces maakt gebruik van krachtige oxidatiemiddelen, zoals O_3 , H_2O_2 , hydroxylradicalen ($\bullet OH$), en UV om organische verbindingen te oxideren en af te breken. Hydroxylradicalen worden in situ gevormd door bijvoorbeeld O_3 te combineren met H_2O_2 en UV-straling te laten inwerken op één van beide (UV/ H_2O_2 en UV/ O_3) (De Waal, 2021). Hoewel geavanceerde oxidatieprocessen effectief zijn in het verwijderen van organische verontreinigingen, zijn ze vaak kostbaar en vereisen ze geavanceerde apparatuur en expertise.

Geavanceerde oxidatie wordt vaak geïntegreerd in bestaande zuiveringsinstallaties, als een extra stap om de drinkwaterkwaliteit te verbeteren. Aandachtspunt bij het gebruik van geavanceerde oxidatiemethoden is de vorming van schadelijke bijproducten, waaronder bromaat.

4.2.2.4

Ionenwisseling

Ionenwisseling (*ion exchange*; IEX) wordt gebruikt om ongewenste ionen en andere geladen verbindingen uit water te verwijderen. Het proces maakt gebruik van ionenwisselingsharsen. In de drinkwaterzuivering wordt zowel kationenwisseling als anionenwisseling toegepast.

Bij kationenuitwisseling worden positief geladen ionen (kationen) in het water, zoals calcium, magnesium en natrium, verwijderd en vervangen door waterstofionen (H^+) of andere kationen (veelal natrium) die zich op de ionenwisselingsharsen bevinden.

Anionenuitwisseling verwijdert negatief geladen ionen (anionen), zoals sulfaat, nitraat en chloride, en negatief geladen organische stoffen, zoals natuurlijk organisch materiaal (NOM). Bepaalde PFAS-verbindingen kunnen ook worden uitgewisseld met anionen op de IEX-hars, omdat PFAS vaak negatief geladen zijn. Er is wel competitie met andere negatief geladen stoffen in het voedingswater (Kools et al., 2021). Bij de anionenwisseling komen hydroxide-ionen (OH^-) vrij, of andere anionen die zich op de harsen bevinden.

Als de hars volledig is beladen, kan deze worden gespoeld met een hoog geconcentreerde zoutoplossing, een zuur of een base. Hierbij ontstaat een zogenoemd regeneraat, waarin de ionen en andere verontreinigingen die uit het water zijn gehaald hoog geconcentreerd aanwezig zijn. Dit regeneraat wordt behandeld en/of afgevoerd.

4.3 Toekomstige technologie voor de bereiding van drinkwater

4.3.1 Inleiding

Er vindt veel onderzoek plaats naar de ontwikkeling van nieuwe zuiveringstechnologie voor drinkwater, bijvoorbeeld binnen het Waterwijs-programma van de Nederlandse drinkwaterbedrijven en door universiteiten en instituten in binnen- en buitenland. Dit onderzoek varieert van het optimaliseren van al bestaande technieken op laboratorium- of op pilotschaal tot het ontwikkelen van geheel nieuwe technieken voor bestaande of nieuwe typen bronnen. Ook klassieke zuiveringstechnieken worden in de toekomst nog gebruikt, en daar wordt eveneens nog onderzoek naar gedaan. Zo wordt binnen Waterwijs bijvoorbeeld onderzocht wat de oorzaak is van colloïdaal ijzerdoorslag bij snelfiltratie van grondwater (Boorsma & Wessels, 2023). Ook de verwijdering van organische microverontreinigingen in snelfilters is internationaal een onderzoeksthema.

Deze paragraaf geeft een overzicht van nieuwe technologieën die in de toekomst een rol zouden kunnen spelen in de zuivering van drinkwater. Het overzicht is met name gebaseerd op enkele recent uitgebracht overzichtsrapportages (Boorsma & Wessels, 2023) (Vlaski, 2024) en BTO- en KWR-onderzoeken van de laatste jaren. Het geeft een beeld van toekomstige ontwikkelingen, maar kan niet als volledig overzicht worden beschouwd.

De meeste bestaande en nieuwe technologieën kunnen worden ingedeeld op basis van de principes sorptie, scheiding/concentratie en afbraak. Zowel voor de voorzuivering, als de hoofd- en nazuivering vindt onderzoek en innovatie plaats. Onderzoek richt zich vaak op duurzaamheid en effectiviteit van de zuiveringsstap met minimalisatie van waterverliezen, concentraat, en chemicaliën- en energieverbruik. Er worden ook technologieën ontwikkeld die vooral geschikt zijn voor het behandelen van geconcentreerde afvalstromen die vrij kunnen komen bij de drinkwaterbehandeling. Dit wordt verder toegelicht in paragraaf 4.4.

Nieuw te ontwikkelen zuiveringstechnologie verschilt in ontwikkelstadium (Technology Readiness Level, TRL), in effectiviteit voor de verwijdering van verschillende stoffen en in de vorming van restproducten. Voor de schatting van het TRL-niveau worden de volgende omschrijvingen gehanteerd:

- TRL 1: basaal principe geobserveerd
- TRL 2: technologisch concept beschreven
- TRL 3: experimenteel bewijs van het concept
- TRL 4: technologie gevalideerd in het laboratorium
- TRL 5: technologie gevalideerd in een relevante testomgeving
- TRL 6: technologie gedemonstreerd in een relevante testomgeving
- TRL 7: demonstratie prototype in operationele omgeving
- TRL 8: systeem compleet en operationeel
- TRL 9: systeem bewezen in gebruiksomgeving en marktintroductie

Tabel 4.2 toont het principe van de verschillende zuiveringstechnologieën en de schatting van het ontwikkelingsniveau

(TRL). De technologieën zijn soms bedoeld voor verwijdering van specifieke stoffen of ionen of voor geconcentreerde reststromen. Dit is in de tabel aangegeven. Onder de tabel wordt de werking van de verschillende technologieën kort toegelicht.

Tabel 4.2 Overzicht van innovatieve zuiveringstechnologieën voor drinkwater.

Technologie	Principe	Toepassing/toelichting	Schatting TRL-niveau	Referentie
Elektrocoagulatie	Concentratie door coagulatie (elektro-immobilisatie)	Voorzuivering drinkwater uit oppervlaktewater	4-5 drinkwater > 7 afvalwater	De Waal (2021), Vito (2010a)
Capacitieve deïonisatie	Concentratie aan elektrodes (elektro-immobilisatie)	Verwijdering zouten en geladen OMV's	8, commerciële toepassingen beschikbaar	De Waal (2021); De Waal en Huiting (2018)
Selectieve capacitieve deïonisatie	Concentratie/scheiding (elektro-immobilisatie)	Selectiviteit op labschaal aangetoond, commercieel geen toepassingen bekend	4	De Waal (2021)
Pseudo-capacitieve deïonisatie	Concentratie/scheiding (elektro-immobilisatie)	Op labschaal veelbelovend	3	De Waal (2021)
Elektro-fenton	Afbraak (elektro-redox)	Operationeel op labschaal bij pH<3, nog niet bij neutrale pH in relevante watermatrix	3	De Waal (2021)
Anodische oxidatie – directe oxidatie	Afbraak (elektro-redox)	Toegepast bij organische synthese van aldehyde uit alcohol	5	De Waal (2021)
Anodische oxidatie – geavanceerde oxidatie	Afbraak (elektro-redox)	Elektrisch gegenereerde geavanceerde oxidatie voor verwijdering van OMV's in een relevante matrix	6	De Waal (2021)
Anodische oxidatie – indirecte oxidatie	Afbraak (elektro-redox)	Toekomstig onderzoek is gericht op niet-hydroxyl radicaal vorming	2	De Waal (2021)
Elektrofiltratie	Concentratie/scheiding (elektro-membraan)	Werkt op labschaal, membraanmodules op praktijkschaal in ontwikkeling	4	De Waal (2021)
Elektro-actieve membranen	Concentratie/scheiding (elektro-membraan)	Ontwikkeling elektrodemateriaal nodig voor commerciële toepassing	4	De Waal (2021)
Electro-dialyse	Concentratie/scheiding	Scheiding van mono- en multivalente ionen	7-9	De Waal en Huiting (2018), Xu et al. (2013)
Donnan Dialyse	Concentratie/scheiding	Selectief transport van mono- of multivalente ionen tegen concentratiegradiënt in.	2-4	Wood & de Grooth, 2019 in De Waal (2020)

Technologie	Principe	Toepassing/toelichting	Schatting TRL-niveau	Referentie
Membraandestillatie	Distillatie en membraanfiltratie (concentratie/scheiding)	Zoute stromen, ook verwijdering OMV's	7-8	Vito (2010b), Kuipers en van Medevoort (2023)
Eutectische vrieskristallisatie	Concentratie/scheiding door kristallisatie	Ontzouting concentraat door kristallisatie bij een zout-specifiek eutectisch punt	5-6	Beerendonk (2017), Hofs en Post (2011), De Waal en Huiting (2018)
Marmmerfiltratie	Sorptie	Fixatie van nikkel aan calciëet (CaCO_3)	9	De Waal (2020)
Wervelbed kristallisatie	Concentratie/scheiding	Verwijdering door overschrijding van de saturatie index multivalente ion zouten	5-7	(Hofman-Caris, 2019)
Schuimfractionering	Concentratie via flotatie	Geconcentreerde PFAS-stromen	7	Smith et al. (2023)
Vacuüm UV	Afbraak	Afbraak van stoffen door reactieve radicalen	4-6	(Boorsma & Wessels, 2023)
Superkritisch water oxidatie	Afbraak OMV's en concentratie (kristallisatie) van zouten	Concentraat drinkwaterzuivering	4? (zuiverings-slib afvalwater) 2? drinkwater	Gasunie (2023), STOWA (2022), De Waal en Huiting (2018)
Geavanceerde reductie	Reductieve afbraak	Concentraat drinkwaterzuivering	3-4	Cui et al. (2020), Vellanki et al. (2013)
Helofytenfilter	Afbraak (omzetting)	Verwijdering van verhoogde nitriet- en ammoniumgehalten in RO-concentraat van Aquaduin (Vlaanderen) met een helofytenfilter met wilgen.	3-5 (voor deze toepassing)	(Boorsma & Wessels, 2023)
BODAC (Biological Oxygen-dosed Activated Carbon)	Sorptie + afbraak	Onderdeel hoofdzuivering, verwijdering OMV's	7-9	De Vogel et al. (2020)
Affiniteitsadsorptie/ nieuwe sorbentia	Sorptie	Specifieke OMV's of alternatief voor AKF	3-7	(Boorsma & Wessels, 2023), Hofman-Caris et al. (2019), De Waal (2020)
Biosorptie	Sorptie	Fixatie van metalen in planten (fyto-extractie)	3-4	De Waal (2020), (OVAM, 2019)

4.3.2 *Elektrochemische zuiveringstechnieken*

Elektrochemische zuiveringstechnieken worden nog niet op grote schaal in de drinkwaterzuivering toegepast. Potentiële voordelen ten opzichte van klassieke zuiveringstechnieken zijn minder slibvorming, flexibele inzet (elektrische aan/uit knop), gecombineerd verloop van oxidatie/reductie en verwijdering van componenten in één processtap. De Waal (2021) onderscheidt drie categorieën:

- Elektro-redox gerelateerde processen. Dit zijn processen waarbij met een elektrische potentiaal reactieve moleculen worden gegenereerd, vaak radicalen, die verontreinigingen in het water kunnen afbreken. Voorbeelden zijn elektro-Fenton en anodische oxidatie.
- Elektro-membraan gerelateerde processen. Dit zijn processen waarbij op het membraanoppervlak, waar scheiding plaatsvindt, gelijktijdig ook elektrisch-gedreven transportfenomenen en/of elektrochemische reacties plaatsvinden. Voorbeelden zijn elektro-filtratie membranen en elektro-actieve membranen.
- Elektro-immobilisatie gerelateerde processen. Dit zijn processen waarbij een elektrische potentiaal gebruikt wordt om geladen deeltjes in een waterstroom tijdelijk te immobiliseren en daarmee te verwijderen uit de waterstroom.

De meest vergevorderde techniek gebaseerd op capacitieve elektrodes is capacitieve deïonisatie (CDI). Deze valt in de categorie elektro-immobilisatie. CDI is een proces dat geladen deeltjes, moleculen en ionen verwijdert uit de waterfase middels een potentiaalverschil en ze tijdelijk opslaat in een elektrische dubbellaag in de poreuze elektrode (elektro-sorptie). Door de spanning om te wisselen kunnen deze ionen weer worden verwijderd, en ontstaat een concentraat. CDI-systemen zijn al commercieel verkrijgbaar en deze elektrochemische techniek lijkt het meest kansrijk te zijn voor toekomstige gebruik in de drinkwaterzuivering. Volgens De Waal (2021) kunnen naast zouten in principe ook elektrostatisch geladen organische microverontreinigingen met CDI worden verwijderd. Deze organische microverontreinigingen komen tijdens de behandeling hoofdzakelijk in de regeneraatsroom terecht.

Elektrocoagulatie behoort ook tot de categorie elektro-immobilisatie. Het doel van elektrocoagulatie is het vormen van neerslagproducten en van bindingen tussen colloïden, zodat deze stoffen makkelijk kunnen worden afgescheiden. Coagulant komt vrij door het elektrolytisch oplossen van een elektrode (anode). Dit is vaak ijzer of aluminium. Bij het oplossen van de elektrode komt gas (O₂, H₂) vrij wat zorgt voor een floterende werking (Vito, 2010a). Elektrocoagulatie kan een bijdrage leveren aan vermindering van gebruik van vlokmiddel, maar kan mogelijk ook te hoge concentraties arseen (III) omzetten in arseen (V) (oxidatie) dat kan worden geabsorbeerd aan de gevormde ijzer- of aluminiumvlokken. Daarnaast heeft elektrocoagulatie een desinfecterende werking. Elektrocoagulatie is ook te gebruiken bij installaties voor spoelwaterhergebruik (Boorsma & Wessels, 2023).

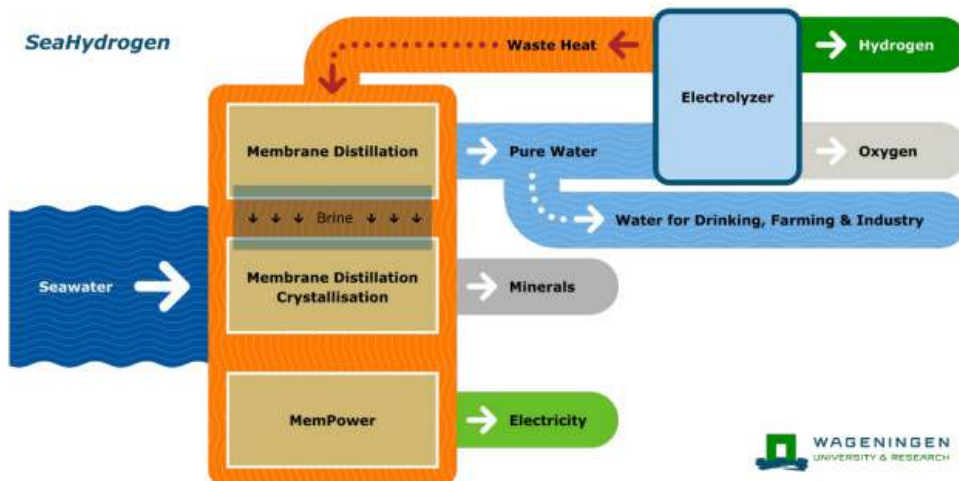
De Waal (2021) maakte op basis van literatuur een inschatting van de TRL-niveaus van tien elektrochemische zuiveringstechnieken. Drie technieken zijn ingeschat op TRL-niveau 6 of hoger, namelijk anodische

oxidatie-geavanceerde oxidatie, capacitieve deïonisatie en elektrocoagulatie (voor afvalwaterbehandeling) (Tabel 4.2).

4.3.3

Membraandestillatie

Membraandistillatie (MD) is een scheidingsproces waarbij een hydrofoob membraan twee waterige oplossingen op verschillende temperatuur van elkaar scheidt. De hydrofobiciteit van het membraan voorkomt massatransport van de vloeistof, waardoor een gas-vloeistofinterfase wordt gecreëerd. De temperatuurgradiënt over het membraan resulteert in een dampdrukverschil, waardoor vluchtige componenten in het voedingsmengsel door de poriën (10 nm – 1 µm) verdampen en via diffusie en/of convectorie van het compartiment met hoge dampdruk naar het compartiment met lage dampdruk worden getransporteerd waar ze ter hoogte van de koude vloeistof/damp interfase condenseren. Bij voedingsoplossingen die enkel niet-vluchtige opgeloste stoffen bevatten, zoals zouten, zal alleen waterdamp door het membraan worden getransporteerd, waardoor aan de distillaatkant gedemineraliseerd water wordt verkregen en aan de voedingskant een geconcentreerde zoutstroom (De Waal, 2021).



Figuur 4.3 Het Seahydrogen concept met drie types membraandestillatie (Kuipers & van Medevoort, 2023).

Kuipers en van Medevoort (2023) ontwikkelden een integraal concept voor de productie van puur water uit zeewater met drie soorten membraandestillatie. Naast het hierboven beschreven membraandestillatieproces, bestaat het concept uit membraan destillatie-kristallisatie en uit *MemPower*. Deze laatste twee processen hebben nog een vrij laag ontwikkelingsniveau en zijn nog niet marktrijp. Met membraan destillatie-kristallisatie kunnen verschillende zouten uit een brijn één voor één worden teruggewonnen. *MemPower* is een vorm van membraandestillatie waarmee met behulp van overtollige warmte van de elektrolyzer waterdamp en uiteindelijk elektriciteit kan worden opgewekt. Met een elektrolyzer wordt waterstof opgewerkt. Het concept wordt *Seahydrogen* genoemd. Het achterliggende doel is om netto-waterproducerende waterstoffabrieken te maken.

4.3.4

Eutectische vrieskristallisatie, marmerfiltratie en wervelbed kristallisatie

Eutectische vrieskristallisatie (EVC) is een techniek voor de verwerking en het hergebruiken van geconcentreerde zoutoplossingen, zoals die bij membraanfiltratie of ionenwisseling worden gevormd.

Met EVC kunnen water en zouten bij lage temperatuur vergaand worden gescheiden in ijs en geconcentreerde zoutoplossingen, door gebruik te maken van faseovergang. Als een zoute stroom wordt gekoeld in een kristallisator, wordt bij een bepaalde temperatuur ijs gevormd. Door de vorming van ijs zal de zoutconcentratie in de overblijvende vloeistof (de moederloog) toenemen en zal het vriespunt verder dalen. Als men doorgaat met koelen, zal de zoutconcentratie de oplosbaarheid van het zout overschrijden en zullen gelijktijdig ijs en zoutkristallen worden gevormd bij het zogenoemde eutectische vriespunt waarbij ijs, zout en moederloog in evenwicht zijn. Door verder te koelen zal meer ijs en zout worden gevormd, waardoor een scheiding optreedt. Het ijs drijft naar boven en het zout bezinkt en beide worden apart met restmoederloog uit de kristallisator verwijderd (Beerendonk, 2017).

Voor EVC is het zoutgehalte bij voorkeur nabij de oplosbaarheidsgrens, anders is een concentratiestap nodig. Volgens Hofs en Post (2011) is EVC een levensvatbare techniek voor behandeling van regeneraat van ionenwisseling onder drinkwatercondities. Het energieverbruik is in potentie veel lager (tot 70%) dan bij conventionele verdamping en kristallisatie. EVC-technologie is op laboratoriumschaal bewezen. Beerendonk (2017) beschrijft een pilot-onderzoek met een capaciteit van de kristallisator van 50 tot 200 kg ijs per uur. Het huidige TRL-niveau is naar schatting 5-6.

Met marmerfiltratie kan specifiek nikkel uit het water worden gefixeerd aan calciëet. WMD heeft hier goede ervaringen mee (De Waal (2020)). Met wervelbed kristallisatie (pellet-ontharding), dat al geruime tijd in de drinkwaterzuivering wordt toegepast voor het verlagen van de hardheid van water, kunnen in potentie ook selectief multivalente ionen uit reststromen worden verwijderd (Hofman-Caris, 2019).

4.3.5

Affiniteitsadsorptie/nieuwe sorbentia

Moleculen van bijvoorbeeld geneesmiddelen beschikken over specifieke functionele groepen. Om specifieke geneesmiddelen uit het water te verwijderen, kunnen adsorbentia worden ontwikkeld, die een interactie met die functionele groepen kunnen aangaan. Daardoor worden bepaalde categorieën van geneesmiddelen uit het water geadsorbeerd. Omdat de interactie specifiek is, vormt de aanwezigheid van andere stoffen dan geen probleem.

Hofman-Caris et al. (2019) ontwikkelden een specifiek adsorbens om diclofenac uit urine, drinkwater en RWZI-effluent te kunnen verwijderen. Ook enkele andere geneesmiddelen met vergelijkbare functionele groepen werden met dit adsorbens verwijderd.

Op een installatie voor gedemineraliseerd water in Terneuzen wordt een alternatieve technologie voor actieve koolfiltratie onderzocht, om het totaal organisch koolstofgehalte (TOC) en nutriënten in het water te verlagen. Dit is een voorbehandeling voor omgekeerde osmose waarmee biofouling op de RO-membranen wordt beperkt. Het filtermateriaal is duurder dan actieve kool, maar het proces zou met een vier keer hogere

filtratiesnelheid (in vergelijking met actieve koolfiltratie) kunnen worden bedreven, wat compactere installaties oplevert (Boorsma & Wessels, 2023). Opgemerkt wordt dat onbekend is welke materialen of stoffen bij deze technologie worden toegepast. Dit maakt het momenteel onmogelijk om een goede risico-baten-afweging te maken.

Een ander alternatief voor actieve koolfiltratie is *AdOx* (Adsorptie-Oxidatie). Synthetische zeolietkorrels worden in een kolomfilter gebruikt als nabehandeling van RWZI-effluent. Medicijnresten en andere organische microverontreinigingen worden via adsorptie verwijderd. De techniek kan in de toekomst ook interessant zijn voor de productie van drinkwater. Door in de korrels meerdere zeolietsoorten te gebruiken, kan de effectiviteit van de verwijdering worden verbeterd of tot meer stoffen worden verbreed. De zeolieten worden periodiek geregenereerd met ozon.

De techniek wordt getest op RWZI Leiden-Noord. Pilotonderzoek toont aan dat minimaal 70 tot 80% verwijdering van de 11 gidsstoffen haalbaar is (Boorsma & Wessels, 2023).

Ook de verwijdering van PFAS kan mogelijk verbeteren door andere adsorbentia dan actieve kool te gebruiken. De in deze paragraaf genoemde alternatieven hebben vaak nog een laag ontwikkelstadium. Voorbeelden zijn cyclodextrine (regeneratie met methanol/ethanol), (gemodificeerde) zeolieten en ionenwisselingsharsen. Hiermee kan PFAS worden geconcentreerd in een kleine regeneraatstroom. Er moet wel worden doorontwikkeld naar een technologie om het PFAS vervolgens uit de geconcentreerde stroom te verwijderen en te vernietigen. IEX-harsen zijn lastig te regenereren (Boorsma & Wessels, 2023).

Spit et al. (2024) deden een praktijkproef met drie alternatieve adsorbentia voor actieve kool. Deze hebben een aanzienlijk hogere verwijderingscapaciteit voor een mengsel van PFAS in water dan actieve kool. Korte PFAS-ketens slaan sneller door dan langere ketens. Sulfonzuren worden beter verwijderd dan carbonzuren. De verwerking van de met PFAS verzadigde adsorbentia is een aandachtspunt. Twee van de drie adsorbentia vallen onder de noemer 'grond' waardoor verbranden lastig is. Storten is de enige optie, maar die is vanwege risico op uitspoeling niet zo attractief.

Een van de adsorbentia kan met ethanol worden geregenereerd, waardoor het adsorbens tot zes keer hergebruikt kan worden. Na regeneratie blijft een PFAS-houdend regeneraat over. Dit regeneraat kan verder worden geconcentreerd en gedroogd, tot er een droge PFAS- en zoutfractie overblijft. De leverancier claimt dat het op labschaal mogelijk is PFAS met *ball milling* (voor circa 99%) tot individuele atomen af te breken. Volgens de auteurs heeft deze methode momenteel een TRL van 5-6 (Spit et al., 2024).

Wetsus doet samen met partners onderzoek naar een nieuwe PFAS-verwijderaar. Een ringvormig molecuul zou zeventig keer meer potentie hebben voor PFAS-verwijdering dan gangbare technieken, zoals actieve kool. Als het PFAS is opgevangen in het filter, zou het met een op alcohol gebaseerde mix kunnen worden vernietigd (H2O, 2024).

4.3.6 *Schuimfractionering*

Schuimfractionering wordt vaak onderzocht voor de verwijdering van PFAS. Het is vergelijkbaar met een sorptieproces. De opstijgende luchtbellen die worden geproduceerd aan de onderkant van een waterkolom zijn het sorptiemateriaal. Omdat de meeste PFAS amphiphilisch zijn (zowel hydrofiel als hydrofoob), adsorberen ze aan het oppervlak van de luchtbellen, met de polaire delen nog in de waterfase en de apolaire staart in de luchtbel. Als er voldoende oppervlakte-actieve stoffen aanwezig zijn, ontstaat aan de bovenkant van de kolom op het water een geconcentreerde PFAS-schuimlaag, die kan worden verwijderd en verder kan worden behandeld. Het grootste deel van de PFAS is dan uit het water verwijderd (Smith et al., 2023). Lange ketens kunnen goed worden verwijderd met deze technologie, vaak met een efficiëntie van meer dan 95% (o.a. (Buckley et al., 2022)). Binnen het Waterwijs programma wordt ook onderzoek gedaan naar schuimfractionering. Mogelijk is het een goede technologie om PFAS-bevattende concentraatstromen van omgekeerde osmose verder te concentreren. Deze technologie heeft een TRL van minimaal 7 (<https://envytechsolutions.com/pfas-treatment-and-remediation-water>).

4.3.7 Superkritisch water

Bij superkritisch vergassen wordt gebruik gemaakt van de 'superkritische fase' van water. Water wordt superkritisch bij een druk van minimaal 221 bar en een temperatuur van minimaal 375 graden Celsius. Organische verbindingen vallen in superkritisch water uiteen, waardoor een gasmengsel ontstaat. De in de grondstof aanwezige mineralen en zouten kristalliseren uit en kunnen worden teruggewonnen. Uiteindelijk blijft er schoon water over (STOWA, 2022; Gasunie, 2023). Bij waterschappen staat het superkritisch water vergassen voor natte reststromen erg in de belangstelling. Er vinden al pilotonderzoeken plaats voor het omzetten van zuiveringsslib (H₂O, 2021).

Superkritisch wateroxidatie zou ook een manier kunnen zijn om concentraatstromen met organische stoffen - inclusief PFAS - en zouten na verdere concentratie te behandelen (kleine concentraatstromen). Er zijn plannen om deze techniek (en variaties erop) in het onderzoekprogramma Waterwijs van de drinkwaterbedrijven te gaan onderzoeken.

4.3.8 *Geavanceerde reductie en vacuüm UV (geavanceerde oxidatie)*

Oxidatie van C-F bindingen, zoals die in PFAS voorkomen, gaat heel moeizaam. Geavanceerde reductie processen (ARPs) zijn veelbelovende processen voor de afbraak van PFAS. Vaak vindt eerst een concentratiestap plaats, zodat de PFAS in hogere concentraties aanwezig zijn in de watermatrix. Bij ARP worden gehydrateerde elektronen gevormd die PFAS kunnen reduceren en afbreken. Bekende combinaties zijn UV/sulfide en UV/jodide, waarmee door middel van UV-straling sulfiet- of jodide radicalen en gehydrateerde elektronen worden gevormd.

Het afbraakmechanisme hangt sterk af van functionele groepen van PFAS (carboxylaten versus sulfonzuren) en de lengte van de PFAS. Efficiëntie van afbraak en defluorisering worden beïnvloed door de watermatrix en operationele omstandigheden, zoals de pH, temperatuur, andere stoffen in het water, en de hoeveelheid sulfiet en jodide (Cui et

al., 2020). Binnen het Waterwonderzoek van de drinkwaterbedrijven wordt ook onderzoek gedaan met deze technologie. Carboxylaten lijken efficiënter te worden afgebroken dan sulfonaten.

Een vorm van geavanceerde oxidatie is vacuüm UV. Er worden reactieve radicalen gevormd met lagedrukklampen bij een golflengte van 185 nm. Hiermee kunnen stoffen worden afgebroken (Boorsma & Wessels, 2023).

4.3.9 *BODAC*

BODAC staat voor 'biological oxygen-dosed activated carbon filtration'. Het is een vorm van biologische actieve koolfiltratie (BAC). BAC-filters worden voorzien van zuurstof om oxidische condities in het filter te handhaven. Een traditioneel BAC-filter wordt periodiek teruggespoeld. In de Puur waterfabriek in Nieuw Amsterdam wordt sinds 2010 BODAC bedreven als onderdeel van het proces om ultra puur water te produceren uit RWZI-effluent. Deze BODAC is ontworpen om *biofouling* te voorkomen op de navolgende RO-membranen door nutriënten te verwijderen, maar de BODAC verwijdert ook medicijnresten. De actieve kool is sinds de opstart (2010) niet vervangen of geregenereerd. Het werkingsmechanisme is nog niet geheel duidelijk. Waarschijnlijk worden geneesmiddelen verwijderd door een combinatie van adsorptie, desorptie en biologische omzetting (De Vogel et al., 2020). Het BODAC-filter zou ook kunnen worden ingezet voor de drinkwaterproductie en voor nabehandeling van RWZI-effluent.

4.3.10 *Biosorptie en helofytenfilters*

Met biosorptie kunnen metalen uit de ondergrond (arsen, cadmium, fosfor, kalium, kobalt, mangaan, natrium, nikkel, seleen, stikstof, thallium en zink) in specifieke soorten planten worden gefixeerd. Dit heet fyto-extractie ((OVAM, 2019); De Waal (2020)). Door de planten te oogsten, kunnen deze metalen na vergisting van het plantmateriaal worden teruggewonnen. Door dit principe in een helofytenfilter toe te passen, kunnen deze metalen uit bijvoorbeeld concentraatstromen worden verwijderd. Recent onderzoek voor toepassing van deze techniek op watertypen met verhoogde zoutconcentraties is slechts beperkt aanwezig, maar wijst wel op de mogelijke potentie van deze techniek ((Zhao et al., 2019)). Een andere mogelijke toepassing van een helofytenfilter is voor de verwijdering van verhoogde nitriet- en ammoniumgehalten in RO-contraat. Dit wordt gedaan door Aquaduin (Vlaanderen) met een helofytenfilter met wilgen (Boorsma & Wessels, 2023). Deze twee toepassingen van helofytenfilters zijn nog niet marktrijp.

4.3.11 *Multicriteria-analyse*

In een multicriteria-analyse (MCA) vergeleek Vlaski (2024) omgekeerde osmose met enkele bewezen alternatieve technieken (TRL > 8) op doelmatigheid, duurzaamheid, robuustheid, flexibiliteit, investeringskosten, operationele kosten en toekomstbestendigheid. De alternatieven waren verdampingstechnieken, elektrochemische technieken, ionenwisseling en capillaire nanofiltratie. Vlaski (2024) concludeert dat van de beschouwde alternatieven omgekeerde osmose de meest geschikte techniek is voor drinkwaterbereiding voor de tijdshorizon tot 2040. De alternatieve

technieken kunnen mogelijk succesvol voor specifieke situaties worden ingezet, met bijvoorbeeld kleinere concentraatstromen.

4.3.12 *Combinaties van technieken*

In de praktijk wordt voor de bereiding van drinkwater vrijwel altijd een combinatie van technieken gebruikt. Zeker bij gebruik van oppervlaktewater is het nodig om een meervoudige barrière tegen verontreinigingen en pathogenen te hebben (*multi barrier approach*).

Voor de verwijdering en verwerking van PFAS uit bronnen voor drinkwater is het in de toekomst waarschijnlijk nodig om aanvullende innovatieve technologieën te gebruiken, in aanvulling op of ter vervanging van bestaande zuiveringsstappen.

Binnen het Waterwijs onderzoeksprogramma van de drinkwatersector worden verschillende routes onderzocht om PFAS uit bronnen voor drinkwater te verwijderen. Voorbeelden van mogelijkheden zijn verwijdering van PFAS met nanofiltratie of omgekeerde osmose, om daarna het concentraat verder in te dikken met schuimfractionering. Dit wordt bijvoorbeeld door Evides Industrierwater onderzocht (Boorsma & Wessels, 2023).

Het PFAS in het schuim kan vervolgens worden afgebroken met bijvoorbeeld geavanceerde reductie, anodische oxidatie of superkritische oxidatie. Deze technologieën zijn nog in ontwikkeling.

Een andere mogelijke behandeling van PFAS-stromen in water is actief koolfiltratie, gevolgd door ionenwisseling (voor verwijdering van de kleine, geladen PFAS).

Door toevoeging van een geschikt adsorbens aan de RO-concentraatstroom worden PFAS gebonden aan een vaste stof. Om dit efficiënt te laten verlopen, kan met ultrafiltratie eerst organisch materiaal worden verwijderd en de PFAS met (capillaire) nanofiltratie worden geconcentreerd. De huidige oplossing voor de behandeling van de afvalstroom (het beladen adsorbens en/of het schuim) is verbranding. Voor PFAS is dat meestal geen oplossing, omdat de verbrandingstemperaturen vaak te laag zijn om PFAS af te breken. In de toekomst is het misschien mogelijk om de beladen adsorbens via desorptie/regeneratie te hergebruiken (bijvoorbeeld na innovatieve extractie) en volledige afbraak van PFAS te bewerkstelligen.

4.4 **Behandeling of lozen van reststromen**

Vrijkomen van reststromen

Hoewel het technisch goed mogelijk is om verontreinigingen uit het water te verwijderen, levert dit wel altijd reststromen op. Zo ontstaat er bij flocculatie slib, bij zandfiltratie en micro-/ultrafiltratie spoelwater met deeltjes, ijzer en mangaan, en komt bij membraanfiltratie en ionenwisseling een concentraat- respectievelijk regeneraatstroom vrij. Bij ontharding met pelletreactoren ontstaan pellets, bij adsorptie op actieve kool moet de kool regelmatig worden geregenereerd, en bij oxidatie kunnen bijproducten worden gevormd. Via flocculatie, chemische ontharding met NaOH, en bij gebruik van ionenwisseling kunnen bovendien ionen (bijvoorbeeld natrium of chloride) via uitwisseling aan het drinkwater worden toegevoegd. Na gebruik van het

drinkwater komen deze zouten via de rioolwaterzuivering in het oppervlaktewater terecht.

De Nederlandse watersector (drinkwaterbedrijven en waterschappen) zet zich via Aquaminerals in om reststromen die tijdens waterzuiveringsprocessen ontstaan nuttig in te zetten. Voorbeelden van producten zijn calciëtkorrels, ijzerwater en humus- en fulvinezuren uit regeneraat van ionenwisselaars (aquaminerals.com).

De ambitie van de Nederlandse overheid is om reststoffen op termijn te hergebruiken en primair grondstofgebruik te minimaliseren. Het doel is om in 2050 een volledig circulaire economie te realiseren ([Nederland circulair in 2050 | Circulaire economie | Rijksoverheid.nl](#)).

Nieuwe *state-of-the-art* technologieën die bij nieuwbouw of gedeeltelijke vervanging of uitbreiding van de drinkwaterzuivering worden gebruikt, genereren andere reststromen dan de traditionele methoden. Hiermee moeten zowel drinkwaterbedrijven als vergunningsverleners rekening houden. Het is belangrijk om bij het ontwerpen van een nieuwe zuivering vooraf rekening te houden met de vrijkomende reststromen en de verwerkings- en/of afvoermogelijkheden die lokaal mogelijk zijn.

Lozen/afvoeren

De huidige praktijk op drinkwaterproductielocaties met omgekeerde osmose of nanofiltratie is dat concentraat wordt geloosd op oppervlaktewater, op een buitenhaven/zee of op een RWZI. Ook zijn pilots uitgevoerd met de infiltratie van het concentraat naar de (diepe) ondergrond. In dit concentraat zijn doorgaans alleen stoffen aanwezig die oorspronkelijk al in het voedingswater (meestal oppervlaktewater of oeverfiltraat) aanwezig waren. Hiervoor wordt een emissie-immissietoets doorlopen en voor elke lozing worden met (meestal het lokale) bevoegd gezag individuele afspraken gemaakt om de lozingseisen (stofconcentraties) te bepalen (De Waal, 2020). Concentraat/regeneraat van demiwater-installaties van Evides Industriewater (EIW) wordt veelal geloosd op zout/brak oppervlaktewater dat in open verbinding staat met zee, waarbij altijd een maatwerkvergunning geldt.

In België heeft de overheid het in de regelgeving mogelijk gemaakt om, bij vergaande waterbesparende maatregelen, hogere emissiegrenswaarden bij lozingsvergunningen te hanteren. Voorwaarden daarbij zijn onder meer de toepassing van de best beschikbare technieken, waarmee de hoeveelheid te lozen stoffen wordt beperkt, en gebruik van waterbesparende technieken. Daarnaast mag de milieukwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater door een lozing niet in het gedrang komen, en mag ook geen acute toxiciteit worden veroorzaakt (Boorsma & Wessels, 2023). Belangrijk is of er stoffen zijn toegevoegd aan het voedingswater en welke dat zijn.

In een ARCADIS-rapport over concentraatproblematiek bij ontziltingstechnologie worden enkele routes voor het lozen van concentraat onderscheiden (Vlaski, 2024).

- Lozing in de bodem. De gemeente of de provincie is het bevoegd gezag. Bij inbrengen op een diepte van meer dan 100 meter is het Rijk (Staatstoezicht op de Mijnen) het bevoegd gezag.

- Directe lozing op oppervlaktewater. Hiervoor is het waterschap of Rijkswaterstaat bevoegd gezag.
- Directe lozing op zee. Deze route kan onder meer voorkomen bij het bereiden van drinkwater uit zeewater. Rijkswaterstaat is het bevoegd gezag.
- Lozing op het riool. De gemeente of de provincie is het bevoegd gezag.
- Indikken en storten van concentraat. Dit valt onder de regels rondom afvalstoffen. Hiervoor is de provincie het bevoegd gezag.
- Indirecte lozing op bedrijfsriool. Hierbij is een andere partij dan het drinkwaterbedrijf uiteindelijk verantwoordelijk voor de lozing op oppervlaktewater.

In de praktijk blijkt het voor een drinkwaterbedrijf vaak lastig om een vergunning voor een lozingsroute voor concentraatstromen te krijgen. Als er geen vergunning is, kan omgekeerde osmose niet worden toegepast.

Concentraatbehandeling

Afhankelijk van de kwaliteit van het behandelde water, de voorzuivering en de instellingen tijdens de RO-behandeling bevat het concentraat geconcentreerde hoeveelheden zouten, metalen, organische stoffen en organische microverontreinigingen. Als deze afvalstroom niet via één van bovenstaande routes kan of mag worden geloosd is een behandeling van het concentraat nodig.

Drinkwaterbedrijven en KWR doen momenteel veel onderzoek naar mogelijkheden voor de verwerking van het concentraat, maar een goede totaaloplossing lijkt nog niet direct voorhanden. Het is in elk geval wenselijk om reststromen uit de waterzuivering zo veel mogelijk verder te concentreren met technieken zoals aangegeven in Tabel 4.2. Het vrijgekomen water kan dan worden gebruikt voor de productie van drinkwater of, afhankelijk van de vergunning, met minder impact op de lokale waterkwaliteit worden geloosd. De hoog geconcentreerde resulterende reststroom kan door een (veelal energie-intensieve) laatste zuiveringsstap worden ontdaan van het nog aanwezige water, zodat er een vast restproduct ontstaat. Dat kan worden verwerkt of afgevoerd (De Waal, 2020). Op deze manier wordt er bijna geen vloeistof geloosd (*Zero Liquid Discharge*). Hier is echter nog weinig praktijkervaring mee en de technische en financiële haalbaarheid is een aandachtspunt (Vlaski, 2024). Meer algemeen geldt dat het merendeel van de technieken in Tabel 4.2 nog niet commercieel verkrijgbaar is. Voor de praktijktoepassing zijn verdere technologische ontwikkeling en pilotonderzoeken nodig. Ook zullen de kosten voor het correct verwerken van het concentraat in kostenberekeningen voor het gebruik van omgekeerde osmose moeten worden meegenomen. Deze zullen bij toepassing ook terugkomen in de drinkwatertarieven.

4.5 Toekomstige focus zuivering per drinkwaterbedrijf

Tijdens de interviews met de drinkwaterbedrijven is gevraagd naar de plannen en verwachtingen voor de toekomstige zuiveringstechnologie. Tabel 4.3 toont per drinkwaterbedrijf beknopt wat de plannen zijn. Deze tabel gaat over de komende jaren, met een maximale horizon tot ongeveer 2040-2050. In paragraaf 4.5.1 worden pilotonderzoeken beschreven die door Nederlandse en Vlaamse drinkwaterbedrijven zijn of worden uitgevoerd.

Er is onzekerheid over de kwaliteit van de bronnen voor drinkwater op de langere termijn, ondanks het streven naar het behalen van de waterkwaliteitsdoelstellingen uit de Kaderrichtlijn Water (KRW). Een deel van de drinkwaterbedrijven denkt ook na 2030 nog te kunnen volstaan met eenvoudige zuiveringsmethoden voor de productie van drinkwater, bijvoorbeeld Waterbedrijf Groningen, met name als het grondwater of andere lokale bronnen betreft. Een ander deel van de bedrijven maakt nu al gebruik van geavanceerde zuiveringsmethoden, zoals omgekeerde osmose en geavanceerde oxidatie. Dit zijn met name de oppervlaktewater- of oevergrondwaterbedrijven. Deze bedrijven plannen de extra inzet hiervan op meerdere locaties vaak nu al. Het aantal locaties waar geavanceerde zuiveringsmethoden voor de drinkwaterproductie zullen worden gebruikt neemt toe. De Waal (2020) verwacht in de periode 2019 tot 2030 een stijging van 47% van het aantal locaties waar nanofiltratie of omgekeerde osmose wordt gebruikt. De mate van stijging zal mede afhangen van het in werking treden van de normstelling voor PFAS en eventueel andere stoffen.

Voor de korte termijn (komende jaren) denkt een aantal bedrijven te hoge concentraties PFAS en organische microverontreinigingen aan te pakken met (extra) actief koolfiltratie en hogere regeneratiefrequenties van de kool. Op langere termijn (2040, 2050) denken de meeste bedrijven een vorm van omgekeerde osmose nodig te hebben, hetzij in deelstroom of in volstroom. Er is daarvoor wel een goed vooruitzicht voor afvoeren of behandelen van concentraatstromen nodig.

Een ander aandachtspunt zijn de te hoge nitraatgehaltes in het grondwater door overbemesting. Er zijn veel kwetsbare winningen in Nederland, waar het nitraatgehalte boven de wettelijke norm zal stijgen als er geen aanvullende maatregelen worden genomen (Ministerie van LNV, 2017; Van Driezum, Beekman, et al., 2020).

Daarnaast investeren drinkwaterbedrijven ook in optimalisatie of uitbreiding van de zuivering om nagroei tijdens de distributie van het drinkwater te beperken of te voorkomen (verbeteren van de biologische stabiliteit van drinkwater).

Bij toekomstig gebruik van brak of zout water als bron wordt wel altijd omgekeerde osmose genoemd als technologie om het zout uit het water te verwijderen.

Ook andere technologieën die nog in ontwikkeling zijn (zie paragraaf Tabel 4.3), zouden in de toekomst een bijdrage aan de productie van schoon drinkwater kunnen leveren. Drinkwaterbedrijven staan open voor nieuwe technologieën, maar die moeten wel bewezen zijn (TRL 8 of 9) in

de operationele omstandigheden van het betreffende drinkwaterbedrijf. Daarnaast zijn er andere criteria die drinkwaterbedrijven meenemen bij de keuze van een zuiveringstechnologie (zie paragraaf 4.2.1).

Tabel 4.3 Huidige en toekomstige zuivering bij de Nederlandse drinkwaterbedrijven.

Drinkwaterbedrijf	Huidige en toekomstige zuivering
Brabant Water	<ul style="list-style-type: none"> - Klassieke grondwaterzuivering, soms met ontharding of AKF. - AKF heeft voorkeur boven RO voor grondwater wanneer OMV voldoende wordt verwijderd. Anders te zijner tijd (noodgedwongen) inzet RO. - In de toekomst RO voor brak grondwater en zeewater.
Dunea	<ul style="list-style-type: none"> - Uitgangspunt blijft natuurlijke zuivering. - Geavanceerde oxidatie voorzuivering Bergambacht (GOBAM): O₃/H₂O₂/lage druk UV nu 20%, mogelijk richting 2030-2050 naar 60%-100%. Afhankelijk van ontwikkeling Infiltratiebesluit. - Mogelijk ook AKF nodig i.v.m. PFAS. - Aanvullende regionale bronnen: opties UF/RO of NF/RO, geen duinpassage. - Verwachting aandeel RO permeaat in het totale drinkwater: circa 5% in 2030, circa 10% in 2040. Daarna kan het mogelijk toenemen tot 30%.
Evides	<ul style="list-style-type: none"> - Huidig: oppervlaktewaterbehandeling o.a. UV – AKF – ClO₂ (desinfectie) - Pilots bij Baanhoek met NF of RO na voorzuivering met o.a. AKF (zie Tabel 4.4). Bij succes wordt dit daar op praktijkschaal geïmplementeerd.
Oasen	<ul style="list-style-type: none"> - AKF voor 2030 ook voor diep oevergrondwater (i.v.m. oude verontreinigingen). - Tot 2040: zuiveringen in westen voorzieningsgebied van RO voorzien. - 2040-2050: overige zuiveringen waar nodig ook van RO voorzien (nog niet gepland).
PWN	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Multi barrier approach</i> met o.a. UV/H₂O₂ en AKF en combinatie UF/RO. De capaciteit van UF/RO wordt in de komende jaren (Heemskerk) verdubbeld. - Onderzoek naar o.a. alternatieven voor de huidige voorzuivering gebaseerd op (enhanced) coagulatie: <ul style="list-style-type: none"> - natuurlijke voorzuivering door combinatie zuiverend landschap, bekkens en oeverfiltratie (PWN). - Waterwijs onderzoek Elektrocoagulatie. - Pilot Capillaire Nanofiltratie (PWNT). - Onderzoek behandeling concentraat: o.a. kansen voor concentraat, circulaire zuivering. - Onderzoek verbetering biologische stabiliteit Andijk (langzame zandfiltratie, membraanfiltratie).

Drinkwaterbedrijf	Huidige en toekomstige zuivering
Vitens	<ul style="list-style-type: none"> - Grondwater: Momenteel veel klassieke zuivering en ontharding, soms ook al ionenwisseling, AKF of RO. - Toekomst aanvullend locatie-specifiek eventueel AKF of RO. - Oevergrondwater: nu zandfiltratie, deelstroom RO i.c.m. volstroom AKF. Toekomst mogelijk AKF vaker regenereren en/of grotere deelstroom RO op zuiveringen i.v.m. PFAS. Of ionenwisselaars.
Water-net	<ul style="list-style-type: none"> - Uitbreiding Weesperkarspel met oppervlaktewater als bron. Zuiveringsvarianten met RO: <ul style="list-style-type: none"> - directe zuivering (zonder bodempassage, met membranen). - indirecte zuivering met bodempassage nabij Loenderveen. - indirecte zuivering via de waterleidingplas - Nieuwbouw waarschijnlijk geen ozon meer i.v.m. bromaatvorming. - Mogelijk nieuwe adsorbentia.
WBG	<ul style="list-style-type: none"> - Na 2030 zo lang mogelijk vasthouden aan eenvoudige zuiveringsmethoden vanuit lokaal grond- en oppervlaktewater.
WMD	<ul style="list-style-type: none"> - Enkele locaties al RO voor ontharding/OMV-verwijdering. - In de toekomst meer (deelstroom) RO op kwetsbare locaties. - Extra AKF als kortetermijnoplossing.
WML	<ul style="list-style-type: none"> - Op meer plekken AKF i.v.m. bestrijdingsmiddelen. Eventueel extra regenereren AKF i.v.m. PFAS. - Aanvullende technologie voor nitraatverwijdering (mogelijk biologisch of RO).

4.5.1

Pilotonderzoeken door Nederlandse drinkwaterbedrijven

Drinkwaterbedrijven voeren pilotonderzoeken uit om zuiveringsmethoden op specifieke locaties met een specifiek watertype te testen. De hydraulische capaciteit van een pilotonderzoek zit vaak tussen die van een laboratoriumtest en een volstroominstallatie in. De zuiveringstechnieken die worden getest, zijn veelal bewezen technieken die op de markt verkrijgbaar zijn. De onderzoeken richten zich vaak op een specifiek watertype (bijvoorbeeld brak grondwater) en/of op de verwijdering van specifieke componenten. Een pilot is vaak bedoeld om uiteindelijk een voor- of hoofdzuivering te kunnen optimaliseren, of om minder energie of chemicaliën te hoeven gebruiken. Zowel voor de voorzuivering als voor de hoofdzuivering vinden pilots plaats. Tabel 4.4 toont enkele pilots bij waterbedrijven die recentelijk zijn gestart of die al zijn afgerond.

De meeste pilots vinden nog plaats met bestaande, conventionele bronnen, maar Tabel 4.4 laat zien dat er ook onconventionele bronnen met pilots worden onderzocht, zoals brak grondwater, regenwater en RWZI-effluent (zie ook hoofdstuk 3).

Tabel 4.4 Overzicht pilots zuiveringstechnologie van drinkwaterbedrijven in Nederland en Vlaanderen (Boorsma & Wessels, 2023), aangevuld met informatie uit eigen interviews.

Bedrijf	Bron	Technologie pilot	Doel	Resultaat (indien afgerond)
Brabant Water	Brak grondwater	Twee opties: i) Anaerobe RO + conditioneren met marmersfiltratie en ontgassing ii) Voorzuivering brak grondwater, gevolgd door aerobe RO en ontgassing. Beide: Concentraat behandelen voor lozen op oppervlaktewater	Uiteindelijk productie van 5 miljoen m ³ per jaar drinkwater (6,5 miljoen m ³ per jaar winnen)	
Brabant Water	Zeewater	Nog nader te bepalen	Productie van minimaal 10 miljoen m ³ drinkwater per jaar	
De Watergroep (Vlaanderen)	RWZI-effluent (direct hergebruik)	Combinatie van technieken: ultrafiltratie, RO, geavanceerde oxidatie en actieve koolfiltratie (nog niet definitief)		
De Watergroep (Vlaanderen)	Oppervlaktewater	Anionwisseling als voorbehandeling vóór de coagulatie-flotatie		70-80% besparing vlokmiddeldosering voor coagulatie-flotatie. Afname slibproductie.
Dunea	Oppervlaktewater	Verschillende voorzuiveringen voor RO onderzoeken (o.a. UF, snelfiltratie)	Geschikte voorzuivering voor RO vinden	
Dunea	Brak grondwater	RO	Zoetwaterbel in duinen vergroten; van brak grondwater drinkwater maken	Vergunbaarheid mogelijk lastig door impact van grootschalige winning op de freatische grondwaterstand in het duin

Bedrijf	Bron	Technologie pilot	Doel	Resultaat (indien afgerond)
Evides	Drinkwater van zuivering Berenplaat	Ultrafiltratie als nabehandeling	Nagroeï voorkomen (verbeterde biologische stabiliteit)	Bepaalde vermindering nagroeï
Evides	Biesbosch bekkens	Capillaire nanofiltratie (als alternatieve voorzuivering) + AKF	Beoogde voordelen: verbeterde voorzuivering en verwijdering OMVs, verbeterde effectiviteit AKF en biologische stabiliteit, extra desinfectie	Standtijd AKF niet verlengd, AKF biologisch actief, biomassa uitspoeling vindt plaats
Evides	Biesbosch bekkens	Voorzuivering: Microzeven coagulatie/flotatie - dubbellaags- of drielaagsfiltratie - actieve koolfiltratie - zandfiltratie Nazuivering: NF + UV-desinfectie of RO + UV-desinfectie (spiraalgewonden membranen)	Beoogde voordelen t.o.v. huidige zuivering: meer OMV's verwijderd, desinfectie zonder chloordioxide, nagroeïpotentie verlagen (betere biologische stabiliteit)	
Evides	Zeewater	microzeef, in-line coagulatie, UF, RO, remineralisatie	Drinkwater uit zeewater produceren (2009/2010)	Het concept voldeed, Aandachtspunt: UF-fouling gedurende algenbloei. Geen vervolg vanwege complexiteit, kosten en duurzaamheid en voldoende beschikbaarheid andere bronnen
NieuWater	RWZI-effluent	Het reguliere proces om ultra puur water te maken uit RWZI-effluent, gevolgd door een remineralisatiestap in deelstroom: microzeef, microfiltratie	Drinkwater maken uit RWZI-effluent	

Bedrijf	Bron	Technologie pilot	Doel	Resultaat (indien afgerond)
		(MF), BODAC 1 en 2, RO, striptoren, RO, elektro-deïonisatie, remineralisatie		
NieuWater	RWZI-effluent	BODAC (biologische actieve kool filtratie)	o.a. optimalisatie van deze techniek; noodzaak gebruik MF als voorzuivering testen; verwijderen medicijnresten en mechanisme daarachter bepalen.	
PWN	Ruw water	Capillaire nanofiltratie als voorzuivering	Nagaan of huidige voorzuivering duurzamer kan.	
PWN	Drinkwater	Langzame zandfiltratie als nabehandeling	T.b.v. biologische stabiliteit in leidingnet vanaf Andijk	
PWN	Oppervlaktewater	Natuurlijke zuivering wetland, bekkens en oeverfiltratie (Project LIFE-Watersource)	Verbetering waterkwaliteit en natuurontwikkeling monitoren	
Oasen	Voorgezuiverd water Kamerik	Donnan-dialyse, NF en RO (DoReMi pilot)	Verhogen van de recovery van RO en tegelijkertijd de terugwinning van calcium en magnesium	
Vitens	IJsselwater	Capillaire nanofiltratie en micro/ultrafiltratie	Effectiviteit (retentie) en operationele efficiency (energie- en chemicaliënverbruik) bepalen	
Vitens	Grondwater	Membraanontgassing	Duurzame methaanverwijdering	
Vitens	Oevergrondwater/ grondwater	Flow Reversal RO en Closed Circuit RO	Recovery verhoging RO	
Waternet	Brak grondwater/ kwel	RO	3-6 miljoen m ³ per jaar drinkwater produceren.	

Bedrijf	Bron	Technologie pilot	Doel	Resultaat (indien afgerond)
			Bijmengen op pompstation Weesperkarspel	
WML	Regenwater	Grof filter, gevolgd door ultrafiltratie, ozonisatie, actieve koolfiltratie en marmerfiltratie	Onderzoeken hoe uit regenwater drinkwater kan worden geproduceerd.	

4.6 Deelconclusies

Kwaliteit bronnen belangrijk voor keuze zuiveringstechnologie

Er is onzekerheid over de kwaliteit van de bronnen voor drinkwater op de langere termijn. Uitgangspunt en de inzet van Europees en nationaal beleid is dat de bronnen schoon moeten zijn en dat met eenvoudige zuivering drinkwater gemaakt kan worden. Dit is echter niet gegarandeerd. Het is onduidelijk of de KRW-doelen in de toekomst gaan worden gehaald. Een deel van de drinkwaterbedrijven denkt desondanks ook na 2030 nog met alleen eenvoudige zuiveringsmethoden voor de productie van drinkwater te kunnen volstaan, met name als het grondwater of andere goed beschermde lokale bronnen betreft. Een ander deel van de drinkwaterbedrijven maakt nu al gebruik van geavanceerde zuiveringsmethoden, zoals omgekeerde osmose en geavanceerde oxidatie. Dit zijn vooral de oppervlaktewaterbedrijven of oevergrondwaterbedrijven. Deze bedrijven plannen de toekomstige inzet hiervan vaak nu al op andere locaties. Het aantal locaties waar geavanceerde zuiveringsmethoden voor de drinkwaterproductie worden gebruikt neemt toe.

Met geavanceerde zuiveringstechnologie is het mogelijk om onafhankelijk van de kwaliteit van de bron altijd schoon water te kunnen blijven produceren, al heeft elke techniek zijn beperkingen wat betreft zuiveringsrendementen. De inzet van geavanceerde zuiveringstechnologie is echter niet het uitgangspunt van de KRW en het Nederlandse beleid, en is geen doel op zich van de meeste drinkwaterbedrijven.

Veel nieuwe technologieën in ontwikkeling

Er zijn veel nieuwe technologieën voor de productie van drinkwater in ontwikkeling. De meeste zijn gebaseerd op de principes van scheiden/concentreren, sorptie of afbraak. Hiermee kunnen in de toekomst mogelijk stoffen specifiek worden verwijderd, of met geavanceerde methoden worden afgebroken, en kunnen afvalstromen mogelijk verregaand worden geconcentreerd.

Drinkwaterbedrijven staan open voor nieuwe technologieën, maar die moeten wel bewezen zijn. Welke techniek wordt gebruikt, hangt naast de waterkwaliteit van de bron onder meer af van de visie van het waterbedrijf, lokale omstandigheden (bijvoorbeeld aanwezige ruimte, mogelijkheden om reststromen te lozen), technische factoren, kosten en duurzaamheidsoverwegingen.

Waarschijnlijk vaker aanvullende zuivering door PFAS en organische microverontreinigingen

Voor de korte termijn (komende jaren) denkt een aantal drinkwaterbedrijven te hoge concentraties PFAS en organische microverontreinigingen te kunnen verlagen met (extra) actief koolfiltratie en hogere regeneratiefrequenties van de kool. Het is echter onzeker of de aankomende norm voor PFAS van 4,4 ng/l PEQ hiermee altijd kan worden gehaald. Scherpe normeringen van andere stoffen die in de bronnen aanwezig zijn, kunnen er ook voor zorgen dat in de toekomst op veel locaties aanvullende zuivering nodig is. Dit gaat mogelijk spelen voor bisfenol A.

Op langere termijn (2040, 2050) denken de meeste drinkwaterbedrijven met de huidige inzet op de bronaanpak en waterkwaliteitsverbetering, vaker een vorm van omgekeerde osmose nodig te hebben, hetzij in deelstroom of volstroom. Dit geldt in elk geval bij toekomstig gebruik van brak of zout water als bron. Mogelijk zijn er in de toekomst ook alternatieven voor omgekeerde osmose op praktijkschaal beschikbaar, zoals membraandestillatie en eutectische vrieskristallisatie. De ontwikkelingstermijnen hiervoor zijn echter lang.

Een ander aandachtspunt zijn de te hoge nitraatgehaltenes in het grondwater door overbemesting. Er zijn veel kwetsbare winningen in Nederland waar het nitraatgehalte boven de wettelijke norm zal stijgen als er geen aanvullende maatregelen worden genomen. Als deze bronnen gebruikt blijven worden, is ook membraanfiltratie of een andere aanvullende technologie nodig om nitraat te verwijderen.

Daarnaast investeren drinkwaterbedrijven ook in optimalisatie of uitbreiding van de zuivering om nagroei tijdens de distributie van het drinkwater te beperken of te voorkomen (verbeteren van de biologische stabiliteit van drinkwater).

Randvoorwaarden voor gebruik omgekeerde osmose moeten goed zijn
Omgekeerde osmose is op dit moment een van de weinige beschikbare technieken die een voldoende robuuste barrière vormt voor organische microverontreinigingen en nitraat. De problematiek rondom lozing van het daarbij vrijkomende concentraat belemmert echter de inzet hiervan. Dit zal nog moeilijker worden met concentraatstromen waarin ook probleemstoffen als PFAS aanwezig zijn.

Voor het grootschalig gebruik van omgekeerde osmose voor de drinkwatervoorziening is er een goed vooruitzicht voor afvoeren of behandelen van concentraatstromen nodig. Er is veel aandacht en onderzoek voor het behandelen van concentraat van omgekeerde osmose en andere reststoffen. Wellicht is het met innovatieve technieken in de (verre) toekomst mogelijk om de reststromen op een betaalbare manier zo ver te concentreren, dat er een beperkte hoeveelheid (bijna) vast restproduct ontstaat en er nauwelijks water hoeft te worden geloosd. Hiervoor is echter nog veel onderzoek en ontwikkeling nodig.

Grootschalige toepassing van omgekeerde osmose heeft nadelige effecten op duurzaamheid en kosten en leidt tot productieverlies, met name voor ontzilting. Beschikbaarheid van elektriciteit speelt hierbij ook een rol.

5 Klimaatrisico's en adaptieve maatregelen

5.1 Inleiding

In de huidige situatie ondervindt de Nederlandse drinkwatersector al gevolgen van klimaatverandering (Van Gaalen et al., 2024). Met voortschrijdende klimaatverandering kunnen de risico's in de toekomst groter gaan worden. In de Deltascenario's (Van der Brugge & de Winter, 2024) worden veranderingen in het Nederlandse watersysteem gemodelleerd op basis van scenario's van het KNMI (KNMI, 2023) en het PBL (Manders & Kool, 2015). Op basis van deze Deltascenario's zijn ook voor het Nederlandse watersysteem knelpuntanalyses gemaakt, waaronder ook de drinkwatervoorziening (Mens et al., 2020). Bij het schrijven van dit rapport is de knelpuntanalyse voor zoetwater nog niet geactualiseerd op basis van de nieuwste KNMI- en Deltascenario's.

Om de risico's te verkennen wordt een aangepaste 'DPSIR-structuur' gebruikt. DPSIR staat voor *drivers, pressures, states, impacts, effects* en *responses* (Smeets & Wetering, 1999). Het DPSIR-model helpt om causale verbanden weer te geven tussen klimaatdreigingen (de '*pressures*'), de directe gevolgen daarvan ('*state*') en de daaruit volgende impact ('*impact*'). In deze verkenning is een aangepaste structuur gebruikt, die kijkt naar de klimaatdreigingen (*pressures*), *states*, *impacts* en *effects* voor de (drink)watervoorziening. Het model helpt ook om aangrijpingspunten voor maatregelen ('*responses*') inzichtelijk te maken, en om indicatoren voor beleidseffecten op te stellen (WHO Europe, 2004). De hier gebruikte structuur kan worden afgekort als 'DPSIER'. In de verkenning is uitgegaan van de klimaatdreigingen (de *pressures* in het DPSIR-model) zoals die genoemd worden in de Nationale Adaptatie Strategie (NAS) van het Ministerie van I&W (2018). Dit zijn: het wordt warmer (P1, Figuur 5.1), het wordt droger (P2), het wordt natter (P3), het weer wordt extremer (P4) en de zeespiegel stijgt (P5). Daarnaast volgt uit de Deltascenario's dat de bevolking tot maximaal 21 miljoen mensen kan toenemen in 2050 (P6). Dit heeft gevolgen voor de drinkwatervraag.

Op basis van literatuuronderzoek is volgens de DPSIER-structuur verkend wat de gevolgen van deze '*pressures*' voor de (drink)watervoorziening zijn (5.2) en welke oplossingsrichtingen bestaan (5.3). In de workshop is hier vervolgens met drinkwaterexperts op gereflecteerd (5.4).

5.2 Klimaatrisico's drinkwatersector

5.2.1 Grondwater

Voor grondwater kwamen risico's naar voren op het vlak van kwantiteit (zie 5.2.1.1), verzilting van grondwater (5.2.1.2) en een verandering in de grondwaterkwaliteit (5.2.1.3). Deze risico's worden hier verder toegelicht.

5.2.1.1 Waterkwantiteit

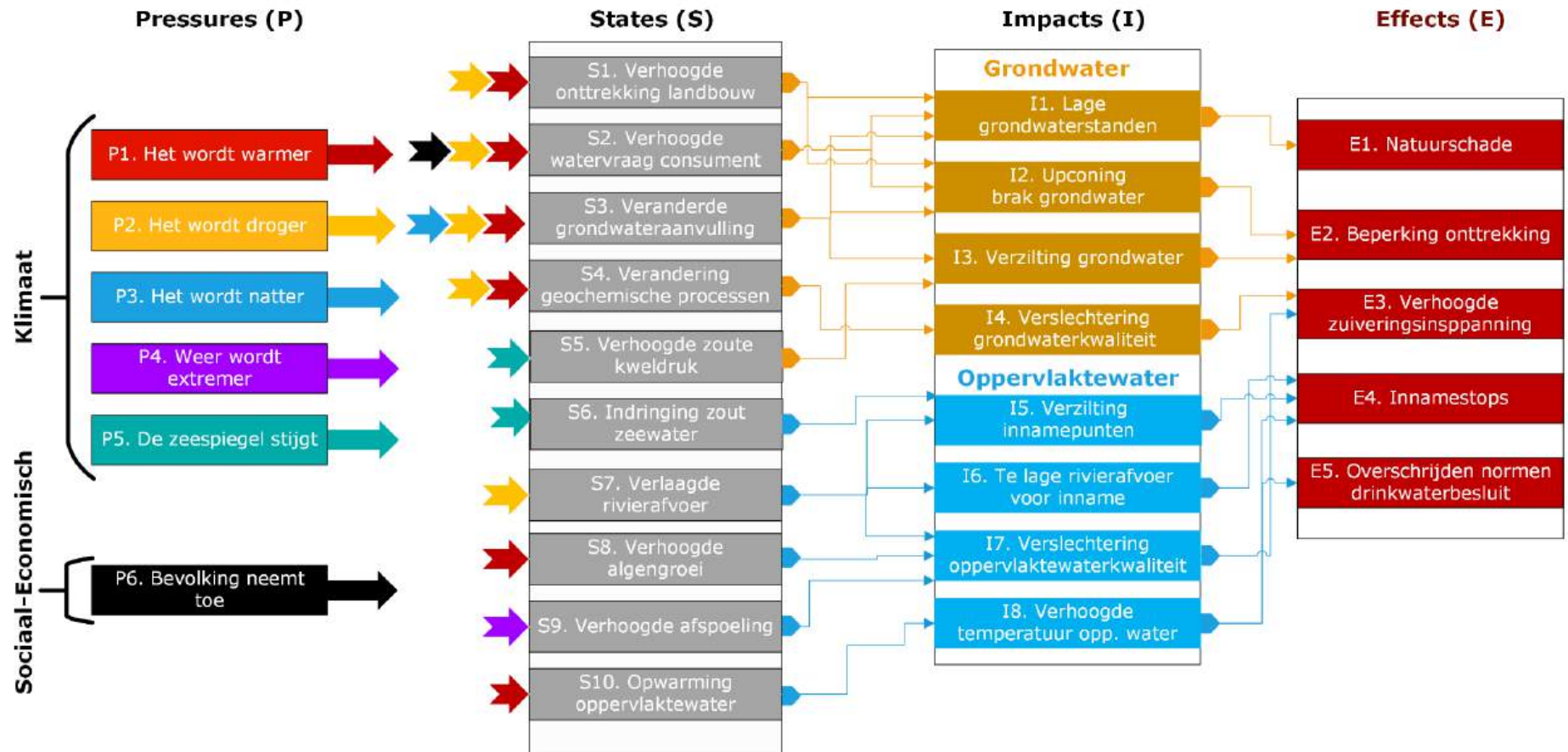
Op basis van het literatuuronderzoek worden voor grondwater vooral klimaatrisico's voor waterkwantiteit als relevant ingeschat (I1 en I2,

Figuur 5.1). Grondwaterwinningen bevinden zich in een complexe ruimtelijke omgeving waar ook natuur, landbouw en industrie van hetzelfde grondwater afhankelijk kunnen zijn. Grondwaterwinningen worden daarom mede getoetst aan de Wet Natuurbescherming, wat betekent dat de verlaging van de grondwaterstand door drinkwaterwinning geen significante negatieve gevolgen voor de instandhoudingsdoelen van de natuur mag hebben (E1). Provincies mogen op basis van deze wet onttrekkingsvergunningen - ook bestaande - intrekken als de staat van de natuur in Natura2000-gebieden daartoe aanleiding geeft (Van Loon et al., 2024). Soms worden tussen drinkwaterbedrijven, provincies en natuurorganisaties ook convenanten afgesloten waardoor er minder water wordt gewonnen dan de daadwerkelijke vergunningsruimte toestaat (Van Leerdam et al., 2023). In de meerderheid van de KRW-grondwaterlichamen speelt nu al dat niet aan de hydrologische randvoorwaarden van de terrestrische ecosystemen wordt voldaan (Landelijke Werkgroep Grondwater, 2024).

Klimaatverandering leidt tot langere, intensere droge perioden (P1 en P2). Dit leidt tot een toegenomen onttrekking van grondwater door landbouw voor irrigatie (S1) en door drinkwaterbedrijven om te voorzien in de drinkwatervraag (het geleverde leidingwater voor huishoudens, zakelijk verbruik, nijverheid etc.) (S2). Tijdens de zomerdroogte van 2018 leidde een verhoogde drinkwatervraag er al toe dat sommige maandelijkse winvergunningen en in enkele gevallen zelfs de jaarlijkse winvergunning van drinkwaterbedrijven zijn overschreden (Van Vossen-van den Berg, Pronk, et al., 2019). In de droge en warme zomermaand van juli 2018 werd bijvoorbeeld door de drinkwaterbedrijven 14% meer drinkwater geleverd dan gemiddeld voor juli (Vewin, 2023). Baggelaar et al. (2022) schatten dat de drinkwatervraag in jaren met extreme zomereffecten op jaarbasis maximaal 3.7% hoger kan liggen.

Bevolkingsgroei (P6) kan op de lange termijn ook een belangrijke additionele druk zijn. Voor de ontwikkeling van de jaarlijkse drinkwatervraag is de bevolkingsontwikkeling waarschijnlijk zelfs belangrijker dan een tijdelijk verhoogde piekvraag door warme omstandigheden (Van der Aa et al., 2015). De nieuwste Deltascenario's gaan er bovendien van uit dat het beregende landbouwareaal, afhankelijk van de economische groei, toeneemt met 51% (scenario 'Ruim '24) tot wel 95% (scenario Warm '24) in 2050. Bij een toenemend neerslagtekort zorgt dit voor een grotere irrigatiebehoefte vanuit de landbouw (zie S1), wat tot een nog hogere druk op het grondwater leidt (Witte et al., 2024).

Onttrekking door industrie is in principe ook gekoppeld aan de groei van economie en bevolking. De Deltascenario's houden echter rekening met efficiëntieverbeteringen, waardoor er in 2050 maximaal 2% meer water zal worden onttrokken door de industrie in scenario's met hoge economische groei (scenario's Vlug '24 en Stoom '24) en 19% minder bij lage economische groei (Ruim '24 en Warm '24).



Figuur 5.1 Het DPSIER-model met dreigingen voor de drinkwatersector op basis van het literatuuronderzoek gepresenteerd in deze paragraaf.

Aangezien economische ontwikkeling bepalend is voor de hoeveelheid industriële grondwateronttrekkingen en niet het klimaat, is de industrie niet meegenomen in deze klimaatrisico-analyse.

De gemodelleerde grondwaterstanden voor 2050 wijzen uit dat verhoogde verdamping en gestegen waterbehoefte voor alle scenario's in vrijwel heel Nederland het effect van een gestegen jaarneerslag teniet zullen doen (Wolters et al., 2018). In het meest extreme Deltascenario uit 2018, 'Stoom', zal de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) landelijk ongeveer 0,5 meter lager zijn, oplopend tot plaatselijk 2 meter. De GLG zal volgens de modelberekeningen enkel stijgen in de grote (duin)infiltratiegebieden, waar meer oppervlaktewater geïnfiltrerd zal worden, en op de hoge zandgronden (Veluwe en Utrechtse heuvelrug), waar door de diepe grondwaterstand beperkt verdamping plaats kan vinden.

Het is bij lage grondwaterstanden ook belangrijk om de rol van menselijk ingrijpen in het watersysteem te benoemen. In de twintigste eeuw is het landgebruik namelijk sterk veranderd en zijn bovendien ingrepen in het watersysteem gedaan (Cirkel & Krajenbrink, 2022). Zo is veel natuur omgezet naar landbouwgrond. Ook zijn er naaldbossen aangeplant, die een hoge evapotranspiratie-waarde hebben. Verder zijn beken uitgediept en is het aantal afwateringskanalen in de afgelopen eeuw sterk toegenomen (Van der Gaast et al., 2009; Hendriks et al., 2023). Hierdoor is de wateroverlast sterk verminderd, maar is de verdroging toegenomen. Het neerslagoverschot van nattere winters wordt door bovenstaande ingrepen sneller afgevoerd. Een grote onzekerheid bij de modellering van toekomstige grondwaterstanden is dat het effect van vegetatietypes, bodembedekking, worteldiepte en verdampingsprocessen op de grondwateraanvulling (S3) vaak slecht bekend is (Zwolsman et al., 2014).

5.2.1.2 Verzilting

Als gevolg van de zeespiegelstijging (P5, Figuur 5.1) zal de indringing van zout water via het oppervlaktewater toenemen (S6). Bovendien zullen rivierafvoeren door klimaatverandering periodiek lager zijn, waardoor er minder tegendruk van uitstromend rivierwater is bij de riviermondingen (zie ook 5.2.2.2). Verzilting van het grondwater (I3) kan zo plaatsvinden op plekken waar infiltratie van oppervlaktewater plaatsvindt. Dit is bijvoorbeeld bij oevergrondwaterwinningen het geval. Op het zoet-zout grensvlak, speelt daarnaast verzilting door verhoogde kweldruk (S5). Dit wordt versterkt door bodemdaling en verminderde beschikbaarheid van zoet oppervlaktewater (S7) (Ter Voorde & Velstra, 2009). Volgens de KNMI '23-scenario's is een zeespiegelstijging tot maximaal 1 meter in 2100 mogelijk. Met doorgaande verhoging van de zeespiegel zal de zoutvracht toenemend door zoute kweldruk uit zee worden bepaald in plaats van indringing van zeewater (Delsman et al., 2023). Afhankelijk van de hydrogeologische kenmerken zal het grondwater in een strook van 10 tot 20 kilometer landinwaarts zouter worden.

De verwachting is dat in de praktijk slechts enkele grondwaterwinningen te zout zullen worden door de toegenomen kweldruk (I3). In de huidige situatie zijn er 36 winningen die een risico op verzilting hebben (Klijn et

al., 2012; Zwolsman et al., 2014). Twee van deze grondwaterwinningen liggen op het grensvlak van brak en zoet in de kuststrook. De andere winningen liggen echter niet in eerder genoemde, verziltende kuststrook (Tangena, 2014). Verzilting wordt hier veroorzaakt door *upconing* (I2), waarbij in geval van hoge onttrekking, dieper, brak grondwater wordt aangetrokken (Klijn et al., 2012). Dit type verzilting wordt veroorzaakt door een verhoogde watervraag (S1 en S2) ten opzichte van de grondwateraanvulling en niet door een stijgende zeespiegel.

5.2.1.3 Veranderingen in geochemische processen

Veel is nog onbekend over de effecten van klimaatverandering op geochemische processen in de bodem (S4, Figuur 5.1) en daarmee op de uiteindelijke grondwaterkwaliteit (I4). Klimaatverandering kan bodemprocessen beïnvloeden door verschuivingen in de grondwaterstand en doordat de temperatuur van bodem en grondwater toeneemt. In De Bilt is de bodemtemperatuur in de bovenste meter vanaf maaiveld 1.5 °C gestegen (Bakema et al., 2022). Omzettingen in de bodem zijn echter niet enkel afhankelijk van de temperatuur, maar ook van pH, vochtgehalte en organisch koolstofgehalte. De relaties tussen deze parameters en klimaatverandering zijn niet altijd rechtlijnig. De klimaateffecten op geochemische processen zijn vooral kwalitatief beschreven. Omdat er een groot aantal processen is die invloed hebben, maar ook tegengesteld kunnen werken, waardoor het gehele effect van klimaatverandering op de Nederlandse grondwaterkwaliteit nog moeilijk is in te schatten (Hooijboer & de Nijs, 2011).

Volgens Kløve et al. (2014) en Van Huijgevoort (2023) zouden de volgende negatieve effecten kunnen optreden, die relevant zijn voor de Nederlandse situatie:

- Door een lager neerslagoverschot worden concentraties van op het land opgebrachte stoffen, zoals nutriënten en bestrijdingsmiddelen minder verdund en kan de concentratie ervan toenemen.
- Door een combinatie van de hogere temperatuur en de intrede van lucht bij een lagere grondwaterspiegel kan versnelde oxidatie van organische stof en mineralen optreden. Hierbij kan pyriet oxideren en sulfaat vrijkomen. Verhoging van het organisch stofgehalte en pyriet vermindert ook de capaciteit om bijvoorbeeld nitraat te denitrificeren (nitraat (NO₃) om te zetten naar het gas N₂).
- Door droogtestress kan een gewas minder stikstof opnemen. Als gevolg hiervan kan de uitspoeling van nitraat naar het grondwater toenemen.
- Door veranderingen in het neerslagpatroon kunnen veranderingen in het transport van oppervlak naar bodem plaatsvinden.

5.2.2 Oppervlaktewater

Waterkwantiteit en waterkwaliteit zijn voor oppervlaktewater niet los van elkaar te zien. Waterkwantiteit blijkt voor inname uit de grote rivieren nog geen groot risico (5.2.2.1), maar lage afvoeren kunnen wel leiden tot kwaliteitsproblemen door verzilting (5.2.2.2) en verminderde verdunning van verontreinigingen (5.2.2.3). In deze paragraaf worden

deze risico's en die van hoge water temperaturen (5.2.2.4) verder toegelicht.

5.2.2.1 Waterkwantiteit

Voor rivieren betekent een toegenomen seizoenseffect (drogere zomers, nattere winters (KNMI, 2023)) dat in de winter hogere piekafvoeren optreden en in de zomer juist lagere afvoeren (S7, Figuur 5.1).

Een belangrijke parameter voor lage rivierafvoeren is de gemiddelde zevendaagse, minimum afvoer. Dit is de laagste gemiddelde afvoer over een aaneengesloten periode van zeven dagen. In de huidige condities heeft de Rijn bij Lobith een gemiddelde zevendaagse, minimum afvoer van 1100 m³ per seconde. De laagste gemeten afvoeren in de Rijn liggen nu rond de 650 m³ per seconde (Rijkswaterstaat, 2024a). Bij sterke klimaatverandering (het KNMI '23 H_a-scenario) kan het zevendaagse minimum in 2050 15% lager komen te liggen (Buitink et al., 2023) en aan het eind van de 21^{ste} eeuw kunnen zelfs minimumafvoeren van 500 m³ per seconde voorkomen (Stahl et al., 2022). De gemiddelde zevendaagse minimum afvoer voor de Maas ligt in het huidige klimaat op 50 m³ per seconde, maar kan onder het meeste extreme klimaatscenario met bijna 20% zijn gedaald in 2050 (Buitink et al., 2023). Aan het eind van de eeuw zou het gemiddelde zevendaagse minimum kunnen dalen naar 35 m³ per seconde (Buitink et al., 2023).

De totale inname voor drinkwater uit het oppervlaktewatersysteem is gemiddeld 0,6% van de totale afvoer en in tijden van droogte is dat 2,1% (Janssen et al., 2024). Alhoewel toekomstige minimum afvoeren van Rijn en Maas hoogstwaarschijnlijk lager zullen liggen, blijven de afvoeren bij de huidige drinkwaterproductie in Nederland jaarrond voldoende voor inname. Er kunnen zich echter wel periodieke beperkingen voordoen. Zo staat in de vergunning voor de inname bij Andelse Maas, dat het drinkwaterbedrijf contact moet opnemen met Rijkswaterstaat als de afvoer van 25 m³ per seconde bij Lith in het geding komt (Wuijts et al., 2013). In de toekomst zou het dus wel kunnen voorkomen dat ook in de grote rivieren inname moet worden gestaakt bij lage afvoeren. Daarnaast kunnen lage afvoeren bijdragen aan een verslechterde waterkwaliteit wat kan leiden tot innamestops (zie 5.2.2.3).

In kleinere rivieren komt het wel al voor dat enkel kwantiteit beperkend kan zijn. Zo heeft het lokale waterschap voor de Drentsche Aa een tijdens een zeer lage zomerafvoer een innamebeperking opgelegd (400 m³ per uur in 2018) (Van Leerdam et al., 2023). Ter vergelijking: de inname voor drinkwaterproductie is daar jaargemiddeld 800 m³ per uur en een maximum inname van 1.700 m³ per uur is vergund (Van der Meulen et al., 2019). Voor het IJsselmeer zal in de toekomst in droge zomers in toenemende mate een beroep op de 20-centimeter-hoge bufferschijf van het IJsselmeer moeten worden gedaan (Rijkswaterstaat, 2018; Mens et al., 2020). In totaal heeft het IJsselmeer daarmee een buffercapaciteit van ongeveer 400 miljoen m³.

Voor oppervlaktewater lijken de kwantitatieve risico's voor de drinkwatervoorziening op basis van huidige scenario's beperkt.

Kanttekening hierbij is dat vaker voorkomende droogte kan leiden tot ingrijpen in het watersysteem bovenstrooms. Dit kan ook de afvoeren van de grote rivieren sterker verminderen dan nu in de Deltascenario's wordt verwacht.

5.2.2.2 Verzilting

De KNMI'23 scenario's voorzien in 2100 een zeespiegelstijging van 44 tot 82 centimeter, wat de indringing van zeewater (S6, Figuur 5.1) doet toenemen (KNMI, 2023). Gecombineerd met een verwachte lagere rivierafvoer (S7) in de zomer, kan zeewater periodiek verder landinwaarts komen. Hierdoor kunnen in de meest noordwestelijke innamepunten chlorideconcentraties (I5) boven de drinkwaternorm van 150 mg per liter voorkomen (Van den Brink et al., 2019).

Bij de meeste drinkwaterzuiveringsmethoden vindt geen verwijdering van chloride plaats. Een verhoogde zoutconcentratie in het oppervlaktewater leidt in die gevallen direct tot een verhoging in het drinkwater uit de kraan. In het zeer droge jaar 2018 is bijvoorbeeld bij innamepunt Andijk, aan het IJsselmeer, de bedrijfstechnische jaargemiddelde concentratienorm voor chloride van 150 mg per liter overschreden. De concentratie bleef wel beneden de door WHO (World Health Organisation) geadviseerde grens van 250 mg per liter, waarboven smaakeffecten kunnen optreden (Van Vossen-van den Berg, Cirkel, et al., 2019). In de scenario's 'Stoom' en 'Warm' (Deltascenario's 2018) wordt gemodelleerd dat de innamepunten in 2050 één tot elf dagen langer last gaan krijgen van verzilting dan in het referentie model (Mens et al., 2020). De knelpuntanalyse zoetwater, waarin ook verzilting wordt behandeld, moet bij schrijven nog op basis van de nieuwste deltasenario's worden geactualiseerd.

5.2.2.3 Verhoogde concentraties probleemstoffen

Rivierafvoeren hebben in principe een negatieve correlatie met de concentratie van chemische verontreinigingen (Davis & Zobrist, 1979; Van der Weijden & Middelburg, 1989). Een lagere afvoer leidt dan ook tot minder verdunning van puntlozingen, hogere concentraties van probleemstoffen en een verslechterde waterkwaliteit in de grote rivieren (I7, Figuur 5.1). Afbraaksnelheid en gedrag in het systeem spelen echter ook een belangrijke rol in de uiteindelijke concentraties, en vaak is de relatie tussen afvoer en concentratie niet eenduidig (Kramer & Ouwker, 2023).

Een voorname bron van probleemstoffen in rivieren zijn emissies vanuit RWZI's. Het aandeel RWZI-effluent kan met name in de Maas hoog worden. Bij een typisch lage zomerafvoer is het aandeel RWZI-effluent in de Maas bij Luik 13% en in de Rijn bij Lobith 4%. (Kramer & Ouwker, 2023). In toekomstscenario's met sterke klimaatverandering kan in een extreem droog jaar het aandeel RWZI-effluent toenemen tot 10% in de Rijn en tot wel 60% in de Maas (Zwolsman et al., 2014). Ook andere studies wijzen uit dat opkomende stoffen bij een veranderend klimaat vanaf 2050 tijdens zeer droge jaren met lagere afvoeren vaker de drinkwater-relevante signaleringswaarde van 0,1 µg per liter zullen overschrijden (Wuijts et al., 2013; Sjerps et al., 2017). Bij scenario's met een sterke klimaatverandering kunnen piekconcentraties in de Maas

een factor drie à vier hoger liggen. Voor de Rijn zou dit een factor twee zijn (Sjerps et al., 2017).

Onder droge condities met lage afvoeren neemt met name in de Maas ook de kans toe op innamestops, die zijn gelinkt aan kwaliteitsverslechtering en (illegale) lozingen, (Van Vossen-van den Berg, Pronk, et al., 2019). Door haar sterker fluctuerende afvoeren en het kleinere stroomgebied is de Maas hier gevoeliger voor dan de Rijn. Daarnaast zijn er andere ontwikkelingen die een rol spelen, maar niet goed in modelstudies kunnen worden meegenomen, zoals veranderingen in het toekomstig gebruik van stoffen. Een toename in extremer weer kan naast droogte ook leiden tot een plotseling verhoogde afspoeling (S9) van bestrijdingsmiddelen of fosfaat. Zo leidden zware zomerse regenbuien in 2021 tot een tiental overschrijdingen van de normen voor bestrijdingsmiddelen in de Drentsche Aa, terwijl in de voorgaande droge zomers juist nauwelijks overschrijdingen plaatsvonden (Latour Advies et al., 2023). Ook in de grotere Maas is het in 2024 tijdens aanhoudende zomerregen tot innamestops gekomen. Aanhoudende natheid zorgde toen voor een hogere schimmeldruk in de landbouw. Daardoor werden meer bestrijdingsmiddelen gebruikt, die door de regen ook sneller naar het oppervlaktewater afstroomden (Dunea, 2024c).

5.2.2.4 Temperatuur

Een direct effect van klimaatverandering is de opwarming van het oppervlaktewater tot boven de 25 °C (S10 en I8, Figuur 5.1). In de drinkwaterregeling wordt de eis gesteld dat ingenomen water niet warmer mag zijn dan 25 °C (Ministerie van I&W, 2024b). Opwarming van rivierwater tot boven 25 °C leidt dan ook direct tot een innamestop. Reden hiervoor is dat warm water negatieve effecten kan hebben op de waterkwaliteit. Zo kan er bijvoorbeeld algengroei plaatsvinden (S8), wat het zuiveringsproces bemoeilijkt (Zwolsman et al., 2014). Bovendien stimuleert warmte de groei van bepaalde algensoorten die toxines produceren, waarop het zuiveringsproces niet per definitie berekend is. Een hogere temperatuur heeft ook uitwerking op de effectiviteit van de zuiveringsprocessen zelf (Vries, 2010). Daarnaast staat in het Drinkwaterbesluit dat water uit de kraan maximaal 25 °C mag zijn. Als ingenomen water warm is, en de bodem waarin het distributienet ligt ook is opgewarmd, bestaat er een groter risico dat kraanwater te warm zal zijn (I9). De groei van opportunistische pathogenen kan door de hoge temperaturen worden gestimuleerd (I10) (Van der Wielen, 2020).

In de Maas bij Eijsden en in de Rijn bij Lobith werden in 2014 gemiddeld 3 en 2 dagen per jaar temperaturen boven de 25 °C gemeten (Zwolsman et al., 2014). In het warme en droge jaar 2018 kwam de temperatuur in de Maas 14 dagen boven de 25 °C uit (Van Vossen-van den Berg, Pronk, et al., 2019). In de toekomst zullen warmere en drogere condities in de zomer vaker voorkomen. In de meest extreme scenario's voor 2050 kan het zijn dat de Maas bijna twee maanden lang boven de 25 °C komt (Klijn et al., 2012). Hogere riviertemperaturen worden wel afgevlakt door menging in de koelere voorraad- en procesbekkens of door duininfiltratie (Zwolsman et al., 2014).

Naast directe opwarming door het weer spelen ook koelwaterlozingen op de grote rivieren een rol in de temperatuur van de rivier. De

Deltascenario's '24 verwachten in 2050 een reductie van koelwaterlozingen met 80% (Warm '24 en Stoom '24) en 95% (Vlug '24 en Ruim '24) door de transitie van gascentrales naar hernieuwbare warmte en kou vanuit de bodem. Deze autonome ontwikkeling zou ook opwarming van Maas en Rijn kunnen beperken.

5.3 (Klimaat adaptieve) maatregelen ten behoeve van de drinkwatervoorziening

Deze paragraaf verkent huidige maatregelen en ambities om klimaatrisico's aan te pakken. De genoemde klimaat adaptieve maatregelen zijn vaak niet enkel het directe gevolg van klimaatverandering, maar ook van andere uitdagingen, zoals op het vlak van de waterkwaliteit. Deze al aanwezige risico's worden vaak wel versterkt door klimaatverandering. Vanuit de beleidsstrategieën (5.3.1) zijn maatregelen opgehaald (5.3.2-5.3.4). Deze zijn gekoppeld aan de DPSIER-risico's uit Figuur 5.1 en zijn weergegeven in Bijlage 4 en Bijlage 5.

De lijst met maatregelen is niet uitputtend bedoeld, of als een compleet beeld van de inzet van overheden en drinkwaterbedrijven. Hoewel er wel al kwantitatief onderzoek naar het doelbereik van sommige zoetwatermaatregelen is gedaan, bijvoorbeeld in het kader van het Nationaal Deltaprogramma-zoetwater, wordt ook niet ingegaan op de effectiviteit van de maatregelen. Ook zijn verschillen tussen regionale programma's en strategieën van drinkwaterbedrijven niet expliciet onderzocht.

5.3.1

Beleidsprogramma's en strategieën: klimaat en waterbeschikbaarheid

In het licht van sterker wordende klimaatverandering (KNMI, 2023) en bijbehorende gevolgen voor het watersysteem (Van der Brugge & de Winter, 2024) wordt er door drinkwaterbedrijven en overheden ingezet op het ontwikkelen van een duurzamer en meer klimaatrobuust (drink)watersysteem (Ministerie van I&W, 2021; Stofberg et al., 2023). Dit betekent dat water bij stortbuien nog altijd kan worden afgevoerd, maar ook dat water langer kan worden vastgehouden, zodat het beschikbaar is tijdens droge periodes. Dat kan bijvoorbeeld door sloten te verondiepen of beken te laten meanderen. Daardoor komt meer water in het grondwater terecht, in plaats van dat het wordt afgevoerd. Dit water kan direct worden teruggewonnen, of het kan de omgevingseffecten van (drink)waterwinning verminderen.

Belangrijke beleidskaders bij het streven naar een klimaatrobuust watersysteem zijn onder meer: (1) het Nationaal Deltaprogramma zoetwater (DPZ) en de bijbehorende uitwerking hiervan op het niveau van de zoetwaterregio's (Rijk der Nederlanden, 2021), en (2) de nationale klimaatadaptatiestrategie (Ministerie van I&W, 2023c). Deze beleidskaders vanuit het Rijk worden ook regionaal uitgewerkt en verankerd, in bijvoorbeeld de provinciale bodem-en-waterprogramma's, in provinciale klimaatadaptatiestrategieën en in convenanten. Ook op Europees niveau wordt gekeken naar een veelheid van manieren om de 'waterweerbaarheid' te vergroten (EECS, 2024).

In het kort laten de Nederlandse maatregelen zich samenvatten als een inzet op: (1) water vasthouden (5.3.2), (2) water besparen (5.3.3) en (3) ruimtelijke adaptatie. Er zijn ook belangrijke oplossingsrichtingen die van drinkwaterbedrijven (5.3.4) zelf komen (Stofberg et al., 2023; Van Leerdam et al., 2023). Bijvoorbeeld: het uitbreiden van de winningscapaciteit (hoofdstuk 2), een (mogelijke) inzet op onconventionele bronnen (hoofdstuk 3) en het vergroten van voorraden in duinen en bekkens (zie paragrafen 2.3.5 en 2.4). Verder is ook beleid om de waterkwaliteit te verbeteren relevant (paragraaf 5.3.5). Daarnaast wordt gewerkt aan regelingen voor het gebruik van zoetwater bij schaarste, bijvoorbeeld de verdringingsreeks voor zoetwater (IPLO, 2024c).

5.3.2 *Maatregelen om water vast te houden*

Water vasthouden helpt om perioden van langdurige droogte te overbruggen. Er zijn zes hoofdgroepen van maatregelen gevonden die betrekking hebben op het vasthouden van water. Deze maatregelen gaan over het anders inrichten of beheren van natuur (V1, Tabel 5.1), landbouw (V2), steden (V3) en het watersysteem (V4-6).

Natuur

Om de grondwateraanvulling in natuurgebieden te verhogen, wordt het effect onderzocht van het omzetten van naaldbos, dat een hoge evapotranspiratie kent, naar heide of loofbos. Zo is gekeken naar het effect hiervan op grondwatervoorraden op hoge zandgronden (De Niet et al., 2021) en op de kwelflux naar regionale rivieren zoals de Drentsche Aa (Querner et al., 2022). De maatregel wordt weliswaar niet genoemd in de nationale bossenstrategie (Rijksoverheid, 2020), maar komt ook terug in provinciale programma's als de *Blauwe agenda Utrechtse heuvelrug* (Anonymous, 2023) en het Deltaprogramma zoetwater regio oost. Drinkwaterbedrijven die ook natuurbeheerder zijn, sturen met kapbeleid ook aan op *verloofing* en uitdunning, zoals bijvoorbeeld Dunea en PWN dat doen in de duingebieden (Dunea, 2020b; PWN, 2024c). Dit gebeurt echter primair uit oogpunt van biodiversiteit en natuurwaarden, en niet met het doel de grondwateraanvulling te verhogen.

Landbouw

In het regionale Deltaprogramma zoetwater en in provinciale programma's wordt nadrukkelijk gekeken naar het tegengaan van verdroging en verzilting van landbouwpercelen in de zomer. Dit zou ook de beregeningsbehoefte in droge perioden kunnen verminderen. De belangrijkste maatregelen hierbij zijn verbetering van de bodemstructuur, ondiep draineren en verhoging van het grondwaterpeil. Hiertoe worden ook vrijwillige initiatieven vanuit de landbouwsector zelf voorgesteld en genomen, zoals in het kader van Deltaplan Agrarisch Waterbeheer. Hoewel peilopzet in veenweidegebieden ook nadelige gevolgen kan hebben voor de agrarische praktijk, is het ook een belangrijke maatregel in het klimaatakkoord om CO₂-uitstoot terug te dringen (Rijksoverheid, 2019).

Stedelijke inrichting

Voor klimaatadaptatie wordt ook gekeken naar de stedelijke inrichting. Veel voorkomende maatregelen zijn het omvormen van verhard oppervlak naar groen en het afkoppelen van de riolering op verhard

oppervlak. Op deze manier wordt de infiltratie van water in de bodem verhoogd. Daarnaast zullen groene steden minder warm worden en daarmee minder hittestress voor de mens opleveren.

Watersysteem

Het lokale Nederlandse watersysteem is in de afgelopen eeuw sterk ingericht op het voorkomen van wateroverlast door water snel af te voeren. In regionale Deltaprogramma zoetwater en de provinciale programma's worden nu maatregelen voorgesteld om juist water weer meer ruimte te geven. In het Deltaprogramma zoetwater regio Noord wordt ingezet op beekherstel en herprofilering, waarbij het oorspronkelijke meanderende traject weer wordt hersteld. Verder kunnen sloten ook worden verondiept of afgedamd, om zo meer infiltratie toe te staan. Ook worden waterbergingsgebieden toegewezen. Die gaan wateroverlast tegen, maar kunnen ook watertekorten beperken. Daarnaast wordt voor de Rijkswateren verkend of aanleg van waterbergingen en buffers mogelijk is langs de Maas (Rijksoverheid, 2023). Ook is in 2018 het peilbesluit voor het IJsselmeergebied aangepast, waardoor het zomerpeil is verhoogd is en meer zoetwater kan worden gebufferd (Rijkswaterstaat, 2018).

Tabel 5.1 Voorbeelden van maatregelen (X) om water vast te houden en in welke beleidsstrategieën ze voorkomen.

Code	Maatregel	Programma's				Voorbeelden
		DPZ-regio's	DPZ-Hoofd	Provinciale programma's Klimaat en water	Drinkwater-bedrijven	
V1	Omzetten naald bebossing naar loofbomen.			X	X	Omzetten naaldbossen naar loofbossen of heide. Zie bv. maatregelen in Blauwe Agenda Utrechtse Heuvelrug (Anonymous, 2023).
V2	Waterconservering op perceelniveau, landbouw.	X		X		Verbetering bodemstructuur, regelbare drainage, aanpassing peilbeheer, beperken of sturen oppervlakkige afstroming. Zie bv. maatregelen in DPZ-Oost Nederland (Wergroep ZON, 2020).
V3	Water robuuste herinrichting stedelijk gebied.	X		X		Afkoppelen verhard oppervlak, aanleggen groenblauwe structuren, ontsteden verhard oppervlak. Zie bv. regionaal waterprogramma Drenthe (Provincie Drenthe, 2021).
V4	Water robuuste functie landgebruik.	X		X		Functie veranderen in ruimte voor water. Aanmerken gebieden waar peil uitzakking of juist wateroverlast acceptabel is, Zie bv. maatregelen in DPZ-Zuid-Nederland (Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie Zuid, 2020).
V5	Aanleggen waterberging en buffers.	X	X	X		Aanleg waterbergingsgebieden langs hoger gelegen gebieden, mogelijke aanleg strategische zoetwaterbuffers langs rivieren. Zie bv. regionaal waterprogramma Drenthe.
V6	Aanpassing watersysteem.	X	X	X		Verondiepen sloten, flexibiliseren stuwprogramma's, vergroten robuustheid wateraanvoer, herstel beekprofiel. Zie bv. de maatregelen in DPZ-Zuid-Nederland.

5.3.3 *Maatregelen voor (drink)waterbesparing*

Waterbesparing vermindert de zoetwatervraag, waardoor er voor drinkwaterbedrijven een kleinere waterbeschikbaarheidsopgave ligt. Waterbesparing kan plaatsvinden bij consumenten en zakelijk gebruik (B1, Tabel 5.2), industrie (B2) en landbouw (B3). Ook door het verminderen van de indringing van zout water (B4) komt meer zoetwater voor andere functies beschikbaar.

Consumenten en niet-huishoudelijk gebruik

Het stimuleren van waterbesparing bij huishoudens en bij niet-huishoudelijk gebruik (zakelijke markt, exclusief industrie) is een belangrijk speerpunt van alle drinkwaterbedrijven (Van Leerdam et al., 2023), en komt ook naar voren in provinciale programma's. Doel van het landelijke beleid is om het drinkwaterverbruik per persoon terug te brengen van 125 liter per dag naar 100 liter per dag (Ministerie van I&W, 2023d). Dit om de sinds 2014 toenemende drinkwatervraag (Baggelaar et al., 2022) te keren, zowel in absolute zin als per persoon. Hiervoor is een *Nationaal plan van aanpak drinkwaterbesparing* opgesteld (Ministerie van I&W, 2024e). Daarin worden verschillende typen maatregelpakketten voor waterbesparing bij consumenten en niet-huishoudelijk gebruik voorgesteld, maar wordt ook onderzoek uitgevoerd naar 'waterbewust bouwen'. Daarbij wordt bijvoorbeeld gedacht aan het stimuleren of verplichten van het gebruik van regenwater voor een (beperkt) aantal huishoudelijke toepassingen.

Industrie

Ongeveer 15% van het in Nederland geproduceerde drinkwater is bestemd voor de industrie (Vewin, 2023). In het Nationaal plan van aanpak drinkwaterbesparing wordt ook gekeken naar waterbesparing bij industriële gebruikers. Verder zijn er vanuit vrijwel alle drinkwaterbedrijven initiatieven om het industriële watergebruik door middel van waterscans en waterprofielen tegen het licht te houden. Ook de industrie zelf geeft aan dit belangrijk te vinden (INFRAM B.V., 2021). De industrie heeft zichzelf ten doel gesteld om in 2035 20% minder water te gebruiken, en dit door te trekken naar volledige zelfvoorziening op de lange termijn (VEMW, 2023). De drinkwaterbedrijven kijken ook naar waterbesparing in hun eigen processen.

Kansen voor hergebruik en waterbesparing worden hierbij verkend en benut. Hiervan zijn meerdere voorbeelden. In het Groningse Winschoten wordt bijvoorbeeld een datacenter met lucht gekoeld in plaats van met water. In Wieringermeer is de aanleg begonnen van ondergrondse reservoirs waar opgevangen regenwater kan worden opgeslagen. Dat water kan vervolgens in droge periodes door tuinders en datacenters worden gebruikt (Waterforum, 2023). Daarnaast hebben PWN (*NH Water*) en Waterbedrijf Groningen (*North Water*) met Evides Industriewater *joint ventures* opgestart die industriële klanten aansluiten. Ook Brabant Water, Evides en Waternet doen dit (Van Leerdam et al., 2023). Doel hierbij is om bij industrieel gebruik drinkwater te vervangen door ander water. In Groningen wordt de watervraag van de industrie bijvoorbeeld zo veel mogelijk ondervangen door water te leveren dat is geproduceerd uit onconventionele bronnen.

Landbouw

Waterbesparing in de landbouw is een belangrijke component in het regionale Deltaprogramma zoetwater en in de provinciale programma's. Hierbij wordt de samenwerking gezocht met brancheverenigingen als de Land-en-Tuinbouw Organisatie (LTO). Het gaat bijvoorbeeld om een stimulerings- en uitvoeringstraject voor fysieke maatregelen, waarbij efficiënte beregeningstechnieken worden toegepast (Waterschap Rivierenland & ZLTO, 2018). Ook worden in het kader van het Deltaprogramma zoetwater Noord-Nederland verschillende agrarische praktijkexperimenten ondersteund, bijvoorbeeld op het vlak van zoute teelten of het telen van droogte-resistente gewassen. Daarnaast is het sinds kort mogelijk om voor irrigatie van landbouwpercelen RWZI-effluent te gebruiken in plaats van grond- en oppervlaktewater. Het is wel nodig daarvoor bij de vergunningsaanvraag een risicobeheerplan op te stellen, omdat het mogelijk negatieve effecten kan hebben op grondwaterkwaliteit en de voedselveiligheid (IPLO, 2024b; Swartjes et al., 2024).

Verminderen externe verzilting

In het nationale Deltaprogramma zoetwater zijn diverse maatregelen genomen om de verzilting van west-Nederland te bestrijden. Het gaat dan om het beter verdelen van water en het verbeteren van de zout-zoet scheiding bij sluizen. Een voorbeeld hiervan is de *Zoutdam* bij het Noordzeekanaal, die het mogelijk maakt om het ingedrongen zoute water na opening van de zeesluis selectief te spuien (Rijkswaterstaat, 2024b). Ook zijn er waterbesparende maatregelen genomen om infiltratie van zout water te verminderen bij het *schutten* (het proces waarbij een schip via een sluis omhoog of omlaag wordt gebracht om het hoogteverschil in het waterniveau te overbruggen). Op deze manier blijft er meer zoetwater beschikbaar voor andere functies dan doorspoeling. De maatregelen tot dusver zijn veelal een optimalisatie van het huidige systeem. Het ministerie van I&W denkt dat er in de toekomst ingrijpendere maatregelen in het Nederlandse watersysteem nodig kunnen zijn (Ministerie van I&W, 2024c).

Tabel 5.2 Voorbeelden van maatregelen (X) om water te besparen en hun voorkomen in de eerdergenoemde beleidsstrategieën

Code	Maatregel	Programma's				Voorbeelden
		DPZ-regio's	DPZ-Hoofd	Provinciale programma's Klimaat en water	Drinkwater-bedrijven	
B1	Drinkwaterbesparing consumenten			X	X	Communicatie en bewustwording campagnes, onderzoek naar drinkwaterprijsstelling. Zie bv. n Nationaal plan van aanpak drinkwaterbesparing.
B2	Drinkwaterbesparing industrie			X	X	Analyse van watergebruik industrie, hergebruik van spoelwater voor filters, gebruik van gecondenseerd water, voorkomen gebruik drinkwater voor laagwaardige toepassingen. Overzetten industriële gebruikers. Zie bv. waterprogramma provincie Flevoland (Provincie Flevoland, 2020). Zie ook Nationaal plan van aanpak drinkwaterbesparing
B3	Waterbesparing landbouw	X		X		Verbouwen gewassen met lage zoetwaterbehoefte, sub- of druppelirrigatie i.p.v. beregening, irrigatie met RWZI-effluent. Zie bv. maatregelen in DPZ-Oost Nederland
B4	Verminderen verzilting en doorspoelbehoefte hoofdwatersystemen		X	X		Selectieve onttrekking zoutwater bij sluizen (zoutdam IJmond (Rijkswaterstaat, 2024b)), bellenschermen, zuinig schutten bij sluizen, Zie DPZ-hoofdwatersysteem (Rijkswaterstaat, 2021).

5.3.4 *Maatregelen om reserves te vergroten* *Multibronnen strategie*

Bij verdergaande klimaatverandering kan de waterkwaliteit en -kwantiteit in de toekomst minder stabiel zijn. Een belangrijke strategie van drinkwaterbedrijven om hiermee om te gaan, is het gebruik van aanvullende en onconventionele bronnen en de flexibele inzet ervan (R1, Tabel 5.3). Bij een verslechterde waterkwaliteit of lage waterbeschikbaarheid kan dan tijdelijk meer water worden bijgemengd uit een bron die wel beschikbaar is.

Bij De Punt (Drentsche Aa) kan bijvoorbeeld meer grondwater worden gewonnen wanneer een innamebeperking van oppervlaktewater geldt. Ook WML heeft een backup-voorziening in geval van langdurige innamestops. Andere voorbeelden van aanvullende bronnen zijn een pilot door Dunea om regionaal oppervlaktewater in te zetten (het Valkenburgse meer, (Dunea, 2020a)) en het project Wateraanvoer in het Gooi (WAAG: onderzoek van PWN, Vitens en Waternet naar zuivering van water uit Amsterdam-Rijnkanaal of het Gooimeer, zie ook 2.3.1). Daarnaast zouden ook onconventionele bronnen kunnen worden gebruikt ter substitutie van een conventionele bron. Waterbedrijf Groningen zet bijvoorbeeld preferent onconventionele bronnen in bij industriële watervragers. Op deze manier wordt effectief ook de totaal beschikbare capaciteit uitgebreid. Brabant Water zet in op onconventionele bronnen (diep brak grondwater en zeewater), aanvullend op de huidige productie vanuit grondwater. Vrijwel alle drinkwaterbedrijven onderzoeken het gebruik van één of meer onconventionele bronnen (hoofdstuk 3).

Kunstmatige (diep) infiltratie

Infiltratie van oppervlaktewater (R2) kan worden gebruikt om de grondwateraanvulling te verhogen. Dit wordt *Managed Aquifer Recharge (MAR)* genoemd. De ondergrond kan ook dienen als een opslag voor water. Dit heet *Aquifer Storage and Recovery (ASR)*. Wanneer water beschikbaar is en van goede kwaliteit is, bijvoorbeeld in de winter, kan met ASR een ondergrondse voorraad worden aangelegd, die in de zomer weer kan worden gebruikt. Dit is vooral nuttig in regio's met brak en zout grondwater. Op dit moment wordt kunstmatige infiltratie - op de duinen en enkele kleine grondwaterwinningsna - in Nederland slechts beperkt toegepast (Dorland et al., 2018; Van Dooren et al., 2021).

Door de toenemende droogte wordt kunstmatige infiltratie wel door meerdere drinkwaterbedrijven onderzocht. Met infiltratie aan de oppervlakte kan infiltratie relatief lokaal zijn, wat vooral dient om omgevingseffecten van drinkwaterwinning te verminderen (Benak, 2024). Maar er worden ook grootschaligere projecten voorgesteld, zoals het actief infiltreren van grote hoeveelheden IJsselwater op de Veluwe (Mens & de Louw, 2020). Dit zou kunnen leiden tot verhoging van de winbare hoeveelheden water. Daarnaast onderzoekt PWN met steun van de provincie Noord-Holland een ASR-project van 1 miljoen m³ bij Hoorn, voor gebruik bij calamiteiten, uitval of kwaliteitsproblemen in het IJsselmeer (PWN, 2024b).

Er zijn wel kwaliteitseisen bij infiltratie. Zo mag de grondwaterkwaliteit hierdoor niet verslechteren. Voor toelating zijn onder meer additionele

vergunningvereisten, de regels in het Infiltratiebesluit en de Europese KRW-doelen voor waterkwaliteit belangrijk (Zuurbier et al., 2015). Vaak is een voorzuivering nodig om het water met de juiste kwaliteit te infiltreren. Een ander risico is dat passage van oppervlaktewater in de bodem de hydrochemische samenstelling van het water kan veranderen en de chemie in de ondergrond kan beïnvloeden (Smolders et al., 2006; Van Dooren et al., 2021). Dit kan leiden tot ongewenste of onvoorziene gevolgen van infiltratie, waarmee rekening moet worden gehouden. Op dit moment wordt kunstmatige infiltratie toegepast of onderzocht bij Vitens, Waternet, Waterbedrijf Groningen, Dunea en PWN (Van Leerdam et al., 2023).

Vergroten reserves

Oppervlaktewaterwinningen hebben geregeld te maken met innamestops vanwege verontreinigingen, en in geval van Drentsche Aa ook door lage afvoeren. Innamestops zouden door klimaatverandering in de toekomst langer kunnen duren (5.2.2). Om deze periodes te overbruggen, vergroten drinkwaterbedrijven reserves in duinen en bekkens (R3). Het terugwinbare volume en de waterbehoefte bepalen dan de overbruggingstijd.

Rond 2030 wil PWN bijvoorbeeld beginnen met constructie van extra bekkens bij Andijk, met een totaaloppervlakte van 100 hectare (PWN, 2024a), die de watervoorraad (nu genoeg voor vier dagen) met 3 miljoen m³ zullen uitbreiden. Ook Dunea wil de ondergrondse voorraden in de duinen vergroten, om daarmee de overbruggingstijd te verlengen van vier tot zes weken naar drie maanden (Dunea, 2023). Evides heeft ook een bergingscapaciteit in de Biesbosch, die twee tot drie maanden in de vraag kan voorzien. Het vullen van de bekkens duurde echter lang, wat bij herhaaldelijke innamestops problemen kan opleveren. Daarom is in 2021 een nieuw innamestation gebouwd (Evides, 2021) met een maximale pompcapaciteit van 24 m³ per seconde, waarvan 15 m³ per seconde is vergund. Voorheen was de maximale capaciteit 8 m³ per seconde. De hogere pompcapaciteit betekent dat reserves sneller weer zijn aangevuld, en hierdoor kan beter op de rivierdynamiek ingespeeld worden. Het ontwikkelen van nieuwe grondwaterwinningen in de ASV-gebieden (zie hoofdstuk 2) zou ook kunnen worden gezien als het vergroten van de reserves.

Tabel 5.3 Voorbeelden van maatregelen (X) om reserves te vergroten en hun voorkomen in de eerdergenoemde beleidsstrategieën.

Code	Maatregel	Programma's				Voorbeelden
		DPZ-regio's	DPZ-Hoofd	Provinciale programma's Klimaat en water	Drinkwater-bedrijven	
R1	Multibronnen strategie				X	Bij De Punt (Drentsche Aa) meer grondwater in zomer wanneer rivierafvoer laag is en zoveel mogelijk oppervlaktewater wanneer dit wel beschikbaar is. Inzet onconventionele bronnen (zie hoofdstuk 4).
R2	Kunstmatige (diep)infiltratie				X	Onderzoek naar grootschalige infiltratie oppervlaktewater in zandformaties. Bv. in de Utrechtse heuvelrug, de Veluwe of Sallandse heuvelrug (H+N+S Landschapsarchitecten et al., 2022).
R3	Vergroten reserves (bekkens, en duinen)				X	Vergroten bassins om de overbruggingscapaciteit te verhogen, bv. de 'klimaatbuffer' in Andijk (Van Egdom, 2023). Verhogen innamecapaciteit bij frequente innamestops (Evides, 2021), vergroten gebied waar infiltratie plaats vindt, zie bv. FRESHMAN (3.2.1).

5.3.5

Beleidskaders en maatregelen bij ontwikkeling van de waterkwaliteit

In paragraaf 5.2 zijn klimaatrisico's voor zowel de waterkwantiteit als de waterkwaliteit toegelicht. Klimaatverandering heeft een effect op beide componenten afzonderlijk maar evenzogoed kunnen veranderingen in de waterkwantiteit de waterkwaliteit negatief beïnvloeden (Van Vliet et al., 2023). Zo hebben lage grondwaterstanden ook effecten op de grondwaterkwaliteit (5.2.1.3) maar ook bij lage rivierafvoeren vindt indikking van verontreinigingen plaats (5.2.2.3). Op deze manier versterken de effecten van klimaatverandering op de waterkwantiteit, vaak al bestaande waterkwaliteitsproblemen.

Eerder onderzoek heeft uitgewezen dat er bij meer dan de helft van de grondwaterwinningen en vrijwel alle oppervlaktewaterwinningen kwaliteitsproblemen spelen (Van Driezum, Beekman, et al., 2020). Zo zijn nutriënten (39 winningen), bestrijdingsmiddelen (70 winningen), opkomende stoffen (37 winningen) en uitloging van bodemverontreinigingen (54 winningen) veelvoorkomende problemen bij grondwaterwinningen. Voor oppervlaktewateren zijn met name opkomende stoffen een probleem en de concentraties van verontreinigende stoffen nemen nog steeds toe (CBS et al., 2023). Alhoewel in paragraaf 5.3 vooral gekeken is naar maatregelen op het gebied van kwantiteit, kunnen ook door klimaat geïnduceerde veranderingen in kwaliteitsaspecten een reden zijn voor het niet kunnen innemen van water (Sjerps et al., 2017). Dit betekent dat naast de inzet op hydrologische verbeteringen, ook de inzet op waterkwaliteitsverbeteringen helpt om klimaatrisico's te mitigeren.

Een ex ante evaluatie heeft uitgewezen dat de KRW-doelen in 2027 waarschijnlijk niet zullen worden gehaald, ondanks dat er wel verbeteringen plaats hebben (Van Gaalen, 2020). Voor de drinkwaterbronnen, met name grondwater, was moeilijk uitspraken te doen over de ontwikkeling van sommige drinkwaterrelevante stoffen (Knoben, 2021). Belangrijke kaders voor verbeteringen van de waterkwaliteit zijn bijvoorbeeld de Nitraatrichtlijn (Ministerie van LNV & Ministerie van I&W, 2021), de toekomstvisie gewasbeschermingsmiddelen 2030 (Ministerie van LNV, 2019) en de KRW-doelen (European Commission, 2000). Inzet hierop is ook in het kader van mitigatie van klimaatrisico's voor de drinkwatersector relevant.

5.4 **Reflectie vanuit de workshop op klimaat adaptieve maatregelen en risico's**

Onderliggende verkenning van klimaatrisico's en maatregelen is met drinkwaterbedrijven en provincies besproken in een workshop (Bijlage 3). De vraag aan de deelnemers was om de lijst met risico's aan te vullen waar dat kon, en bijbehorende maatregelen voor te stellen. Naast additionele risico's signaleerden deelnemers in de jaargemiddeld toegenomen neerslaghoeveelheid ook een kans, als dit water kan worden opslagen.

Risico's: aanvullingen, type risico's en risicofactoren

Vanuit de reflectie tijdens de workshop kwamen verschillende risico's naar voren die buiten de scope van dit hoofdstuk (waterbeschikbaarheid

en waterkwaliteit van conventionele bronnen) lagen. Het ging hierbij bijvoorbeeld om de gevolgen van overstromingen, zoals het risico op fysieke schade aan drinkwaterinfrastructuur, of de verhoogde drinkwatervraag wanneer een groot deel van de populatie wordt geëvacueerd. Ook werden gevolgen van ongewenste opwarming van het leidingnetwerk genoemd, en de bijbehorende proliferatie van opportunistische pathogenen.

Daarnaast werden andere typen risico's geïdentificeerd, in lijn met handreikingen voor klimaatrisico-analyses, zoals ISO 14091 (ISO, 2021). Tijdens de workshop werd het voorbeeld gegeven van mosselsterfte in procesbekkens wanneer de hittestress te hoog wordt. Deze mosselen zijn filtervoeders en leveren een belangrijke ecosysteemdienst door een eerste voorzuivering te verzorgen wanneer het rivierwater in het bekken zit. Na een massale sterfte van de mosselen keert deze ecosysteemdienst niet vanzelfsprekend terug. Dit is een risico met een potentieel onomkeerbare impact, een zogenoemd kantelpunt. Daarnaast identificeert ISO 14091 ook cascade-effecten (zoals eerdergenoemde secundaire gevolgen van een grootschalige evacuatie), complexe risico's (het optreden van meerdere extremen met lage waarschijnlijkheid tegelijk) en *zwarte zwanen* (nog onbekende risico's met potentieel grote gevolgen). Dit type risico's laat zich slecht vatten in de relatief lineaire oorzaak-gevolgstructuur van een DIPSR-schema. Geadviseerd wordt om middels scenariostudies specifiek naar de mogelijke impact van deze risico's te kijken (Witmer et al., 2023).

Daarnaast werden ook risicofactoren aangehaald die – indirect – de impact van klimaatverandering mede beïnvloeden. Een voorbeeld hiervan is de inrichting van de bebouwde omgeving. Een groene inrichting van de stedelijke omgeving kan bijvoorbeeld de hittestress die stadsbewoners ervaren beïnvloeden, en daarmee ook de watervraag. Daarnaast werden ook risico's genoemd die samenhangen met beleid in andere sectoren en andere transities. Met name de investeringen in beregeningsinstallaties vanuit de agrarische sector om gevolgen van droogte tegen te gaan kwamen als een externe risicofactor naar voren. ISO 14091 noemt verder ook regionale verschillen, internationale aspecten en de bestuurlijke situatie als belangrijke risicofactoren.

Maatregelen

De voorgestelde maatregelen tijdens de workshop kwamen grotendeels overeen met de maatregelen die in dit hoofdstuk worden genoemd. Daarnaast werd nadrukkelijk gewezen op het belang van meerdere bronnen die flexibel inzetbaar zijn. Daarmee wordt het risico verkleind dat (klimaat)extremen de drinkwaterproductie significant kunnen verstoren. Een andere belangrijke boodschap was dat ontwikkeling en adaptatie in andere sectoren, zoals woningbouw, landbouw, natuur en waterveiligheid, belangrijke gevolgen voor de drinkwatervoorziening kunnen hebben. Alhoewel hier niet onderzocht, betekent dit dat adaptatiestrategieën en ontwikkelingen in deze sectoren tot nieuwe risico's kunnen leiden. Bij klimaatadaptatie is het belangrijk zulke cross-sectorale gevolgen van maatregelen in kaart te brengen. Waar tegenstrijdige effecten aanwezig zijn, is het van belang de verschillende belangen tegen elkaar af te wegen. Dit sluit ook aan bij een advies van de Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur (RLI). De RLI pleit in

het advies voor een integraal kennis- en onderzoeksprogramma voor klimaatbestendige ruimtelijke ordening (RLI, 2024).

5.5 Deelconclusies

Klimaatrisico's grondwater en oppervlaktewater treden frequenter op. Met behulp van de DPSIER-structuur konden vanuit de dreigingen die zijn geformuleerd in de Nationale Adaptatie Strategie, klimaatrisico's voor zowel grondwater als oppervlaktewater worden verkend. In droge jaren komen deze nu al tot uiting, bijvoorbeeld bij innamestops door verzilte innamepunten, te warm rivierwater, een verslechterde waterkwaliteit en onder andere natuurschade door lage grondwaterstanden. De Deltascenario's wijzen erop dat deze risico's in de toekomst waarschijnlijk frequenter voorkomen, met grotere negatieve gevolgen.

Impact van enkele geïdentificeerde klimaatrisico's nog onbekend. De mogelijke effecten van klimaatverandering zijn met behulp van hydrologische modellen en een aantal economisch-maatschappelijke en klimaatscenario's in beeld gebracht. Voor rivierafvoeren en grondwaterstanden kunnen op deze manier goede berekeningen worden gedaan. De bandbreedte van deze klimaatimpacts is daarmee goed in beeld. Bepaalde effecten, zoals een verhoogde algengroei en veranderingen in de grondwaterkwaliteit, worden echter niet meegenomen in modelstudies. De mogelijke impact van risico's die buiten de modellen vallen is dan ook minder goed bekend.

Belang indirecte en complexe klimaatrisico's. In de meeste modellen wordt uitgegaan van lineaire effecten op het systeem. Er zijn echter ook impacts die voortkomen uit het samenvallen van twee extreme gebeurtenissen met een lage waarschijnlijkheid (complexe risico's), risico's die pas bij een (onbekend) kantelpunt optreden of risico's die voortkomen uit een impact in andere sectoren (cascade-effecten). Zulke bijzondere risico's, met mogelijk grote gevolgen, kunnen door middel van specifieke scenario-studies worden onderzocht.

Inzet bronnen voor klimaatrobuuste productie. Drinkwaterbedrijven beschouwen het veranderende klimaat als een significant risico voor de kwantiteit van drinkwater, en streven ernaar klimaatrobuust te worden. De belangrijkste strategieën om dit te bereiken zijn bronuitbreiding, diversificatie van bronnen en het aanleggen van reserves. Oppervlaktewaterbedrijven breiden reserves in duinen en bekkens uit. Grondwaterbedrijven hopen nieuwe grondwaterwinningen in gebruik te kunnen nemen. Daarnaast zijn er infiltratieprojecten met oppervlaktewater om ondergrondse reserves aan te leggen en de aanvulling van grondwater te verhogen.

Belang andere actoren bij klimaatrobuust watersysteem. Er zijn verschillende typen ambitiedocumenten en maatregelprogramma's gevonden die een klimaatrobuust watersysteem nastreven. Maatregelen bestaan uit het vasthouden van water, het besparen van (drink)water en het verbeteren van de algemene

waterkwaliteit. Hierbij zijn overheden, consumenten, industrie en landbouw betrokken.

Doelbereik regionale zoetwatermaatregelen nog onduidelijk.

In ambitiedocumenten als de regionale Deltaprogramma's zoetwater worden maatregelen voorgesteld om een klimaatrobuust watersysteem te bereiken. Meestal zijn deze nog niet breed geïmplementeerd, en ook nog niet doorgerekend. Het is belangrijk dat het doelbereik van deze maatregelen wordt onderzocht en na implementatie wordt gemonitord, omdat ze de uiteindelijke gevolgen van klimaatverandering mede bepalen.

Belang maatregelen andere sectoren.

Bij maatregelen gericht op waterkwaliteit, vasthouden van water en besparen van water zijn drinkwaterbedrijven niet de uitvoerende partij. Toch bepalen ontwikkelingen en keuzes in ruimtelijke ordening, waterhuishouding, landbouw en industrie voor een groot deel de uiteindelijke klimaatimpact waarmee de drinkwatersector te maken gaat krijgen.

6 Aandachtspunten bij inzet verschillende bronnen

6.1 Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken zijn ontwikkelingen op het gebied van bronnen en zuiveringstechnologie beschreven en is de impact van klimaatverandering toegelicht. Dit hoofdstuk geeft een samenvatting van aandachtspunten bij de keuze voor drinkwaterbronnen en vergelijkt de verschillende opties aan de hand van een aantal onderwerpen. Deze zijn geselecteerd vanuit de literatuur (Riemer et al., 2021; Stofberg et al., 2023), en de gevoerde interviews, aangevuld met de beoordelingskaders gebruikt in 'Notitie Reikwijdte en detailniveau' (NRD) en Milieu-Effecten-Rapportages (MER) van de drinkwaterbedrijven zelf. De mogelijke voor- en nadelen van de verschillende bronnen zijn samengevat in Tabel 6.1 en worden toegelicht in paragraaf 6.2. Dit dient slechts als indicatie, want de lokale geografische situatie en beleidscontext zijn van grote invloed op de uiteindelijke keuze.

6.2 Mogelijke voor- en nadelen van de verschillende bronnen

6.2.1 *Robuustheid bron: kwantiteit, kwaliteit en toekomstbestendigheid*

Om nu en in de toekomst aan een mogelijk toegenomen drinkwatervraag te voldoen, wordt gekeken naar de robuustheid van de drinkwaterbronnen. Robuustheid bestaat uit continuïteit en toekomstbestendigheid (Tabel 6.1). Continuïteit is uitgesplitst naar kwaliteit en kwantiteit. Oftewel, is er genoeg water beschikbaar met de juiste kwaliteit voor productie. Toekomstbestendigheid gaat om de vraag of hierin verslechtingen zijn te verwachten, bijvoorbeeld door klimaatverandering, die beschikbaarheid van de bron kunnen inperken. Negatieve omgevingseffecten die de winbare hoeveelheid mogelijk inperken, worden in 6.2.5 behandeld.

Momenteel worden onconventionele bronnen nog niet als drinkwaterbron benut maar uit veel van deze bronnen zijn significante volumes water winbaar. Uitzonderingen hierop zijn regenwater, waterstof, brak grondwater en regionaal oppervlaktewater, waar de winningshoeveelheden om allerlei redenen kleiner zijn. Jaarlijks valt er bijvoorbeeld wel 30 miljard m³ regen in Nederland, maar dit water moet dan wel worden opgevangen, bijvoorbeeld via daken. In de praktijk betekent dit dat hiermee in hoogstens een derde van de drinkwaterbehoefte kan worden voorzien (Van Driezum, van der Aa, et al., 2020). Voor waterstof is nog onduidelijk hoeveel water er te winnen zal zijn, maar eerste schattingen gaan uit van slechts enkele miljoenen m³ per jaar (Folmer et al., 2024). Brak grondwater is met name in een strook langs de kust beschikbaar. Er zijn een aantal kansrijke casussen uitgewerkt, en enkele proefprojecten lopen al. De capaciteit per winning is ongeveer 2 tot 6 miljoen m³ per jaar.

Tabel 6.1 Overzicht van aandachtspunten bij en kenmerken van verschillende bronnen voor drinkwater voor verschillende thema's. De thema's worden toegelicht in paragraaf 6.2.1 tot 6.2.7. Uiteindelijk is het vaak de lokale geografische en bestuurlijke context die de doorslag in de bronkeuze geeft.

Bronnen	Robuustheid (6.2.1)		Zuiveringsinspanning, Energie & Kosten (6.2.2, 6.2.3)	Bestuurlijk-juridische complexiteit (6.2.4)		Omgevings-effecten (6.2.5)	Maatschappelijke Acceptatie (6.2.6)
	Kwantiteit (per jaar)	Kwaliteit		Bron nu in Drinkwater-wet?	Vorming concentraat?		
Onconventioneel							
Brak of zout grondwater	Enkele tientallen miljoenen m ³ /jaar	Zoutgehalte (>0,15 g/L), weinig antropogene verontreiniging	Geavanceerde zuivering en hogere kosten, voorzuivering beperkt, RO nodig om zout te verwijderen, energie afhankelijk van zoutgehalte.	Ja	Ja	Mogelijke daling grondwaterstand	Mogelijk anders, waarschijnlijk vergelijkbaar met zoet grondwater
Zeewater	Overvloedig beschikbaar	Zoutgehalte (35 g/L), zwevende stof, mogelijk antropogene verontreinigingen	Geavanceerde zuivering en hogere kosten, RO met hoge druk nodig om vele zouten te verwijderen.	Ja (niet in drinkwater-regeling)	Ja	Beperkt/geen	Mogelijk anders
RWZI-effluent	Circa 1,8 miljard m ³	Pathogenen (virussen, bacteriën), OMV's (medicijnresten etc.)	Geavanceerde zuivering en hogere kosten, desinfectie punt van aandacht.	Nee	Ja	Verlaging debiet effluent-ontvangend waterlichaam, mogelijk ecologisch effect	Mogelijk anders, Nederlandse situatie momenteel onderzocht

Bronnen	Robuustheid (6.2.1)		Zuiveringsinspanning, Energie & Kosten (6.2.2, 6.2.3)	Bestuurlijk- juridische complexiteit (6.2.4)		Omgevings- effecten (6.2.5)	Maatschap- pelijke Acceptatie (6.2.6)
	Kwantiteit (per jaar)	Kwaliteit		Bron nu in Drinkwater- wet?	Vorming concen- traat?		
Regen- water	~25% van huishoudelijk e behoefte (~200 miljoen m ³)	Pathogenen (<i>Cryptosporidium</i> , <i>E. coli</i>), chemisch (lood en pesticiden)	Geavanceerde zuivering nodig, opvangmiddelen en kleinschaligheid maakt het duur	Nee	Waar- schijnlijk	Beperkt/geen wellicht ruimtebeslag voor opvang	Mogelijk anders
Waterstof	<5 miljoen m ³	Opgeloste zware metalen	Geavanceerde zuivering en hogere kosten, opharding nodig	Nee	Waar- schijnlijk	Beperkt/geen	Mogelijk anders

Bronnen	Robuustheid (6.2.1)		Zuiveringsinspanning, Energie & Kosten (6.2.2, 6.2.3)	Bestuurlijk- juridische complexiteit (6.2.4)		Omgevings- effecten (6.2.5)	Maatschap- pelijke Acceptatie (6.2.6)
	Kwantiteit (per jaar)	Kwaliteit		Bron nu in Drinkwater- wet?	Vorming concen- traat?		
Conventioneel							
Regionaal opp. water	Enkele tientallen miljoenen m ³	Vertroebeling, microbiologische verontreinigingen, afspoeling van	Drentsche Aa, geen geavanceerde zuivering. Geen andere voorbeelden bekend	Ja	Vergelijk- baar met opp. water	Beperkt, mogelijk bij lage afvoeren rond ecologische en nautische grenswaar- den (droge zomers).	Reeds geaccepteerd
Uitbreiden opp. water	Enkele honderden miljoenen m ³	bestrijdingsmiddelen, verhoogde concentraties opkomende stoffen en andere OMV's.	Vaker geavanceerde zuivering nodig om OMV's te verwijderen	Ja	Vaak		
Uitbreiden grondwater	Inschatting ASV's: ~200 miljoen m ³	Oud grondwater heeft goede kwaliteit, wel zorgen om ontwikkeling kwaliteit.	Meestal eenvoudige zuivering, lage kosten, weinig energie	Ja	Nauwelij- ks	Mogelijke daling grondwaterst- and met effecten op landbouw en natuur	
Oever- grondwater	Enkele tientallen miljoenen m ³	Beïnvloed door rivierkwaliteit, microbiologisch beter dan oppervlaktewater.	Meestal geavanceerde zuivering gebruikt	Ja	Vaak	Beperkt	

Het is nog niet geheel duidelijk hoeveel brak grondwater in totaal zou kunnen worden gewonnen, maar het lijkt onwaarschijnlijk dat dit vergelijkbaar zal zijn met de hoeveelheden zoet grondwater en oppervlaktewater. Ook van regionaal oppervlaktewater is de beschikbaarheid beperkt. Regionaal oppervlaktewater heeft namelijk een lage afvoer (in het geval van rivieren) of volume (kleine meren), en bij lagere winningshoeveelheden treden dan al negatieve omgevingseffecten op. De toekomstbestendigheid van regionaal oppervlaktewater is daarom waarschijnlijk lager. Vanwege mogelijk langdurigere droge periodes door klimaatverandering zullen kritisch lage afvoeren vaker optreden in regionaal oppervlaktewater, zoals bijvoorbeeld de Drentsche Aa en de Overijsselse Vecht (Wuijts et al., 2013). In de droge zomer van 2018 is het bij de Drentsche Aa inderdaad al voorgekomen dat de afvoeren zó laag waren dat winning op last van het waterschap werd stopgezet (Van Leerdam et al., 2023).

Voor veel van de andere onconventionele bronnen zijn kwantiteit en toekomstbestendigheid vergelijkbaar met die van de conventionele bronnen. Zeewater is een praktisch onuitputtelijk winbare drinkwaterbron, en de totale stroom van RWZI-effluent bedraagt 1,8 miljard m³ per jaar. Het is onwaarschijnlijk dat deze bronnen in de toekomst niet beschikbaar zullen zijn. Wel scoren deze bronnen door de hoge hoeveelheid zout in zeewater en de sterke mate van verontreiniging van RWZI-effluent beduidend slechter op het vlak van kwaliteit. Ook de grote rivieren voeren jaarlijks grote hoeveelheden water aan. Voor de Rijn is dit rond de 65 miljard m³ per jaar en voor de Maas rond de 7 miljard m³ per jaar. Deze hoeveelheden zijn vrijwel altijd groot genoeg om in te blijven nemen, maar innamestops vinden wel plaats doordat de kwaliteit periodiek te slecht is voor inname. Indien werkelijk sterk verlaagde rivierafvoeren plaatsvinden, kan het wel zijn dat inname moet worden gestaakt om minimumafvoeren te bewaken. Zo staat in de vergunning voor inname bij Andelse Maas, dat het drinkwaterbedrijf contact moet opnemen met Rijkswaterstaat als de afvoer van 25 m³ per seconde in de Amer (Maas) in het geding komt (Wuijts et al., 2013). Perioden van lage afvoer en slechte kwaliteit kunnen echter worden overbrugd door reserves in duinen en bekkens. Door klimaatverandering zal een sterker seizoenseffect optreden in de rivierafvoeren, met langer durende lage afvoeren in de zomer en juist hogere afvoeren in de winter. Voldoende reservecapaciteit, ook voor mogelijk langdurigere innamestops, is dan ook noodzakelijk.

Grondwaterwinning vindt plaats in grote delen van Noord-, Oost- en Zuid-Nederland. Grondwater kan jaarrond worden gewonnen. Bij langdurigere droogte neemt de druk op het grondwater echter ook toe vanuit andere functies, zoals landbouw en natuur. Winning uit diep grondwater kan tijdens droogte worden doorgezet, maar afhankelijk van de geohydrologie kan dit soms ook het peil aan het maaiveld beïnvloeden. Dit kan dan leiden tot natuurschade en droogteschade voor de landbouw. Ten gevolge van klimaatverandering kunnen grondwaterfuncties in toenemende mate met elkaar in conflict raken (5.2.1.1). Voor de toekomst is het de verwachting dat er ook grondwater in de ASV-gebieden zal gaan worden gewonnen (zie 2.3.2). Hoeveel hieruit uiteindelijk stabiel winbaar is, moet nog uit regionale hydrologische verkenningen blijken. Op basis van de beoogde

hoeveelheid per provincie wordt er een maximum van 200 à 250 miljoen m³ per jaar aan extra capaciteit verwacht (Nijsten et al., 2022). Hoewel de grondwaterkwaliteit nu meestal goed is, zijn er wel toenemende zorgen over de vergrijzing die in de meetnetten is te zien (Negash & Swartjes, 2021).

Uit deze robuustheidsanalyse volgt dat veel onconventionele bronnen, zoals zeewater en RWZI-effluent, qua kwantiteit vergelijkbaar zijn met conventionele bronnen. Onconventionele bronnen scoren op het vlak van kwaliteit echter lager dan conventionele bronnen, omdat zij hogere concentraties zouten of andere verontreinigingen bevatten. Dit heeft gevolgen voor de zuiveringsinspanning (6.2.2) en voor het energieverbruik en de kosten van gebruik (6.2.3). Conventionele bronnen zijn in het algemeen van een betere kwaliteit, maar in de toekomst zou de beschikbaarheid ervan als gevolg van klimaatverandering kunnen veranderen.

6.2.2 *Zuiveringsinspanning*

Drinkwaterbronnen verschillen in kwaliteit. De zuiveringsinspanning die nodig is om het water op te werken, zodat het voldoet aan de normen uit het Drinkwaterbesluit, verschilt daarom ook. Het gebruik van geavanceerde zuivering leidt tot een hoger energieverbruik, meer CO₂-uitstoot en hogere kosten (6.2.3). Bij zuivering met membraanfiltratie komt bovendien een reststroom (concentraat) vrij, waarvan de lozing moet worden vergund (6.2.4). Dit concentraat heeft een volume van 20-25% van de invoerstroom, en dit water gaat daarmee verloren voor drinkwaterproductie. Daarbij betekent een hogere zuiveringsinspanning ook dat de drinkwatervoorziening afhankelijker wordt van de levering van energie, grondstoffen en technologie.

Onconventionele bronnen hebben een lagere kwaliteit dan conventionele bronnen omdat ze hoge concentraties zouten, virussen, bacteriën, en/of organische microverontreinigingen bevatten (Tabel 6.1). Voor het verwijderen van zouten en om organische moleculen af te breken, kan gebruik worden gemaakt van membraanfiltratie en geavanceerde oxidatie. Alhoewel met membraanfiltratie in principe bijna puur water kan worden geproduceerd, verschilt de benodigde zuiveringsinspanning ook binnen onconventionele bronnen. Zo bevat zeewater veel zwevende deeltjes en brak grondwater slechts weinig, waardoor bij zeewater meer voorzuivering nodig is. Bovendien is er vanwege de hogere zoutconcentratie in zeewater bij membraanfiltratie een hogere druk nodig. Bij productie vanuit onconventionele bronnen moeten ook voldoende garanties worden ingebouwd dat het geproduceerde water veilig en gezond is. Regenwater kan bijvoorbeeld van sterk wisselende kwaliteit zijn, wat om een robuuste, flexibele zuivering vraagt (Van Driezum, van der Aa, et al., 2020). Voor zuivering kan bijvoorbeeld geavanceerde oxidatie worden gebruikt, in combinatie met omgekeerde osmose (zie 3.2.4). Bij RWZI-effluent is de microbiologische veiligheid eveneens een punt van aandacht.

Conventionele bronnen vragen in principe een eenvoudigere zuivering dan onconventionele. De zuiveringsinspanning voor bijvoorbeeld oud, diep grondwater is nog altijd gering, omdat dit water nog steeds vrij is van antropogene invloeden (4.2). Voor oppervlaktewater was van

oudsher al meer zuivering nodig dan voor grondwater, en wordt er op enkele plekken al membraanfiltratie gebruikt om ook organische microverontreinigingen te verwijderen (4.2).

6.2.3 *Energie en kosten*

In deze paragraaf wordt ingegaan op de gevolgen van bronkeuze op kosten en energieverbruik. Verschillen in drinkwatertarieven tussen drinkwaterbedrijven worden primair bepaald door de zuiveringsinspanning en secundair door het gebruik per aansluiting (Vewin, 2013; ILT, 2023b). De zuiveringsinspanning (6.2.2) is daarbij ook direct gekoppeld aan energieverbruik (Tabel 6.1). Hoewel energieverbruik bij normale energieprijzen een kleiner aandeel in de kosten heeft, is het ook een belangrijk duurzaamheidsaspect, en daarom wordt het hier meegenomen.

Eerder onderzoek liet zien dat bij grondwaterwinning ongeveer 50% van de energie voor distributie wordt gebruikt; 30% bij het winnen en slechts 20% voor de zuivering (Van der Schans et al., 2015). Bij andere bronnen zal deze verdeling anders liggen, bijvoorbeeld omdat geavanceerde zuiveringstechnieken nodig zijn. Het energieverbruik zal dan een groter aandeel gaan vormen. Eenvoudige zuiveringsstappen als coagulatie (0,004-0,01 KWh per m³), zwaartekrachtfiltratie (0,005-0,014 KWh per m³) en desinfectie met UV (0,01-0,05 KWh per m³) vragen relatief weinig energie (Martyna et al., 2023). Geavanceerde zuiveringsstappen daarentegen vragen vele malen meer energie. Ultrafiltratie vraagt bijvoorbeeld 0,1-0,2 KWh per m³, omgekeerde osmose vraagt ongeveer 0,6-1,6 KWh per m³ voor brak grondwater (Plappally & Lienhard, 2012) tot wel 3 KWh per m³ voor zeewater (Martyna et al., 2023). Dit verklaart voor een belangrijk deel waarom oppervlaktewaterbedrijven, die vaker geavanceerde zuivering gebruiken, voor de productie tot wel twee keer meer energie (0,6-1 KWh per m³) nodig hebben dan grondwaterbedrijven (0,4-0,5 KWh per m³) (Vewin, 2013).

Een hoger energieverbruik voor zuivering vormt bij normale energieprijzen een relatief klein aandeel van de totale kosten van drinkwaterproductie. De verhoogde zuiveringsinspanning betekent echter ook dat er meer kapitaal nodig is voor aanschaf en onderhoud van de installaties. Zo is de consumentenprijs voor drinkwater uit oppervlaktewater tot wel 80 eurocent per kubieke meter hoger dan die voor drinkwater geproduceerd uit grondwater (ILT, 2023b). Ook voor regenwater wordt een hogere kostprijs verwacht. Regenwater is een bijzondere bron, omdat het water zeer verspreid valt, en in tegenstelling tot de andere bronnen ook nog moet worden verzameld. De aanleg van deze decentrale infrastructuur vraagt een relatief grote investering per gewonnen watervolume. Zuivering van regenwater op kleine schaal leidt dan ook tot investeringskosten die hoger zijn dan die van de huidige bronnen (€60-€110 per m³), en zorgt slechts voor een beperkte milieuwinst (Hofman-Caris, de Waal, et al., 2018).

Bovenstaande analyse laat zien dat bronnen met een hogere zuiveringsinspanning ook hogere kosten en een hoger energieverbruik kennen. Omdat gebruik van alle onconventionele bronnen geavanceerde zuivering vergt, zal dat ook een hogere productieprijzen en

energieverbruik betekenen dan gebruik van conventionele bronnen, welke geen geavanceerde zuiveringsstappen nodig hebben. In toenemende mate is echter te zien dat ook conventionele bronnen - met name oppervlaktewater - geavanceerde zuivering gebruiken (De Waal & Hofman-Caris, 2021). Hierdoor kunnen de voordelen van conventionele bronnen ten opzichte van onconventionele bronnen wegvallen. Naast energie en kosten zijn er nog andere aspecten die belangrijk kunnen zijn voor duurzaamheidsoverwegingen van een bron, zoals de productie van afvalstromen, bijvoorbeeld het resterende concentraat bij membraanfiltratie (6.2.4), en mogelijke ecologische effecten door direct hergebruik van effluent (6.2.5).

6.2.4 *Bestuurlijk-juridische context*

Op het vlak van bestuurlijk-juridische randvoorwaarden komen uit dit onderzoek twee voornamelijk aspecten naar voren, te weten: aanwezigheid van wet- en regelgeving voor het watertype als drinkwaterbron, en vergunningverlening voor de afvoer van concentraatstromen (Tabel 6.1).

De Drinkwaterwet is de belangrijkste raamwet voor de Nederlandse drinkwatervoorziening (Ministerie van I&M, 2009). Hierin worden grondwater, oppervlaktewater en zeewater expliciet als drinkwaterbronnen genoemd. In de drinkwaterregeling zijn specifieke eisen en voorschriften voor de kwaliteit en veiligheid van drinkwater vastgelegd (Ministerie van I&W, 2024b). Er is echter alleen voor grondwater en oppervlaktewater gespecificeerd welke kwaliteitsmonitoring en zuivering nodig is. Gebruik van onconventionele bronnen is daarmee nog niet wettelijk ingekaderd, met uitzondering van brak grondwater. Alhoewel onconventionele bronnen niet expliciet zijn verboden, zijn er daarmee nog geen uitgewerkte regels voor structureel gebruik ervan (Cirkel, 2020). De Drinkwaterwet (art. 22) geeft aan dat het bevoegd gezag het gebruik van andere bronnen middels een Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB) kan verbieden of toestaan. In de praktijk betekent dit dat voor gebruik van onconventionele bronnen een specifieke ontheffing nodig is door het ILT.

Voor structureel gebruik van onconventionele bronnen is het nodig om wettelijke normen en eisen voor risicoanalyse en monitoring op te stellen. Voor sommige onconventionele bronnen is al onderzoek naar benodigde risicoanalyse en monitoringsvereisten uitgevoerd. Zo is er een RIVM-studie naar het gebruik van regenwater geweest (Van Driezum, van der Aa, et al., 2020), maar regenwater als drinkwaterbron is nog niet opgenomen in de Drinkwaterwet. Voor RWZI-effluent wordt de benodigde monitoring momenteel onderzocht in het project *De Ultieme Waterfabriek* (zie 3.2.3). Ook voor het gebruik van waterstof als bron voor drinkwater is nog ontwikkeling nodig. Brak grondwater, hoewel onconventioneel, is relatief eenvoudig toepasbaar, omdat dit onder grondwater valt en er dus reeds een juridisch kader voor bestaat. Zeewater wordt expliciet genoemd als bron in de Drinkwaterwet, maar niet in de Drinkwaterregeling. Hiermee is voor zeewater nog niet vastgelegd welke meetfrequenties moeten worden gehanteerd, en welke parameters bij monitoring moeten worden meegenomen.

Bij drinkwaterproductie met membraanfiltratie kan de afvoer van concentraatstromen een knelpunt zijn. Afvoer kan onder meer plaatsvinden door injectie in de ondergrond of lozing op zee en oppervlaktewater (Dunea, 2023). Omdat lozing van het brijn ecologische effecten op het ontvangende waterlichaam kan hebben, is een lozingsvergunning nodig. Indien er geen lozingsvergunning kan worden verstrekt, betekent dit dan ook dat een bron niet kan worden benut. De drinkwatersector is daarom op zoek naar oplossingen voor deze reststroom. Zo wordt gekeken naar selectieve verwijdering van probleemstoffen in concentraatstromen (zie paragraaf 4.4). Concentraatstromen worden met name geproduceerd bij onconventionele bronnen, maar membraanfiltratie wordt inmiddels ook al toegepast bij enkele oppervlaktewaterwinning om organische microverontreinigingen te verwijderen (paragraaf 4.2.2).

6.2.5 *Regionale beschikbaarheid en omgevingseffecten*

Drinkwatervoorziening vindt regionaal plaats, maar niet alle soorten bronnen zijn regionaal beschikbaar. Ook kan winning leiden tot negatieve omgevingseffecten, waardoor deze niet in alle regionale situaties toepasbaar zijn. Deze twee aspecten worden hier behandeld en verkend (Tabel 6.1).

Zoet grondwater is in grote delen van Noord-, Oost- en Zuid-Nederland te vinden. Toch zijn er bepaalde gebieden, zoals Oost-Overijssel, waar ook de grondwaterkwantiteit beperkend kan zijn (Van der Aa et al., 2015). Bovendien kunnen bij grondwaterwinning negatieve effecten op de natuur optreden, waardoor vergunning in gevaar kunnen komen of niet verstrekt worden (Van Loon et al., 2024). In het verkennende rapport *Bouwstenen voor een actieprogramma beschikbaarheid Drinkwaterbronnen 2023-2030* wordt de juridische afweging tussen natuur en drinkwaterwinning uitdrukkelijk genoemd als een knelpunt voor de verhoging van de productiecapaciteit voor 2030 (Ministerie van I&W, 2024a). Net als bij zoet grondwater kunnen bij de winning van brak grondwater ook negatieve omgevingseffecten plaatsvinden, zoals het risico op bodemdaling en eventuele natuurschade. Er is daarnaast echter ook een positief omgevingseffect van winning, omdat die verzilting door zoute kwel tegengaat (3.2.1).

Oppervlaktewaterbedrijven onttrekken slechts een relatief klein gedeelte van de afvoer van de grote rivieren. Verhoging van winning zal dan ook maar beperkte omgevingseffecten met zich meebrengen. In veel gevallen hebben oppervlaktewaterwinningen ook geen winningsplafond, wat uitbreiding relatief makkelijk maakt. Bij regionaal oppervlaktewater is dit anders, en daar hebben zich wel al beperkingen door kwantiteit voorgedaan (Wuijts et al., 2013; Van Leerdam et al., 2023). Bovendien is gebruik van (regionaal) oppervlaktewater ook niet in alle delen van Nederland mogelijk. Op hoge zandgronden is oppervlaktewater bijvoorbeeld maar beperkt aanwezig (Klimaat-effectatlas, 2024).

Regenwater is overal in Nederland beschikbaar en winbaar, bijvoorbeeld door het vanaf daken op te vangen. Als het water direct kan worden gebruikt, worden geen negatieve omgevingseffecten verwacht. Ook RWZI's zijn over heel Nederland verspreid te vinden, wat hun effluent in alle regio's tot een potentiële aanvullende bron maakt. Wel speelt dat

regionale waterlopen bij direct hergebruik van RWZI-effluent minder water zouden kunnen krijgen, met mogelijk negatieve effecten voor de ecologie als gevolg (Krajenbrink et al., 2021). Omdat direct hergebruik nog nauwelijks wordt toegepast, is er nog weinig ervaring met beoordeling hiervan bij vergunningverlening. Negatieve omgevingseffecten zullen minder waarschijnlijk zijn voor RWZI's die effluent lozen op de grotere rijkswateren. Zonder grootschalig transport is zeewater alleen langs de kust beschikbaar. Winning van zeewater leidt naar verwachting niet tot significante omgevingseffecten. Waterstofproductie zal alleen bij grootschalige industrie plaatsvinden. Naar alle waarschijnlijkheid gaat het zelfs dan om een relatief kleine waterstroom van enkele miljoenen m³ (Folmer et al., 2024).

De ruimtelijke spreiding van bronnen verschilt, maar in alle leveringsgebieden zijn onconventionele en conventionele bronnen beschikbaar. Omgevingseffecten spelen bij RWZI-effluent, grondwater en kleiner oppervlaktewater een belangrijke rol, maar dit is sterk casusafhankelijk. Voor regenwater, zeewater en grote rivieren zijn de omgevingseffecten waarschijnlijk het kleinst.

6.2.6 *Maatschappelijke acceptatie*

Nederlands drinkwater is gezond, veilig en betrouwbaar (ILT, 2023a), en de klanttevredenheid is hoog (ILT, 2023b; Vewin, 2023). Voor drinkwaterbedrijven is het belangrijk dat dit zo blijft. Bij de introductie van nieuwe bronnen is de perceptie van burgers van groot belang: zij moeten het als veilig drinkwater accepteren (Barendse et al., 2023; Sikkema & Brouwer, 2024). De maatschappelijke acceptatie van met name nieuwe bronnen kan verschillen, wat gevolgen kan hebben voor de bereidheid tot inzet.

Conventionele bronnen zijn vertrouwd voor de Nederlandse burger, en zoals gezegd is de klanttevredenheid hoog. Voor nieuwe bronnen zou de maatschappelijke acceptatie wellicht anders kunnen zijn (Tabel 6.1), bijvoorbeeld door veranderingen in geur, kleur of smaak. In Nederland worden nu geen onconventionele bronnen gebruikt voor drinkwaterproductie. Er is bovendien nog weinig onderzoek gedaan naar maatschappelijke acceptatie in de Nederlandse situatie (Stofberg et al., 2019; Barendse et al., 2023). In landen waar onconventionele bronnen al langer worden gebruikt, is hier wel al onderzoek naar gedaan. Hieruit bleek dat consumenten moeite kunnen hebben met water uit nieuwe bronnen (Vazquez-Casaubon & Cauberghe, 2024). Dit geldt voor de meeste onconventionele bronnen, en met name bij direct hergebruik van RWZI-effluent Fielding et al. (2015). Onderzoek laat wel zien dat onconventionele bronnen eenvoudiger worden geaccepteerd bij laagwaardig gebruik, zoals het doen van de was of voor toiletspoeling (Snelling et al., 2024; Vazquez-Casaubon & Cauberghe, 2024).

Direct hergebruik van RWZI-effluent als drinkwaterbron komt vaker ter sprake, maar de maatschappelijke acceptatie in Nederland is nog onbekend. Daarom wordt dit nu ook in Nederland onderzocht, bijvoorbeeld in het kader van het project *De Ultieme Waterfabriek* (STOWA, 2023), zie ook paragraaf 3.2.3. De resultaten hiervan moeten nog worden gepresenteerd, maar lijken overwegend positief te zijn (Symposium Ultieme Waterfabriek, november 2024). In eerder Europees

onderzoek (Smith et al., 2021) werd in Nederland door 751 respondenten gemiddeld een 7,5/10 gegeven (standaard deviatie van 2,3) op de bereidheid om gezuiverd RWZI-effluent te drinken. Dit is aanmerkelijk hoger dan in een Australische studie, waarin 1.262 respondenten een gemiddeld cijfer van 5,7/10 (standaard deviatie van 3,1) gaven (Fielding et al., 2015). Ook andere studies rapporteren tot dusver lagere acceptatiegraden dan initiële Nederlandse studies. In een andere Australische studie was het percentage respondenten dat bereid is gezuiverd afvalwater te drinken 36% (Dolnicar et al., 2011), en in België was dit slechts 5% (Vazquez-Casaubon & Cauberghe, 2024).

Mogelijk negatieve reacties worden in de internationale literatuur vooral toegeschreven aan emotionele associaties met afvalwater, die walging kunnen oproepen (Leong & Lebel, 2020). Een sterk negatieve publieke perceptie, met daaropvolgende publieke weerstand, heeft in Australië al eens geleid tot het staken van een RWZI-project (Hurlimann & Dolnicar, 2010). Daar tegenover staan ook veel geslaagde voorbeelden van projecten waarbij RWZI-effluent als drinkwaterbron wordt gebruikt, zoals in Zuid-Afrika, Californië, Australië en Singapore (Tortajada, 2020).

Voor de andere onconventionele bronnen wordt een hogere acceptatie gerapporteerd dan voor RWZI-effluent (Fielding et al., 2015; Vazquez-Casaubon & Cauberghe, 2024). Toch kan ook daarvoor de acceptatie lager zijn dan voor de huidige bronnen. Dunea vermoedt dat dit ook het geval is voor brak grondwater en zeewater (Dunea, 2023). Dit kan bijvoorbeeld zijn vanwege veranderingen in geur, kleur en smaak. Daarnaast spelen ook duurzaamheidsaspecten een rol bij acceptatie. Gebruik van zeewater kan bijvoorbeeld worden gezien als klimaatonvriendelijk, omdat de zuivering meer energie vraagt dan die van sommige andere bronnen (Dolnicar & Schäfer, 2009). Ook voor regenwater ligt de acceptatie waarschijnlijk anders dan voor conventionele bronnen.

Naast de acceptatie van onconventionele bronnen, wordt ook onderzocht hoe negatieve percepties kunnen worden verminderd en gekeken naar strategieën om het gebruik van een bron te 'legitimeren'. Sikkema en Barendse (2023) geven aan dat legitimatie van drinkwaterbronnen plaatsvindt op verschillende niveaus, die elkaar kunnen beïnvloeden. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen pragmatisch (voordelen van de bron voor de gebruiker), normatief (voldoet de bron aan de eisen van de consument), cognitief (in hoeverre past de bron bij bestaande culturele opvattingen) en regulatief (voldoet de bron aan wet-en-regelgeving). Door op deze thema's strategieën te ontwikkelen, zou maatschappelijke acceptatie kunnen worden verhoogd. In het algemeen kan worden gesteld dat maatschappelijke acceptatie van onconventionele bronnen meer aandacht vraagt dan bij de vertrouwde conventionele bronnen.

6.2.7 *Bedrijfsspecifieke afwegingen*

De daadwerkelijke doelmatigheid en toepasbaarheid van de diverse opties wordt op een cruciale manier bepaald door lokale en bedrijfsspecifieke omstandigheden. Op basis van NRD's en MER's zijn de volgende factoren geïdentificeerd: (1) de realisatietijd van opties ten

opzichte van de capaciteitsopgave in de tijd, (2) de inpasbaarheid in bestaande infrastructuur en (3) de historisch opgebouwde expertise van de specifieke drinkwaterbedrijven en de bestuurlijke context waarin ze opereren.

Realisatietijd ten opzichte van de capaciteitsopgave

De verschillende drinkwaterbedrijven hebben verschillende capaciteitsopgaven. Zo moeten sommige drinkwaterbedrijven de productiecapaciteit vrijwel direct verhogen, en andere pas na 2030 (Van Leerdam et al., 2023). Afhankelijk van verschillen in krapte zullen verschillende drinkwaterbedrijven een andere behoefte hebben aan oplossingen op korte-, middellange- en lange termijn. De realisatietijd van een bron kan daarom sturend zijn in keuzes. Zo lijkt Dunea voor de korte termijn regionaal oppervlaktewater te overwegen, omdat het proces voor ruimtelijke inpassing van een nieuw leidingtracé naar rijkswateren complex is en lang duurt (Dunea, 2023). Voor de langere termijn worden alsnog andere, complexere oplossingen onderzocht. Waterbedrijf Groningen, welke al krapte ondervindt, is nu bezig om onconventionele bronnen te ontwikkelen en in te zetten voor industriewater, waardoor productiecapaciteit voor drinkwater vrijkomt.

Inpasbaarheid in bestaande infrastructuur

Nederlandse drinkwaterbedrijven beheren geografisch uiteenlopende gebieden, en kennen een sterk verschillende bedrijfsconfiguratie. Aanleg van nieuwe productielocaties en de bijbehorende leidingnetwerken vraagt significante investeringen. Het heeft dan ook de voorkeur dat nieuwe bronnen (deels) van de bestaande infrastructuur gebruikmaken. Oppervlaktewaterbedrijven zitten dicht bij de kust en rivieren, en de aanwezigheid van zeewater en brak en zout grondwater betekent dat deze bronnen in het westen van het land logische opties zouden kunnen zijn, maar in het oosten en zuiden minder. Beschikbaarheid van RWZI-effluent is relatief evenredig verdeeld over Nederland. Bovendien is juist in de gebieden waar veel mensen wonen meer afvalwater beschikbaar. In geval van regenwater als drinkwaterbron is het nog onduidelijk wat de rol van drinkwaterbedrijven zal zijn. Zo is het nog onzeker in hoeverre regenwater lokaal zal worden geadopteerd, omdat decentrale zuivering tot drinkwaterkwaliteit kostbaar is (Hofman-Caris, de Waal, et al., 2018) en om uitgebreide kwaliteitscontroles vraagt (Van Driezum, van der Aa, et al., 2020). Op dit moment zijn drinkwaterbedrijven wel betrokken bij regenwaterpilots (3.2.4).

Historisch-opgebouwde expertise en bestuurlijke context

Drinkwaterbedrijven bogen op een grondige, historisch opgebouwde geohydrologische kennis van hun verzorgingsgebieden. Bij locatiekeuze en vergunningsaanvragen maken zij dan ook gebruik van reeds gedane vooronderzoeken. Een NRD van Vitens refereert bijvoorbeeld aan hydrologische onderzoeken uit respectievelijk 1992, 1997 en 2008 (Vitens, 2018). Bestaand onderzoek is belangrijk om een goede inschatting van bijvoorbeeld negatieve omgevingseffecten te kunnen maken. Bovendien heeft er vaak al langdurig contact met provincies plaatsgevonden voor er daadwerkelijk een vergunningsaanvraag wordt gedaan (Van der Velden et al., 2019). Het traject van bronkeuze, ontwerp en vergunningverlening duurt vaak 10 tot 20 jaar. Keuze voor onconventionele bronnen kan dan ook betekenen dat er nieuwe

expertise moet worden opgebouwd en nieuwe samenwerkingsverbanden moeten worden begonnen. Traditioneel zijn de partners van drinkwaterbedrijven vooral Rijkswaterstaat (vooral oppervlaktewaterbedrijven) en provincies (vooral grondwaterbedrijven). Bij een overstap op RWZI-effluent of regionaal oppervlaktewater zullen bijvoorbeeld ook gemeenten en waterschappen moeten worden betrokken. Het kost tijd om deze nieuwe samenwerkingsverbanden vorm te geven, en dat zou afhankelijk van de realisatietijd ten opzichte van de capaciteitsopgave een belemmering voor het gebruik van deze bronnen kunnen vormen.

Ook provinciaal beleid kan opties beïnvloeden, zoals de termijn en voorwaarden waaronder provincies het gebruik van ASV's toestaan. In Brabant dienen ASV's in het huidige provinciale beleid bijvoorbeeld enkel om bestaande winningen te vervangen, indien nodig. Brabant Water kan een groei in de drinkwatervraag dus niet opvangen met meer zoet grondwater, en onderzoekt daarom ook het gebruik van zeewater. In andere provincies daarentegen lopen al processen om nieuwe grondwaterwinningen te ontwikkelen. Door zulke verschillen tussen provincies kunnen drinkwaterbedrijven in verschillende gebieden tot andere bronkeuzes komen.

6.3 Deelconclusies

Mogelijke voor- en nadelen bij de keuze voor verschillende conventionele en onconventionele drinkwaterbronnen zijn in beeld gebracht aan de hand van de criteria robuustheid, zuiveringsinspanning, energie en kosten, bestuurlijk-juridische complexiteit, ruimtelijke inpasbaarheid en maatschappelijke acceptatie. Hieronder staan de belangrijkste inzichten die dit oplevert.

Onconventionele bronnen zijn vergelijkbaar in kwantiteit en toekomstbestendigheid.

Beschouwing op basis van genoemde criteria toont dat onconventionele bronnen met name op het vlak van kwantiteit en toekomstbestendigheid vergelijkbaar zijn met conventionele bronnen. Uitzonderingen hier op zijn regenwater, waarvan tegen hoge kosten relatief weinig kan worden opgevangen en gezuiverd, waterstof, waarvan hoogstens enkele miljoenen m³ beschikbaar lijken te komen, en brak grondwater.

Onconventionele bronnen scoren met name laag op kwaliteit.

De kwaliteit van de onconventionele bronnen is veelal slechter dan die van de conventionele bronnen. Slechtere kwaliteit leidt per definitie ook tot een hogere zuiveringsinspanning, meer energieverbruik en hogere kosten.

Juridische en maatschappelijke aandachtspunten bij onconventionele bronnen.

De onconventionele bronnen zijn nog geen onderdeel van de drinkwaterwetgeving. Er zijn dan ook nog geen standaardeisen voor risicoanalyse en monitoring. Gebruik van onconventionele drinkwaterbronnen vraagt nu dus om een specifieke ontheffing per toepassing. Ook het benodigde gebruik van membraanfiltratie betekent dat er bij zuivering een vergunningsplichtige reststroom ontstaat. De

maatschappelijke acceptatie in Nederland van onconventionele bronnen is nog niet uitgebreid onderzocht.

Operationele voordelen conventionele bronnen afhankelijk van behoud kwaliteit.

Conventionele bronnen hebben vaak een betere kwaliteit dan onconventionele bronnen. Hierdoor zijn ook zuiveringsinspanning, energie en kosten in veel gevallen hoger. Bovendien betekent toepassing van omgekeerde osmose dat tussen de 10% en 30% van de invoerstroom verloren gaat. Inzet op bronbescherming is belangrijk om deze operationele voordelen van conventionele bronnen ten opzichte van onconventionele bronnen te behouden.

Lokale en bedrijfsspecifieke afwegingen doorslaggevend.

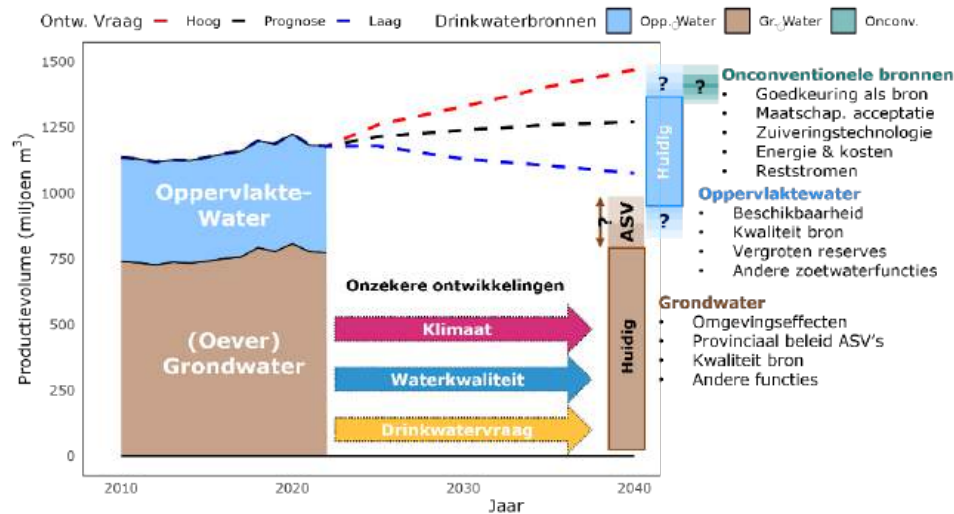
De lokale geografische en bestuurlijke context waarin een drinkwaterbedrijf opereert, is vaak van grote invloed voor de toepasbaarheid van een bron. Hierbij zijn de volgende drie factoren van belang: (1) realisatietijd ten opzichte van capaciteitsopgave in de tijd, (2) inpasbaarheid in bestaande infrastructuur en (3) historisch opgebouwde expertise en de bestuurlijke context waarin de specifieke drinkwaterbedrijven opereren.

7 Synthese en aanbevelingen

7.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de hoofdconclusies voor de toekomstige inzet van drinkwaterbronnen en zuiveringstechnologie (paragraaf 7.2-7.3) en de aandachtspunten bij verschillende bronnen op het vlak van duurzaamheid, kosten en toepasbaarheid (paragraaf 7.4).

Uit deze studie en de in het kader van dit project georganiseerde workshop (Bijlage 3) blijkt dat de inzet van de bronnen voor drinkwater in hoge mate afhankelijk is van onzekere ontwikkelingen op het vlak van de drinkwatervraag, techniek, klimaat, bronkwaliteit en beleid (paragraaf 7.5). De relatie tussen vraag, onzekerheden en de beschikbare bronnen is schematisch samengevat in Figuur 7.1. Op basis hiervan worden aanbevelingen gedaan voor kennisontwikkeling en aandachtspunten voor beleid (paragraaf 7.6).



Figuur 7.1 Overzichtsfiguur voor ontwikkeling drinkwatervraag en bijbehorende inzet van bronnen voor drinkwater. De pijlen geven macro-ontwikkelingen aan die waterbeschikbaarheid van bronnen beïnvloeden. De belangrijkste aandachtspunten voor de inzet van specifieke bronnen worden puntsgewijs weergegeven. Lichte, gearceerde gebieden met vraagtekens geven onzekerheden in de inzet van specifieke bronnen weer. Prognoses drinkwatervraag gebaseerd op Baggelaar et al. (2022). Brongebruik van 2010 tot 2022 uit CLO (2024).

7.2 Ontwikkeling inzet drinkwaterbronnen

Conventionele bronnen blijven de komende 20 à 30 jaar de belangrijkste bron.

Conventionele bronnen (zoet grond- en oppervlaktewater) blijven in alle provincies de komende 20 à 30 jaar waarschijnlijk de belangrijkste drinkwaterbron. Dit heeft een aantal voor de hand liggende redenen: conventionele bronnen zijn al vergund, de bijbehorende investeringen zijn al gedaan en de kwaliteit van conventionele bronnen is met name voor grondwater in het algemeen nog goed, waardoor de bijbehorende

zuiveringsinspanning relatief laag is. Daarbij wordt ook inzet van nieuwe conventionele bronnen onderzocht, zoals de aanvullende strategische voorraden (ASV's). Hoewel niet elke provincie ASV's heeft aangewezen, kunnen deze bronnen - indien winbaar - voorzien in een gedeelte van de benodigde groei in productiecapaciteit. In sommige regio's speelt wel dat vanwege een disbalans tussen onttrekking en aanvulling, grondwater niet altijd meer de preferente bron is. Veel traditionele grondwaterbedrijven overwegen daarom ook de inzet van oppervlaktewater.

Andere inzet van drinkwaterbronnen om (klimaat)robuuster te kunnen leveren.

Drinkwaterbedrijven zien klimaatrisico's, met name langdurige zomerdroogte, als een belangrijke risicofactor voor de levering van voldoende drinkwater. Drinkwaterbedrijven onderzoeken daarom naast uitbreiding ook of ze bronnen anders kunnen gaan gebruiken. Dat kan bijvoorbeeld door ondergronds, in bekkens en in duinen reserves aan te leggen of uit te breiden, of door de grondwateraanvulling middels kunstmatige infiltratie te verhogen. Meerdere drinkwaterbedrijven ontwikkelen een zogeheten multibronnenstrategie, waarbij afhankelijk van beschikbaarheid en kwaliteit tussen meerdere bronnen kan worden geschakeld.

Onconventionele bronnen komende 20 à 30 jaar waarschijnlijk beperkt ingezet voor de drinkwatervoorziening.

Enkele drinkwaterbedrijven zetten nu al zakelijke gebruikers over op water uit onconventionele bronnen. Hoewel het technisch goed mogelijk is hieruit ook drinkwater te maken, is het aantal plannen hiervoor relatief beperkt. Op basis van de huidige initiatieven zal het aandeel onconventioneel naar verwachting ongeveer 5% van de productie gaan bedragen in de periode tot 2050. Onconventionele bronnen zullen daarom hoogstens een gedeelte van de benodigde groei opvangen. Hiervoor zijn meerdere redenen: er zijn nog aanvullende conventionele bronnen beschikbaar, er is een specifieke ontheffing nodig om onconventionele bronnen te gebruiken (behalve voor brak grondwater), de zuiveringsinspanning is hoger en de maatschappelijke acceptatie is nog een aandachtspunt.

Brak grondwater als onconventionele drinkwaterbron dichtst bij toepassing.

Pilotprojecten met brak grondwater zijn momenteel het verst in ontwikkeling. Zeewater en RWZI-effluent zijn vanwege het ontbreken van een juridisch raamwerk, nadelen op het vlak van zuiveringsinspanning en een mogelijk andere maatschappelijke acceptatie opties voor de langere termijn. De hoeveelheid water die in de waterstofindustrie zal vrijkomen, lijkt te beperkt te zijn om een significante bijdrage aan de drinkwatervoorziening te leveren. Regenwater als drinkwaterbron wordt vooral toegepast bij lokale, kleinschalige initiatieven; alleen bij brede implementatie zou het substantieel kunnen bijdragen aan de drinkwatervoorziening.

Inzet onconventionele en conventionele bronnen zal afhankelijk van de regionale situatie verschillen.

Conventionele bronnen hebben in het algemeen de voorkeur van drinkwaterbedrijven. De beschikbaarheid ervan kan regionaal echter laag zijn. Ook speelt provinciaal beleid op het gebied van waterbeschikbaarheid een rol. Bij regionale krapte kan een relatief groter aandeel aan onconventionele bronnen worden ontwikkeld. Ook de beschikbaarheid van onconventionele bronnen verschilt echter regionaal. Zo zijn zeewater en brak en zout grondwater vooral een optie langs de kust, en is opgevangen regenwater dat vooral in bebouwd gebied.

7.3 Ontwikkeling in de zuiveringstechnologie

Drinkwaterbedrijven zullen op de lange termijn meer geavanceerde zuivering toepassen.

De meeste drinkwaterbedrijven denken bij de huidige inzet op bronaanpak en waterkwaliteitsverbetering in de toekomst vaker een vorm van geavanceerdere zuivering te moeten toepassen om schoon en veilig drinkwater te kunnen produceren. Zorgen over de kwaliteit van de bronnen, en dan met over name de toenemende hoeveelheid organische microverontreinigingen, zoals bijvoorbeeld PFAS, zijn daar de oorzaak van. Met actief koolfiltratie en omgekeerde osmose kunnen deze verontreinigingen grotendeels worden verwijderd, maar met klassieke zuivering niet of zeer beperkt. Deze ontwikkeling is strijdig met de doelstelling uit de KRW om schonere bronnen te realiseren en de zuiveringsinspanning te verlagen. De kosten van drinkwater zullen hierdoor stijgen. Toepassing van geavanceerde technieken wordt gestuurd door de bronkwaliteit. Indien in de toekomst meer gebruik gaat worden gemaakt van onconventionele bronnen, is ook meer geavanceerde zuivering voor de bereiding van schoon en veilig drinkwater nodig. De productieverliezen die gepaard gaan met membraanfiltratie betekenen ook een grotere druk op de beschikbare bronnen.

Veelbelovende, nieuwe technologieën in ontwikkeling, maar nog niet volledig gebruiksklaar.

Naast de geavanceerde zuiveringstechnieken die al worden toegepast, zijn er ook nieuwe technologieën in ontwikkeling. Deze hebben een ander zuiverings- en werkingsmechanisme. Dit kan voordelen opleveren, zoals verwijdering van specifieke probleemstoffen, vermindering van de reststroom of verlaging van zuiveringskosten. Drinkwaterbedrijven zullen nieuwe technieken pas inzetten als ze bewezen technieken zijn geworden. Voor de meeste van deze technieken is dat nu nog niet het geval. De ontwikkeling van een nieuwe innovatieve technologie tot een operationeel bewezen techniek is een langdurig proces, dat wel zo'n twintig jaar kan duren.

7.4 Aandachtspunten voor inzet van (toekomstige) drinkwaterbronnen

Aandachtspunten die een rol spelen bij keuzes voor verschillende conventionele en onconventionele drinkwaterbronnen zijn in beeld gebracht aan de hand van de volgende criteria: robuustheid van de bron, zuiveringsinspanning, kosten, bestuurlijk-juridische complexiteit,

omgevingseffecten en maatschappelijke acceptatie. Hieronder volgen de belangrijkste conclusies.

Conventionele en onconventionele bronnen verschillen in zuiveringsinspanning.

Wat betreft continuïteit, toekomstbestendigheid en omgevingseffecten zijn conventionele bronnen vergelijkbaar met onconventionele bronnen. Dit geldt niet voor kwaliteit, waar conventionele bronnen in het algemeen beter scoren. Om onconventionele bronnen op te werken tot drinkwaterkwaliteit is vaak een hogere zuiveringsinspanning nodig, met negatieve gevolgen voor energieverbruik, kosten en duurzaamheid. Bovendien gaat bij toepassing van omgekeerde osmose 20-25% van het ingenomen water verloren als concentraatstroom. Voor enkele oppervlaktewaterbronnen en sommige grondwaterbronnen wordt nu ook al geavanceerdere zuivering gebruikt, maar dit is met name voor grondwaterbronnen nog relatief gering.

Realisatietijd voor onconventionele bronnen vaak relatief lang door ontbreken juridisch raamwerk, productie reststromen en acceptatie.

Uit dit onderzoek komen aandachtspunten naar voren die de introductie van onconventionele drinkwaterbronnen beïnvloeden. Zo zijn onconventionele bronnen nog niet structureel opgenomen in de Drinkwaterwet en de Drinkwaterregeling. Dit maakt het onduidelijk welke vereisten er zijn voor risicoanalyse en monitoring. Voor gebruik is er dan ook een ontheffing van het ILT nodig. Daarnaast is voor de zuivering vrijwel altijd omgekeerde osmose nodig, waarbij concentraat ontstaat dat niet zonder vergunning mag worden geloosd. Concentraat kan namelijk negatieve effecten hebben op het ontvangende waterlichaam. Bovendien zijn de drinkwaterbedrijven voorzichtig met het introduceren van nieuwe bronnen omdat de consumentenacceptatie anders kan liggen. Bijvoorbeeld omdat geur en smaak anders zijn, maar ook omdat bronnen als niet-duurzaam kunnen worden beschouwd of omdat men het drinken van bijvoorbeeld gezuiverd RWZI-effluent een 'vies idee' vindt. Dit alles maakt dat de introductie van onconventionele bronnen voor consumenten vaak een relatief lange realisatietijd kent.

Regionale en bedrijfsspecifieke factoren zijn doorslaggevend in keuzes.

Afhankelijk van de gebruikte bron voor drinkwater zijn er in dit onderzoek verschillende voor- en nadelen geïdentificeerd. Er zijn echter regionale en bedrijfsspecifieke factoren die bij de uiteindelijke keuzes van drinkwaterbedrijven vaak de doorslag geven. De volgende zijn geïdentificeerd: (1) realisatietijd ten opzichte van capaciteitsopgave in de tijd, (2) inpasbaarheid in bestaande infrastructuur en (3) historisch-opgebouwde expertise van de drinkwaterbedrijven en de bestuurlijke context waar in zij opereren.

7.5 Onzekerheden voor de ontwikkeling van de drinkwaterbronnen

In dit onderzoek zijn enkele onzekere toekomstige ontwikkelingen geïdentificeerd op de vlakken van klimaatverandering, drinkwatervraag en kwaliteit van de bronnen. Dit beïnvloedt de inzet van nieuwe drinkwaterbronnen.

Ontwikkeling drinkwatervraag bepaalt grootte van de opgave.

Het meest waarschijnlijke scenario voor de drinkwatervraag gaat uit van een significante toename in de komende tientallen jaren. Er wordt momenteel echter beleid ontwikkeld om de drinkwatervraag te verminderen, en ook kan de bevolkingsontwikkeling anders uitpakken dan verwacht. De onzekerheidsmarge hierin kan betekenen dat de opgave uiteindelijk groter of kleiner blijkt te zijn. De scenariostudie van Baggelaar et al. (2022) geeft aan dat de drinkwatervraag in 2040 maximaal 1.470 miljoen m³ per jaar is in het hoogste drinkwatervraagscenario, en 1.076 miljoen m³ per jaar in het laagste scenario (Figuur 7.1). Oftewel, de uitersten in de potentiële drinkwatervraag in 2040 kunnen maximaal 400 miljoen m³ per jaar uit elkaar liggen. De ontwikkeling van de drinkwatervraag heeft daarmee grote consequenties voor de hoeveelheid daadwerkelijk te ontwikkelen nieuwe drinkwaterbronnen. De prognose - het meest waarschijnlijke scenario - gaat uit van een verhoging van de drinkwatervraag van ongeveer 1.159 miljoen m³ per jaar in 2021 naar 1.272 miljoen m³ per jaar in 2040.

Beschikbaarheid conventionele bronnen beïnvloed door klimaatverandering.

Er zijn nu al klimaatrisico's voor grondwater en oppervlaktewater. Het gaat dan met name om lage grondwaterstanden en verslechterde oppervlaktewaterkwaliteit. Richting 2050 zullen deze en nieuwe klimaatrisico's waarschijnlijk frequenter voorkomen, met grotere gevolgen voor de waterbeschikbaarheid. Hoewel het beleid van overheden inzet op klimaatadaptatie, is nog niet duidelijk hoeveel van de klimaatrisico's daadwerkelijk gemitigeerd gaan worden. Verder is er per definitie onzekerheid in klimaatscenario's. Gevolgen voor de waterbeschikbaarheid kunnen dan ook uiteindelijk anders uitpakken dan gedacht. Deze zijn namelijk mede afhankelijk van de mate waarin het klimaat verandert, het (wereldwijd) gevoerde beleid en de implementatie en effectiviteit van klimaatadaptatieve maatregelen.

Mogelijke verslechtering kwaliteit conventionele bronnen kan voordelen tenietdoen.

Voor bereiding van drinkwater uit conventionele bronnen, met name grondwater, zijn nu meestal geen geavanceerde zuiveringstechnieken nodig. Echter, een toename van opkomende stoffen en organische microverontreinigingen kan een reden zijn waarom de zuiveringsinspanning moet worden verhoogd. Deze verontreinigingen worden nu al gevonden in de meetnetten, en er zijn zorgen dat ze in toenemende mate in het ruwe grond- en oppervlaktewater gevonden zullen gaan worden (Van Loon et al., 2020; Negash & Swartjes, 2021; Wintersen et al., 2021). Door de kwaliteit van de bronnen goed te houden, blijven ook de milieu-impact en de kosten van drinkwaterproductie lager. Bovendien betekent toepassing van membraanfiltratie dat 20-25% van het gewonnen water verloren gaat als concentraatstroom. De lozing daarvan is vergunningsplichtig, wat de mogelijkheid voor opzuivering kan beperken. Als de kwaliteit van de conventionele bronnen verslechtert, vallen daarmee belangrijke operationele voordelen ten opzichte van onconventionele bronnen weg en worden doelen uit de KRW niet gehaald.

7.6 Aanbevelingen

De toekomstige inzet van drinkwaterbronnen is meer dan ooit afhankelijk van ontwikkelingen die onzeker zijn. Het is daarom belangrijk om ruimte te houden voor verschillende oplossingsrichtingen. Dit maakt de drinkwatervoorziening flexibeler als zich onverwachte omstandigheden voordoen. De volgende aanbevelingen dragen hieraan bij.

7.6.1 Kennisontwikkeling drinkwatervraag en beschikbaarheid bronnen

- Onderzoek wat de benodigde toekomstige inzet van drinkwaterbronnen kan zijn bij combinaties van scenario's op de gebieden van klimaat, drinkwatervraag en beleid. Houd hierbij ook rekening met kantelpunten en complexe risico's die het (drink)watersysteem onverwachts sterk kunnen veranderen.
- Onderzoek op landelijk niveau in hoeverre de balans tussen drinkwatervraag en -aanbod is te verbeteren door reserves uit te breiden, meerdere bronnen flexibel in te zetten en water vast te houden (via infiltratie en ondergrondse opslag). Onderzoek ook wat de meerwaarde voor de drinkwatervoorziening kan zijn van een verdere ontwikkeling van de supraregionale drinkwaterinfrastructuur.
- Stimuleer nationale kennisontwikkeling en samenwerking tussen drinkwaterbedrijven en andere partners die betrokken zijn bij het ontwikkelen van onconventionele drinkwaterbronnen. Dit betreft bijvoorbeeld onderzoeks-, innovatie- en implementatietrajecten op thema's als bronkeuze, zuiveringstechnologie en drinkwaterinfrastructuur, maar ook maatschappelijke acceptatie. De inzet van onconventionele bronnen vergt daarnaast nieuwe manieren van werken en samenwerking met andere partners.

7.6.2 Beleidsmatige aandachtspunten

- Er is reeds een *Nationaal plan van aanpak drinkwaterbesparing* opgesteld, met maatregelen die zijn gericht op consumentengedrag, de inrichting van huizen, zakelijk gebruik en de industrie. Houd de voortgang en effectiviteit van deze maatregelen de komende jaren nauwlettend in de gaten. De ontwikkeling van de drinkwatervraag heeft namelijk grote consequenties voor de hoeveelheid daadwerkelijk te ontwikkelen nieuwe drinkwaterbronnen.
- Blijf nadrukkelijk inzetten op verbetering van de waterkwaliteit van de bronnen voor drinkwater in het kader van de uitvoeringsprogramma's van de gebiedsdossiers, en versterk de inzet van maatregelen die emissies vanuit de industrie, landbouw en huishoudens naar het watersysteem aantoonbaar reduceren (As et al., 2024). Goede bescherming van bronnen draagt bij aan het behoud en de kwaliteitsverbetering van conventionele bronnen in de toekomst.
- Onderzoek wat nodig is om bestuurlijk-juridisch te borgen dat onconventionele bronnen op een veilige manier kunnen worden ingezet. Geef hierbij specifieke aandacht aan risicoanalyse en monitoringsvereisten. Kijk onder welke voorwaarden concentraat dat geproduceerd bij membraanfiltratie op verantwoorde wijze kan worden behandeld of afgevoerd, zodat dit de inzet van deze

drinkwaterzuiveringstechniek zo min mogelijk in de weg staat. Dit kan ook in de vorm van proefprojecten, zodat hiermee de komende jaren ervaring kan worden opgedaan.

- Onderzoek wat de ruimtelijke keuzes en acties van het Nationaal Deltaprogramma zoetwater en de Nationale Adaptatie Strategie betekenen voor de robuustheid van het (drink)watersysteem. Met name in relatie tot de waterbeschikbaarheid voor mogelijk conflicterende functies zoals landbouw en natuur, en hoe hier beleidsmatig mee om te gaan.
- De capaciteitsopgave speelt in verschillende regio's op verschillende tijdschalen. Bij krapte op de korte termijn bestaat er een risico dat eerst suboptimale oplossingen worden gezocht. Besteed (als overheden en drinkwaterbedrijven) waar mogelijk aandacht aan het kiezen van oplossingsrichtingen die voor de lange termijn houdbaar zijn.

Dit onderzoek heeft laten zien dat de drinkwatersector er in de toekomst anders uit zal komen te zien, afhankelijk van hoe technologie, klimaat, drinkwatervraag en beleid zich ontwikkelen. Anticipeer daarom als relevante overheden op de rol van en de relatie met de drinkwatersector in verschillende toekomstscenario's. Zorg zo dat op effectieve wijze invulling kan worden gegeven aan de verantwoordelijkheid als toezichthouder en meewerkende, sturende of regienemende partij.

Dankwoord

Dank aan Guido Florentinus (RWS/RIVM, thans Dunea) voor de bijdrage aan de interviews en het hoofdstuk over zuivering.

Verder danken de auteurs alle geïnterviewden (bijlage 1), aanwezigen bij de workshop (bijlage 3), en interne en externe reviewers van dit rapport voor hun bijdragen, het kritisch meedenken, het aandragen van informatie en voor de correcties.

Literatuur

- Adamovic, M., Bisselink, B., De Felice, M., De Roo, A., Dorati, C., Ganora, D., Medarac, H., Pistocchi, A., Van De Bund, W., & Vanham, D. (2019). *Water and Energy nexus in Europe*. P. O. o. t. E. Union.
- Anonymous. (2020). *Gesloten waterkringloop*. Retrieved 03-07-2024 from <https://www.superlocal.eu/gesloten-waterkringloop/>
- Anonymous. (2023). *Uitvoeringsagenda Blauwe Agenda Utrechtse Heuvelrug*.
- Anonymous. (2024). Groen licht voor nieuwe EU-richtlijn stedelijk afvalwater. *H2O-Actueel*. <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/groen-licht-voor-nieuwe-eu-richtlijn-stedelijk-afvalwater>
- Aqualectra. (2022). *Annual Report 2021*.
- As, K. S., van der Aa, N. G. F. M., & Ambaum, M. (2024). *Evaluatie maatregelen bescherming drinkwaterbronnen: Landelijke beeld van de uitvoeringsprogramma's bij gebiedsdossiers drinkwaterwinnings*.
- Baggelaar, P., Kuin, P., & Geudens, P. (2022). *Prognoses drinkwatergebruik in Nederland t/m 2040*.
- Bakema, G., Bloem, J., Heinen, M., Knotters, M., & van Rooijen, N. (2022). *De invloed van klimaatverandering op de bodemtemperatuur: Inventarisatie van de ontwikkeling van de bodemtemperatuur en de invloed op de biotische en abiotische processen in natuurgebieden*.
- Barendse, K., Brouwer, S., van Dijk, S., & Schriks, M. (2023). Een verkenning van de acceptatie van waterhergebruik in Nederland. *H2O-vakartikelen*.
- Bartholomeus, R. (2024). *Efficiënt (her)gebruik van zoetwater door verbinden waterketen en watersysteem*. KWR Watercycle Research Institute. Retrieved 05-12-2024 from <https://www.kwrwater.nl/wp-content/uploads/2019/10/WiCE-Zuinig-met-Zoet-A.2-Effici%C3%ABnt-hergebruik-van-zoetwater-door-verbinden-waterketen-en-watersysteem-Ruud-Bartholomeus.pdf>
- Beam, A. (2023). *Drought-prone California OKs new rules for turning wastewater directly into drinking water*. AP News. Retrieved 02-07-2024 from https://apnews.com/article/california-recycled-wastewater-drought-8b476dc83652af43c6aad52070b9d992?utm_source=copy&utm_medium=share
- Beerendonk, E. (2017). *Behandeling van reststromen met Eutectic Freeze Crystallisation: Marktpotentie en samenvatting pilot onderzoek*.
- Benak, M. (2024). WMD-hydroloog: 'Als deze proef slaagt, hebben we hét drinkwater van de toekomst'. *RTV Drenthe*. <https://www.rtvdrenthe.nl/nieuws/16569483/wmd-hydroloog-als-deze-proef-slaagt-hebben-we-het-drinkwater-van-de-toekomst>
- Boorsma, M., & Wessels, P. (2023). *Technologie en Ontwikkelingen Bronnen en Zuivering Drinkwater: Vlaanderen en Nederland*.

- Bos-Burgering, L., Buijs, S., America, I., Klooster, J., de Louw, P., Delsman, J., Stofberg, S., Raat, K., Franssen, R., & Posma, J. (2021). *COASTAR Nationaal Regionale en nationale opschaling COASTAR toepassingen*.
- Broers, H. P. (2004). The spatial distribution of groundwater age for different geohydrological situations in the Netherlands: implications for groundwater quality monitoring at the regional scale. *Journal of Hydrology*, 299(1), 84-106.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.04.023>
- Buckley, T., Karanam, K., Xu, X., Shukla, P., Firouzi, M., & Rudolph, V. (2022). Effect of mono- and di-valent cations on PFAS removal from water using foam fractionation – A modelling and experimental study. *Separation and Purification Technology*, 286, 120508.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.120508>
- Buitink, J., Tsiokanos, A., Geertsema, T., ten Velden, C., Bouaziz, L., & Weiland, F. (2023). *Implications of the KNMI'23 climate scenarios for the discharge of the Rhine and Meuse*.
- CBS. (2022). *Zuivering van stedelijk afvalwater; per provincie en stroomgebied* (Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS)).
- CBS, & KNMI. (2018). *Hoeveelheid rioolwater en landelijke neerslag* (<https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/15/droogte-2018-leidt-tot-nog-betere-prestaties-rioolwaterzuivering>)
- CBS, PBL, RIVM, & WUR. (2023). *Belasting van het oppervlaktewater, 1990-2021* Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Den Haag; PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag; RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven; en Wageningen University and Research, Wageningen. Retrieved 20 oktober 2023 from <https://www.clo.nl/indicatoren/nl008324>
- Cirkel, G. (2020). *Hergebruik van effluent voor de drinkwatervoorziening, een verkenning van eisen en randvoorwaarden*.
- Cirkel, G., & Krajenbrink, H. (2022). *Invloed van historische ingrepen in de waterhuishouding en veranderingen in landgebruik op freatische grondwaterstanden: Een literatuurstudie*.
- CLO. (2024). *Productie van drinkwater, 1950-2022* (Compendium voor de Leefomgeving (CLO)). <https://www.clo.nl/indicatoren/nl004516-productie-van-drinkwater-1950-2022>
- Cui, J., Gao, P., & Deng, Y. (2020). Destruction of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) with Advanced Reduction Processes (ARPs): A Critical Review. *Environmental Science & Technology*, 54(7), 3752-3766.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05565>
- Davis, J. S., & Zobrist, J. (1979). The Interrelationships among Chemical Parameters in Rivers — Analysing the Effect of Natural and Anthropogenic Sources. In J. S.H (Ed.), *Ninth International Conference on Water Pollution Research* (pp. 65-78). Pergamon.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-022939-3.50011-8>
- De Louw, P., America-van den Heuvel, I., Knaake, B., & Melman, R. (2024). *Potentiële aanvullende grondwatervoorraden. Deelrapportage 4 van project 3D-kartering Nationale Grondwater Reserves*.

- De Moel, P. J., van Dijk, J. C., Verberk, J. Q. J. C., & Technische Universiteit, D. (2005). *Drinkwater: principes en praktijk*. <https://books.google.nl/books?id=1zdUAAAACAAJ>
- De Niet, J., van der Toorn, L., Beije, E., Heijkers, J., & Hoekstra, J. (2021). Hydrologische effecten van het vervangen van naaldbos op de Utrechtse Heuvelrug door loofbos. *H2O*. <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/hydrologische-effecten-van-het-vervangen-van-naaldbos-op-de-utrechtse-heuvelrug-door-loofbos>
- De Vogel, D., van der Maas, P., Kloosterman-Greftenhuis, J., & Dost, S. (2020). *Biologisch actiefkoolfiltratie met zuurstofdoserings voor verwijdering microverontreinigingen uit RWZI-afvalwater*.
- De Waal, L. (2020). *Huidige en toekomstige praktijk van NF/RO concentraat management*.
- De Waal, L. (2021). *VO kraamkamer: elektrochemische zuiveringsprocessen*.
- De Waal, L., & Hofman-Caris, R. (2021). *Additionele zuiveringsinspanning voor verwijdering van opkomende stoffen* (H2O-Online, Issue).
- De Waal, L., & Huiting, H. (2018). *Behandeling van brak grondwater*.
- Delsman, J., America, I., & Mulde, T. (2023). *Grondwaterverzilting en watervraag bij een stijgende zeespiegel* (Kennisprogramma Zeespiegelstijging, Issue).
- Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie Zuid. (2020). *Zuid-Nederland klimaatbestendig en waterrobuust*.
- Dolnicar, S., Hurlimann, A., & Grün, B. (2011). What affects public acceptance of recycled and desalinated water? *Water Research*, 45(2), 933-943. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.09.030>
- Dolnicar, S., & Schäfer, A. I. (2009). Desalinated versus recycled water: Public perceptions and profiles of the accepters. *Journal of Environmental Management*, 90(2), 888-900. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.02.003>
- Dorland, E., Agudelo-Vera, C., Hartog, N., Sjerps, R., Vonk, E., Witte, F., & Wols, B. (2018). Drinkwatersector is voorbereid op klimaatverandering. *H2O*. https://www.h2owaternetwerk.nl/images/H2O-Online_180907_Drinkwater_en_klimaat.pdf
- Dunea. (2020a). *De nieuwe multi-bronnenstrategie van Dunea*. Retrieved 24-07-2024 from <https://www.dunea.nl/algemeen/nieuws/2020/de-nieuwe-multi-bronnenstrategie-van-dunea>
- Dunea. (2020b). *Duurzaam bosbeheer*. Retrieved 06-08-2024 from <https://www.dunea.nl/algemeen/nieuws/2020/duurzaam-bosbeheer>
- Dunea. (2023). *Drinkwatervoorziening van de toekomst 2030-2040: Notitie Reikwijdte en Detailniveau*.
- Dunea. (2024a). *Betrouwbaar en lekker drinkwater*. Retrieved 05-12-2024 from <https://www.dunea.nl/drinkwater>
- Dunea. (2024b). *Pilot Brak grondwater*. Dunea. Retrieved 05-12-2024 from <https://www.dunea.nl/algemeen/brakgrondwater>
- Dunea. (2024c). *Te veel bestrijdingsmiddelen in de Maas*. Retrieved 11-11-2024 from <https://www.dunea.nl/algemeen/nieuws/2024/te-veel-bestrijdingsmiddelen-in-de-maas>

- EECS. (2024). *Opinions and Information Reports: Initiative for water resilience*. Brussels: European Union Retrieved from <https://www.eesc.europa.eu/en/our-work/opinions-information-reports/opinions/initiative-water-resilience>
- Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy., (2000).
- Evides. (2021, 07-07-2021). *Evides opent grootste ruw water innamepompstation van Nederland*. Evides. Retrieved 20-03-2024 from
- Fielding, K. S., Gardner, J., Leviston, Z., & Price, J. (2015). Comparing Public Perceptions of Alternative Water Sources for Potable Use: The Case of Rainwater, Stormwater, Desalinated Water, and Recycled Water. *Water Resources Management*, 29(12), 4501-4518. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1072-1>
- Folmer, I., Rastegarian, H., Boons, B., Busking, T., Lenzen, K., Kuin, P., & Leeuwis, J. (2024). *Water voor waterstof: Onderzoek naar de relatie tussen waterbeschikbaarheid en grootschalige elektrolyse*.
- Gasunie. (2023). *Superkritische watervergassing*. Retrieved 16-09-2024 from <https://www.gasunie.nl/projecten/superkritische-watervergassing>
- Greenlee, L. F., Lawler, D. F., Freeman, B. D., Marrot, B., & Moulin, P. (2009). Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges. *Water Research*, 43(9), 2317-2348. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.03.010>
- H2O-Actueel. (2023). Vitens gaat aantal productielocaties meer dan halveren. *H2O-Actueel*.
- H2O. (2021). *Steeds meer waterschappen geïnteresseerd in superkritische watervergassing*. Retrieved 16-09-2024 from <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/steeds-meer-waterschappen-geïnteresseerd-in-superkritische-watervergassing>
- H2O. (2023, 07-03-2023). *Presentatie Sweco en Oasen over nieuwe zuiveringstechniek One Step Reverse Osmosis*. Retrieved 05-12-2024 from <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-techniek/sweco-en-oasen-over-nieuwe-zuiveringstechniek-one-step-reverse-osmosis>
- H2O. (2024). *Wetsus patenteert innovatieve PFAS-verwijderaar*. Retrieved 06-12-2024 from <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/wetsus-patenteert-innovatieve-pfas-verwijderaar>
- H+N+S Landschapsarchitecten, Ruimtevolk, Roosemaalen & Savelkol, & Vitens. (2022). Panorama waterland: een duurzaam waterwinningslandschap. *Vitens Innoveert – Thema Winnen*.
- Haasnoot, J. (1988). Ontziltingsinstallatie op Texel vervangen door zinker. *H2O*, 21(5). <https://edepot.wur.nl/382156>
- Hartmann, J., Bokkers, B., & Smit, E. (2023). Werkwijze toetsing PFAS in drinkwatermonsters. In.
- Hendriks, D., Passier, H., Marsman, A., Levelt, O., Lamers, N., Valstar, J., Hoogvliet, M., de Louw, P., Rozemeijer, J., van de Ven, F., van Linge, J., Hu, X., & van Buuren, M. (2023). *Integrale Grondwaterstudie Nederland module 1: landelijke analyse*.
- Hin, J., van de Kerk, I., & van Mulligen, E. (2023). *Omgaan met initiatieven nieuwe drinkwaterwinnings. Voorlopige handreiking. Conceptversie 1.1.*

- Hofman-Caris, R. (2019). *Afwegingen bij toepassing van zuiveringstechnieken in de Nederlandse drinkwaterproductie*.
- Hofman-Caris, R., Bauerlein, P., & de Buijzer, E. (2019). *Affinity adsorption: Removal of pharmaceuticals at the source*.
- Hofman-Caris, R., Bertelkamp, C., de Waal, L., Brand, T., & van der Aa, R. (2018). Rainwater harvesting in the Netherlands: useful or not? , *November 2018*, 61-67.
- Hofman-Caris, R., de Waal, L., van den Brand, T., René van der Aa, R., & van der Hoek, J. P. (2018). Regenwater als bron voor drinkwater in Nederland: weegt milieuwinst op tegen de kosten? *H2O-vakartikelen*.
- Hofs, B., & Post, J. W. (2011). *Eutectische vrieskristallisatie voor de behandeling van (her)gebruikt ionenwisselaar regeneraat*.
- Hooijboer, A. E. J., & de Nijs, A. C. M. (2011). *De invloed van klimaatverandering op de grondwaterkwaliteit*.
- Hooijmeijer, M. (2016). Water halen uit afvalwater: en willen we dat dan drinken? *H2O-achtergrond*. <https://edepot.wur.nl/401551>
- Hristovski, K. D., Dhanasekaran, B., Tibaquirá, J. E., Posner, J. D., & Westerhoff, P. K. (2009). Producing drinking water from hydrogen fuel cells. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 58(5), 327-335. <https://doi.org/10.2166/aqua.2009.103>
- Hurlimann, A., & Dolnicar, S. (2010). When public opposition defeats alternative water projects – The case of Toowoomba Australia. *Water Research*, 44, 287-297. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.09.020>
- HydroLogic. (2024). *Achtergrondmemo infographic potentiële locaties voor toekomstige drinkwateronttrekking uit het Nederlandse hoofdwatersysteem*.
- ILT. (2019). *Richtsnoer Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater (AMVD)*. Den Haag: Rijksoverheid
- ILT. (2023a). *Drinkwaterkwaliteit 2022*.
- ILT. (2023b). *Prestatievergelijking drinkwaterbedrijven 2022*.
- InfoMIL. (2024). *Lozing van afvalwater uit --Rioolwaterzuiveringsinstallaties*. Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Retrieved 02-07-2024 from
- INFRAM B.V. (2021). *Eindrapport Pilot waterprofielen industrie*.
- IPLO. (2024a). *Lozing van afvalwater uit --rioolwaterzuiveringsinstallaties (paragraaf 4.49 Bal)*. Informatiepunt Leefomgeving. Retrieved 05-12-2024 from <https://iplo.nl/thema/water/afvalwater-activiteiten/biologisch-afbreekbaar-afvalwater/behandeling-stedelijk-afvalwater/lozen-rwzi/>
- IPLO. (2024b). *Risicobeheerplan voor een waterhergebruikssysteem*. <https://iplo.nl/thema/water/stedelijk-afvalwater/verordening-hergebruik-stedelijk-afvalwater/risicobeheerplan-waterhergebruikssysteem/>
- IPLO. (2024c). *Verdringingsreeks: rangorde bij waterschaarste*. Informatiepunt Leefomgeving (IPLO). Retrieved 14-11-2024 from <https://iplo.nl/thema/water/beheer-watersysteem/verdringingsreeks/>
- ISO. (2021). *ISO 14091: Adaptation to climate change - Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment*.

- IWVA. (2024). *Aquaduïn: Hergebruik - een duurzame oplossing voor mens en natuur*. Retrieved 02-07-2024 from <https://www.aquaduïn.be/drinkwater/waterwinning/hergebruik>
- Janssen, G., America - van den Heuvel, I., Meeusen, R., van Strien, C., G.;, P., Mes, E., Marth, I., Weiler, O., & Bijlsma, A. (2024). *Vertaling van de Deltascenario's 2024 naar invoer voor het Nationaal Water Model*.
- Jones, E., Qadir, M., van Vliet, M. T. H., Smakhtin, V., & Kang, S.-m. (2019). The state of desalination and brine production: A global outlook. *Science of the Total Environment*, 657, 1343-1356. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.076>
- Klijn, F., van Velzen, E., ter Maat, J., & Hunink, J. (2012). *Zoetwatervoorziening in Nederland: aangescherpte landelijke knelpuntenanalyse 21e eeuw*.
- Klimaateffectatlas. (2024). *Kaartverhalen: Tekort oppervlaktewater*. Klimaateffectatlas. Retrieved 08-07-2024 from <https://www.klimaateffectatlas.nl/nl/tekort-oppervlaktewater>
- Kløve, B., Ala-Aho, P., Bertrand, G., Gurdak, J. J., H.;, K., Kværner, J., Muotka, T., Mykrä, H., Preda, E., Rossi, P., Bertacchi Uvo, C., Velasco, E., & Pulido-Velazquez, M. (2014). Climate change impacts on groundwater and dependent ecosystems. *Journal of Hydrology*, 518, 250-266. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.06.037>
- KNMI. (2023). *KNMI'23 klimaatscenario's voor Nederland*.
- Knoben, R. V., F.; Schoffelen, N.; Rost, J. (2021). *Ex Ante Analyse Waterkwaliteit*.
- Kools, S., Meekel, N., de Baat, M., de Waal, L., Béen, F., & Hofman-Caris, R. (2021). *PFAS en Nederlands drinkwater. Consequenties van aangescherpte normstelling en technische handelingsperspectieven*.
- Krajenbrink, H., Stofberg, S., Bartholomeus, R., & Disselhoff, D. (2021). *RWZI als waterfabriek voor een robuuste watervoorziening*.
- Kramer, N., & Ouwerkerk, K. (2023). *Relatie afvoer Maas en Rijn en waterkwaliteitsproblemen met oog op drinkwaterbereiding*.
- Krul, H., Grinwis, P., & Minhas, F. B. (2023). *Motie van het lid Krul (nr. 27625-613)*.
- Kuipers, N. J. M., & van Medevoort, J. (2023). *SeaHydrogen: Position paper: integral Nexus approach for the production of hydrogen at sea*. W. F. B. Research.
- Landelijke Werkgroep Grondwater. (2024). *KRW-rapportage 'Grondwater InZicht'*.
- Latour Advies, Provincie Drenthe, Waterbedrijf Groningen, & Waterschap Hunze en Aa's. (2023). *Ons water uit de Drentsche Aa: Eindrapport UPDA 2022*.
- Leeuwis-Tolboom, J., Ros, J., & Claassen, T. (2022). *Notitie: Actualisatie Aanvullende Strategische Voorraden*
- Leong, C., & Lebel, L. (2020). Can conformity overcome the yuck factor? Explaining the choice for recycled drinking water. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118196. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118196>
- Manders, T., & Kool, C. (2015). *Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving: Nederland in 2030 en 2050: twee referentiescenario's*.

- Martyna, G., Katarzyna, W., & Bartosz, K. (2023). Review of water treatment methods with a focus on energy consumption. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 143, 106674. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2023.106674>
- Mens, M., & de Louw, P. (2020). *Het Nationale Gieter Idee op de Veluwe*. Deltares. Retrieved 10-06-2024 from <https://www.deltares.nl/verhalen/het-nationale-gieter-idee-op-de-veluwe>
- Mens, M., Hunink, J., Delsman, J., Pouwels, J., & Schasfoort, F. (2020). *Geactualiseerde knelpuntenanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater fase II*.
- Drinkwaterwet, (2009). <https://wetten.overheid.nl/BWBR0026338/>
- Ministerie van I&M. (2014). *Beleidsnota Drinkwater: Schoon drinkwater voor nu en later*.
- Ministerie van I&W. (2018). *Uitvoeringsprogramma's 2018-2019: Nationale klimaatadaptatiestrategie (NAS)*.
- Ministerie van I&W. (2021). *Beleidsnota Drinkwater 2021-2026 Samen werken aan een toekomstbestendige drinkwatervoorziening*.
- Ministerie van I&W. (2023a). *Kamerbrief waterbeleid 622*. Den Haag
- Ministerie van I&W. (2023b). *Kamerbrief waterbeleid 630*. Den Haag
- Ministerie van I&W. (2023c). *Nationaal Uitvoeringsprogramma Klimaatadaptatie: Slimmer, intensiever, voor en door iedereen*.
- Ministerie van I&W. (2023d). *Water en Bodem Sturend: Landelijke Strategie en Interbestuurlijke Uitvoeringsagenda 2023-2024*.
- Ministerie van I&W. (2024a). *Bouwstenen voor een actieprogramma waterbeschikbaarheid 2023-2030*.
- Drinkwaterregeling, (2024b).
- Ministerie van I&W. (2024c). *Kamerbrief 31 mei 2024: Nieuwe inzichten zoetwaterbeschikbaarheid*.
- Ministerie van I&W. (2024d). *Kamerbrief waterbeleid 662*. Den Haag
- Ministerie van I&W. (2024e). *Nationaal Plan van Aanpak Drinkwaterbesparing*.
- Ministerie van I&W. (2025). *Kamerbrief bij Actieprogramma beschikbaarheid drinkwaterbronnen 2023 - 2030*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat,
- Ministerie van LNV. (2017). *Bestuursovereenkomst "aanvullende aanpak nitraatuitspoeling uit agrarische bedrijfsvoering in specifieke grondwaterbeschermingsgebieden. Bijlage 7a bij het zesde actieprogramma Nitraatrichtlijn*. .
- Ministerie van LNV. (2019). *Toekomstvisie gewasbescherming 2030, naar weerbare planten en teeltsystemen*.
- Ministerie van LNV, & Ministerie van I&W. (2021). *7e Nederlandse actieprogramma betreffende de Nitraatrichtlijn (2022 - 2025)*.
- Negash, A., & Swartjes, F. A. (2021). *Chemische stoffen in het grondwater: status vergrijzing in Nederland*.
- Nijholt, R. (2022). *Zeewater als alternatieve bron voor drinkwater*. *H2O*, 9.
- Nijsten, G., Mulder, N., Davids, T., Vermooten, S., van der Brugge, R., & van Leerdam, R. (2022). *Nationale Grondwater Reserves (NGR): Onderbouwing van noodzaak voor aanwijzing en mogelijke omvang*.

- Nijsten, G., van Doorn-Hoekveld, W., Delsman, J., Zaadnoordijk, W., & Gunnink, J. (2024). *Advies begrenzing en bescherming van Nationale Grondwater Reserves*.
- OVAM. (2019). *Phytoremediation: Code of Good Practice*.
- Peters, S. (2013). De vraag waar het waddengebied voor staat: Drinkwater op een eiland: van ver halen of zelf maken. *H2O-Thema*, 11. <https://edepot.wur.nl/338644>
- Plappally, A. K., & Lienhard, V., J. H. (2012). Energy requirements for water production, treatment, end use, reclamation, and disposal. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 4818-4848. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.05.022>
- Provincie Drenthe. (2021). *Regionaal Waterprogramma Drenthe 2022-2027*.
- Provincie Flevoland. (2020). *Waterprogramma: Water blijvend op orde*.
- PWN. (2024a, 11-06-2024). *De natuur als bondgenoot om drinkwater te maken*. Retrieved 11-06-2024 from <https://www.pwn.nl/over-pwn/nieuws/drinkwater/natuur-als-bondgenoot>
- PWN. (2024b). *PWN verkent ondergrondse waterberging als oplossing voor toenemende (piek)watervraag*. Retrieved 28-08-2024 from
- PWN. (2024c). *Waarom kapt PWN bomen in het duingebied?* <https://www.pwn.nl/veelgestelde-vragen/waarom-kapt-pwn-bomen-het-duingebied>
- PWN. (2025). *Watersource*. Retrieved 05-02-2025 from <https://www.pwn.nl/watersource>
- Querner, E., den Besten, J., van Veen, R., & Jager, H. (2022). A scenario analysis of climate change and adaptation measures to inform Dutch policy in The Netherlands. *JOURNAL OF WATER AND LAND DEVELOPMENT*, 54(VII-IX), 177-183. <https://doi.org/DOI:10.24425/jwld.2022.141570>
- Riemer, L., Rook, J. H., van der Aa, N. G. F. M., & van Leerdam, R. C. (2021). *Onconventionele bronnen voor de Nederlandse drinkwatervoorziening: Aandachtspunten voor afwegingen*.
- Rijk der Nederlanden. (2021). *Deltaplan Zoetwater 2022-2027*.
- Rijksoverheid. (2018). *Structuurvisie Ondergrond*.
- Rijksoverheid. (2019). *Klimaatakkoord*.
- Rijksoverheid. (2020). *Bos voor de toekomst: Uitwerking ambities en doelen landelijke Bossenstrategie en beleidsagenda 203*.
- Rijksoverheid. (2023). *Nationaal Deltaprogramma 2024: Nu voor Later*.
- Rijkswaterstaat. (2018). *Peilbesluit IJsselmeergebied*. Rijkswaterstaat (RWS)
- Rijkswaterstaat. (2021). *Strategiedocument Zoetwater Hoofdwatersysteem*.
- Rijkswaterstaat. (2024a). *Historische data: waterkwantiteit Rijn (Debiet in m³/s)*. Rijkswaterstat. Retrieved 19-12-2024 from <https://waterinfo.rws.nl/publiek/waterafvoer>
- Rijkswaterstaat. (2024b). *Selectieve Onttrekking bij Zeesluis IJmuiden*. Retrieved 19-03-2024 from <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/projectenoverzicht/selectieve-onttrekking-bij-zeesluis-ijmuiden>
- RLI. (2024). *Ruimtelijke ordening in een veranderend klimaat*.
- Roest, K., Smeets, P., van den Brand, T., Cortial, H., & Klaversma, E. (2016). *TKI Loop-closure Cleantech Playground: Local water and energy solutions*.

- Roex, E., Stofberg, S., Cirkel, G., & Bartholomeus, R. (2021). *Deltafact: Hergebruik van effluent*.
- Royal Haskoning DHV. (2021). *Eindrapportage Verkenning robuuste drinkwatervoorziening 2040*.
- Sikkema, S., & Barendse, K. (2023). *Socio-technological legitimization of water related reuse*.
- Sikkema, S., & Brouwer, S. (2024). Klantperspectieven kraanwater in perspectief. *H2O-Uitgelicht*. <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-podium/uitgelicht/klantperspectieven-kraanwater-in-perspectief#:~:text=Klanten%20met%20het%20perspectief%20%27egalitair,bescherming%20van%20drinkwaterbronnen%20%5B4%5D>.
- Sjerps, R. M. A., ter Laak, T. L., & Zwolsman, G. J. J. G. (2017). Projected impact of climate change and chemical emissions on the water quality of the European rivers Rhine and Meuse: A drinking water perspective. *Science of the Total Environment*, 601-602, 1682-1694. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.250>
- Smeets, E., & Wetering, R. (1999). *Environmental indicators: Typology and overview*.
- Smith, H., Shannon, C., & Poncet, M. (2021). *Final report on societal acceptability*. E. H. 2020. <https://nextgenwater.eu/wp-content/uploads/2023/03/D4.2-Final-report-on-societal-acceptability.pdf>
- Smith, S. J., Lewis, J., Wiberg, K., Wall, E., & Ahrens, L. (2023). Foam fractionation for removal of per- and polyfluoroalkyl substances: Towards closing the mass balance. *Science of the Total Environment*, 871, 162050. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162050>
- Smolders, A., Lamers, L., Lucassen, E. C. H. E. T., Van der Velde, G., & Roelofs, J. (2006). Internal eutrophication: How it works and what to do about it - A review. *Chemistry and Ecology*, 22, 93-111. <https://doi.org/10.1080/02757540600579730>
- Snelling, A. M., Lamond, J., Everett, G., O'Donnell, E. C., Ahilan, S., & Thorne, C. (2024). Public perceptions of rainwater harvesting (RWH): comparing users and non-users of RWH systems. *Urban Water Journal*, 21(2), 181-189. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2023.2281310>
- Spit, T., ;, Wevers, J., van Houten, M., & Hensums, A. (2024). Drie veelbelovende adsorbentia voor vergaande PFAS-verwijdering uit grondwater. *H2O*. <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/ddrie-veelbelovende-adsorbentia-voor-vergaande-pfas-verwijdering-uit-grondwater>
- Stahl, K., Weiler, M., van Tiel, M., Kohn, I., Hänsler, A., Freudiger, D., Seibert, J., Gerlinger, K., & Moretti, G. (2022). *Impact of climate change on the rain, snow and glacier melt components of streamflow of the river Rhine and its tributaries*.
- Stofberg, S. F., Bertelkamp, C., van Huijgevoort, M., & Bäuerlein, P. S. (2019). *Alternatieve bronnen voor drinkwater: Achtergronddocument inventarisatie alternatieve bronnen*.
- Stofberg, S. F., van Engelenburg, J., & Broers, E. (2023). *Klimaat effecten op drinkwaterwinningen*.

- Stofberg, S. F., Zuurbier, K. G., Janssen, G., Oude Essink, G. H. P., Van Baaren, E. S., Boonekamp, A. M. H., De Buck, W., Hulzebos, J., Schetters, M., & Zwolsman, G. (2018). *COASTAR: Verkenning strategische brakwaterwinning*.
- STOWA. (2022). *Superkritisch vergassen zuiveringsslib*. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer. Retrieved 16-09-2024 from <https://www.stowa.nl/onderwerpen/energietransitie/produceren-van-energie-om-aquathermie/superkritisch-vergassen>
- STOWA. (2023). De Ultieme Waterfabriek focust op maatschappelijke acceptatie (her)gebruik gezuiverd rioolwater. *STOWA-ter info*, 88. <https://publicaties.stowa.nl/stowa-ter-info-88/de-ultieme-waterfabriek-focust-op-maatschappelijke-acceptatie-hergebruik-gezuiverd-rioolwater>
- Swartjes, F. A., van den Berg, H. H. J. L., Biemans, F., van der Gaag, D. J., de Jonge, R., van Leerdam, R. C., Pel, M. J. C., Rietra, R. P. J. J., Römken, P. F. A. M., Schoen, R., & Schijven, J. F. (2024). *Beoordelingskader voor gebruik gezuiverd stedelijk afvalwater in de landbouw. Fase 1: wettelijke inkadering en voedselveiligheid*.
- Tangena, B. H. (2014). *Behoeftedekking Nederlandse drinkwatervoorziening 2015-2040: rapport t.b.v. Verkenning grondwatervoorraden voor drinkwater*.
- Ter Voorde, M., & Velstra, J. (2009). *Leven met Zout Water: Overzicht huidige kennis omtrent interne verzilting*
- Tortajada, C. (2020). Contributions of recycled wastewater to clean water and sanitation Sustainable Development Goals. *npj Clean Water*, 3(1), 22. <https://doi.org/10.1038/s41545-020-0069-3>
- Van Dam, H. (2020). *Veluws grondwater: geen Wateraccu of Nationale Gieter, maar Biodiversiteitsmotor*. H2O-Online. Retrieved 04-12-2024 from
- Van den Brink, M., Huismans, Y., Blaas, M., & Zwolsman, G. (2019). Climate Change Induced Salinization of Drinking Water Inlets along a Tidal Branch of the Rhine River: Impact Assessment and an Adaptive Strategy for Water Resources Management. *Climate*, 7(4). <https://doi.org/doi:10.3390/cli7040049>
- Van der Aa, N. G. F. M., Hartmann, J., & te Biesebeek, J. D. (2021). *Analyse bijdrage drinkwater en voedsel aan blootstelling EFSA-4 PFAS in Nederland en advies drinkwaterrichtwaarde*. <https://www.rivm.nl/documenten/analyse-bijdrage-drinkwater-en-voedsel-aan-blootstelling-efsa-4-pfas-in-nederland>
- Van der Aa, N. G. F. M., Tangena, B. H., Wuijts, S., & de Nijs, A. C. M. (2015). *Scenario's drinkwatervraag 2040 en beschikbaarheid bronnen: Verkenning grondwatervoorraden voor drinkwater*.
- Van der Brugge, R., & de Winter, R. (2024). *Deltascenario's 2024: zicht op water in Nederland*.
- Van der Gaast, J. W. J., Massop, H. T. L., & Vroon, H. R. J. (2009). *Effecten van klimaatverandering op de watervraag in de Nederlandse groene ruimte : analyse van de waterbeschikbaarheid rekeninghoudend met de freatische grondwaterstand*. <https://edepot.wur.nl/7870>
- Van der Meulen, D., van Dongen, M., Vlaar, T. C., & Dries, A. (2019). *Gebiedsdossier oppervlaktewaterwinning Drentsche Aa*.
- Van der Schans, M. L., Brussee, L. F., Niekus, P., & Leunk, I. (2015). *Energieverbruik drinkwaterwinning*.

- Van der Velden, M., Rijnders, D., Wiersema, Y., & Peters, J. (2019). *Nieuwe winlocatie in West-Brabant: startdocument*.
- Van der Weijden, C. H., & Middelburg, J. J. (1989). Hydrogeochemistry of the River Rhine: Long term and seasonal variability, elemental budgets, base levels and pollution. *Water Research*, 23(10), 1247-1266. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(89\)90187-5](https://doi.org/10.1016/0043-1354(89)90187-5)
- Van der Wielen, P. (2020). *Invloed van temperatuur op groei van opportunistische ziekteverwekkers in drinkwater*.
- Van Dooren, T., Raat, K., & Stofberg, S. (2021). *Kennisimpuls Waterkwaliteit: Effecten van kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater op de grondwaterkwaliteit*.
- Van Driezum, I. H., Beekman, J., van Loon, A., van Leerdam, R. C., Wuijts, S., Rutgers, M., Boekhold, S., & Zijp, M. C. (2020). *Staat drinkwaterbronnen* (RIVM Rapport 2020-0179, Issue).
- Van Driezum, I. H., van der Aa, N. G. M. F., & van den Berg, H. H. J. L. (2020). *Regenwater als alternatieve bron voor drinkwater: aandachtspunten voor kwaliteitscontrole*.
- Van Egdome, M. (2023, 11-02-2023). *Een 'klimaatbuffer' als nieuwe wapen tegen dorstige zomers*. Noordhollands Dagblad. Retrieved 20-03-2024 from <https://www.nhnieuws.nl/nieuws/314200/een-klimaatbuffer-als-nieuwe-wapen-tegen-dorstige-zomers>
- Van Gaalen, F., Franken, R., Kirkels, F., Ibrahim, S., van Minnen, J., Bouwman, A., & Vonk, M. (2024). *Klimaatrisico's in Nederland: De huidige stand van zaken*.
- Van Gaalen, F. T., A.; Franken, R.; van Boekel, E.; van Puijenbroek, P.; Muilwijk, H. (2020). *Waterkwaliteit nu en in de toekomst: Eindrapport ex-ante evaluatie van de Nederlandse plannen voor de Kaderrichtlijn Water*.
- Van Huijgevoort, M. (2023). *Risico's voor de drinkwatervoorziening door veranderende grondwaterbeschikbaarheid en watervraag*.
- Van Leerdam, R. C., Rook, J. H., Riemer, L., & van der Aa, N. G. F. M. (2023). *Waterbeschikbaarheid voor de bereiding van drinkwater tot 2030 - knelpunten en oplossingsrichtingen*.
- Van Loon, A., Clevers, S., & Dorland, E. (2024). *Omgaan met knelpunten in de beoordeling van verlagings-effecten op natuur* (BTO-2024.005, Issue).
- Van Loon, A. H., van Pronk, T. E., Raterman, B. W., & Ros, S. E. M. (2020). *Grondwaterkwaliteit Nederland 2020. Anorganische parameters, bestrijdingsmiddelen, farmaceutica en overige verontreinigende stoffen in de grondwatermeetnetten van de provincies*.
- Van Vliet, M. T. H., Thorslund, J., Strokal, M., Hofstra, N., Flörke, M., Ehalt Macedo, H., Nkwasa, A., Tang, T., Kaushal, S. S., Kumar, R., van Griensven, A., Bouwman, L., & Mosley, L. M. (2023). Global river water quality under climate change and hydroclimatic extremes. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4(10), 687-702. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00472-3>
- Van Vossen-van den Berg, J., Cirkel, D. G., Nijhuis, N. J., Mesman, G. A. M., & Huiting, H. (2019). *Achtergrond chloridenormering en analyse effecten van overschrijding van de norm*.
- Van Vossen-van den Berg, J., Pronk, G. J., & Verschoor, A. M. (2019). *Verkenning effecten droogte op de drinkwaterlevering*.

- Vazquez-Casaubon, E. C., & Cauberghe, V. (2024). Residential water choices: Assessing the willingness to adopt alternative water sources by examining risk perceptions and personal norms in Belgium. *Sustainable Production and Consumption*, 51, 545-555. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.10.007>
- Vellanki, B. P., Batchelor, B., & Abdel-Wahab, A. (2013). Advanced Reduction Processes: A New Class of Treatment Processes. *Environmental Engineering Science*, 30(5), 264-271. <https://doi.org/10.1089/ees.2012.0273>
- VEMW. (2023). *Klimaatrobuust waterbeheer en duurzaam watergebruik voor een toekomstbestendig watersysteem: Routekaart industriële watertransitie*.
- Vewin. (2013). *Reflections on Performance: Benchmarking in the Dutch drinking water industry*.
- Vewin. (2023). *Drinkwaterstatistieken 2022: Van bron tot kraan*.
- Vitens. (2018). *Notitie Reikwijdte en Detailniveau voor de Milieueffectrapportage Waterwinning Luxwoude*.
- Vito. (2010a). *Elektrocoagulatie*. Retrieved 16-09-2024 from <https://emis.vito.be/nl/bbt/bbt-tools/techniekfiches/elektrocoagulatie>
- Vito. (2010b). *Membraandestillatie*. Retrieved 09-09-2024 from <https://emis.vito.be/nl/bbt/bbt-tools/techniekfiches/membraandestillatie>
- Vlaski, A. (2024). *Concentraat/brijnproblematiek bij toepassing ontziltngstechnologie*.
- Vries, D. (2010). *Toenemende temperaturen van het water: effect op de zuivering en hoe te voorkomen in het distributienet*.
- Waterforum. (2023). *Eerste paal geslagen voor innovatieve Waterbank Agriport in Middenmeer*. Retrieved 11-11-2024 from
- Waternet. (2017). *Onderzoek: van zout kwelwater naar drinkwater*. Retrieved 02-07-2024 from <https://www.waternet.nl/blog/onderzoek-van-zout-kwelwater-naar-drinkwater/>
- Waternet. (2024a). *Proef oppompen brakke kwel Horstermeerpolder voor drinkwater*. Retrieved 02-07-2024 from <https://www.waternet.nl/werkzaamheden/brakke-kwel/>
- Waternet. (2024b). *PWN, Vitens en Waternet verkennen in 't Gooi oplossing voor tekort aan drinkwater*. Retrieved 05-12-2024 from <https://www.waternet.nl/werkzaamheden/waag/>
- Waterschap Rivierenland, & ZLTO. (2018). *Factsheet Rivierengebied: Waterbesparing en innovatie in de landbouw*.
- Werkgroep ZON. (2020). *Regionaal Strategiedocument Hoge Zandgronden Oost 2022-2027*.
- WHO Europe. (2004). *Environmental health indicators for Europe: a pilot indicator based report*.
- Wintersen, A., Claessens, J., Wit, M., van Helvoort, K., Wolters, M., Stoffelsen, B., van Wijnen, H., & van Breemen, P. (2021). *Landsdekkend beeld van PFAS in Nederlands grondwater*.
- Witmer, M., Franken, R., van Gaalen, F., van Minnen, J., Beije, E., & Kirkels, F. (2023). *Nationale Klimaatrisico-analyse 2022 – 2026: Uitwerking analysemethodiek*.
- Witte, J., Nijp, J., Torfs, P., & van den Eertweg, G. (2024). *Meteorologische droogte afgemeten aan beregeningsgiften Stromingen*, 1(30).

- WML. (2024). *Forse milieuwinst bij SUPERLOCAL door slim (her)gebruik water*. Retrieved 03-07-2024 from <https://www.wml.nl/over-wml/nieuws/forse-milieuwinst-superlocal-door-slim-hergebruik-water>
- Wolters, H., Hunink, J., Joost Delsman, J., de Lange, G., Schasfoort, F., van der Mark, R., van den Born, G., Dammers, E., Rijken, B., & Reinhard, S. (2018). *Deltascenario's voor de 21e eeuw*.
- Wuijts, S., van der Grinten, E., Meijers, E., Bak-Eijsberg, C. I., & Zwolsman, G. J. J. G. (2013). *Impact klimaat op oppervlaktewater als bron voor drinkwater : Van knelpunten naar maatregelen*.
- Xu, P., Capito, M., & Cath, T. Y. (2013). Selective removal of arsenic and monovalent ions from brackish water reverse osmosis concentrate. *Journal of Hazardous Materials*, 260, 885-891. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.06.038>
- Zhai, Y., Liu, G., & van der Meer, W. G. J. (2022). One-Step Reverse Osmosis Based on Riverbank Filtration for Future Drinking Water Purification. *Engineering*, 9, 27-34. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.02.015>
- Zhao, Q., Li, J., Dai, Z., Ma, C., Sun, H., & Liu, C. (2019). Boron tolerance and accumulation potential of four salt-tolerant plant species. *Scientific Reports*, 9(1), 6260. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42626-8>
- Zuurbier, K., van der Schans, M., Paalman, M., de Putter, P., te Winkel, T., Velstra, J., & Oude Essink, G. (2015). *Technisch-juridische handreiking risicobeoordeling 'ondergrondse waterberging'*.
- Zwolsman, G., Cirkel, G., Hofs, B., Kardinaal, E., Learbuch, K., Runhaar, H., van der Schans, M., Smeets, P., van Thienen, P., van der Wielen, P., Witte, F., & Wols, B. (2014). *Risicoanalyse klimaatverandering voor de drinkwatersector*.

Bijlage 1 Lijst met geïnterviewden

Tabel B1 Overzicht van geïnterviewden bij drinkwaterbedrijven en provincies.

Drinkwaterbedrijf	Geïnterviewde
Brabant Water	Marleen van der Velden, Stephan van de Wetering
Dunea	Bram Martijn, Willemijn Bouland
Evides	Anthonie Hogendoorn, Sander Nugteren, Lydia Barm
Oasen	Maarten Lut, Johan van der Hoog, Menno van Leenen
PWN	Koen Zuurbier, Almo Abusultan, Ruud van der Neut
Vitens	Frank Schoonenberg, Eric Adamse, Peter Salverda, Edwin Blaauwgeers
Waternet	Onno Kramer, Jan Peter van der Hoek, René van der Aa, Job Rook, Siebren van der Linde, Eddy Yedema
Waterbedrijf Groningen (WBG)	Mark Schaap, Bernard Enthoven, Wout Kompagnie
Watermaatschappij Drenthe (WMD)	Henk Brink, Simon Dost, Arjen Kok (tevens WLN)
Watermaatschappij Limburg (WML)	Alexander Roling, Marie-Louise Geurts
Provincie	Geïnterviewde
Drenthe	Anton Dries, Marcel Simonsma
Flevoland	Martin Griffioen, Lisette van den Bos
Friesland	-
Gelderland	Martien Bult
Groningen	Cindy Groenewoud, Peter de Vries
Limburg	Eric Castenmiller
Overijssel	Martijn Mulhof
Noord-Brabant	Maarten Verkerk, Ingrid Roelse
Noord-Holland	Jos van Brussel, Nanko de Boorder
Utrecht	Mieke de Jong, Arco van Vugt
Zeeland	-
Zuid-Holland	Erwin Nijsingh
Overig	Geïnterviewde
Rijkswaterstaat	John Hin, Ellen van Mulligen, Iris van de Kerk
KWR	Roberta Hofman-Caris

Bijlage 2 Vragenlijst voor drinkwaterbedrijven en provincies

Bronnen

- 1) Wat zijn de belangrijkste bronnen voor drinkwater tot 2030?
- 2) Hoe ziet het drinkwaterbedrijf/de provincie de ontwikkeling van de type bronnen na 2030? Bijvoorbeeld meerdere bronnen, meer grondwater, oppervlaktewater of op zoek naar onconventionele bronnen (bijv. zeewater of brak grondwater)?
- 3) Zijn er concrete projecten/plannen en/of locaties in beeld voor uitbreiding van bestaande bronnen of andere bronnen na 2030?
- 4) Zijn ASV-gebieden vastgesteld en wanneer verwacht het drinkwaterbedrijf hier daadwerkelijk te gaan winnen?
- 5) Wat is naar verwachting het aandeel van onconventionele bronnen (niet zijnde zoet grondwater en zoet oppervlaktewater) aan de drinkwatervoorziening van het drinkwaterbedrijf in de periode 2030 tot 2050? Te denken valt aan brak grondwater, zeewater, RWZI-effluent, regenwater.
- 6) Zijn er plannen voor een tweede leidingstel (huishoudwater)? Indien er concrete plannen zijn, hoeveel drinkwater zou dit besparen?
- 7) Is er een globale prognose van de noodzakelijke productiecapaciteit tot 2050?
- 8) Heeft het drinkwaterbedrijf/de provincie strategische documenten met een toekomstvisie voor de drinkwatervoorziening tot 2040, 2050 of verder beschikbaar voor het RIVM-onderzoek?

Technologie

- 9) Welke ontwikkeling voorziet het drinkwaterbedrijf op het gebied van de drinkwaterzuiveringstechnologie tussen 2030-2050? Denk bijvoorbeeld aan het inzetten van meer "natuurlijke zuivering" of extra focus op geavanceerde technologie.
- 10) Zijn er strategiedocumenten m.b.t. de zuiveringstechnologie van de toekomst die we kunnen gebruiken voor deze studie?
- 11) Worden er maatregelen getroffen voor het opschalen of optimaliseren van de bestaande technologie?
- 12) Indien het drinkwaterbedrijf dit wil delen: welke pilot installaties zijn er of worden gestart in de komende tijd?
 - a. Welke technologie wordt hier onderzocht?
 - b. Wat zou de productiecapaciteit moeten worden van deze technologie?
- 13) Worden er naast de pilots ook andere technologieën onderzocht?
- 14) Welke technologie denkt het drinkwaterbedrijf na 2030 in te zetten?

(Klimaatadaptieve) maatregelen om de drinkwatervoorziening veilig te stellen

- 15) Welke maatregelen neemt het drinkwaterbedrijf zelf in het kader van klimaatverandering?
- 16) Welke acties liggen bij de provincie of andere overheid?
- 17) Maatregelen na 2030 om meer drinkwater te kunnen produceren?
- 18) Welke klimaatadaptieve maatregelen zijn nodig om de drinkwatervoorziening te kunnen blijven garanderen?

Bijlage 3 Verslag workshop

RIVM-workshop "Drinkwatervoorziening van de toekomst"

15 mei 2024 9:30 – 12:30 uur

Zaal T.007, RIVM, Bilthoven

Genodigden

Bram Martijn, Sanne Ebbinkhuijsen, Willemijn Bouland
Guido Florentinus (Dunea), Almo Abusultan, Koen Zuurbier
Ruud van der Neut (PWN), Rene van der Aa, Jan Peter van der Hoek,
Onno Kramer, Job Rook, Eddy Yedema, Siebren van der Linde, Joost
Louter, Arne Bosch (Waternet), Stephan van der Wetering, Marleen van
der Velden (Brabant Water), Frank Schoonenberg, Eric Adamse, Peter
Salverda, Edwin Blaauwgeers, Muriel Houde, Abel Heinsbroek (Vitens),
Menno van Leenen, Vincent de Graaff (Oasen), Alexander Roling, Willem
van Pol, Marie-Louise Geurts, Rogier Hoofs, Thamar Pieffers (WML),
Anthonie Hogendoorn, Sander Nugteren, Lydia Barm, Rob van der Leer,
Rona Vink (Evides), Mark Schaap, Bernard Enthoven, Wout Kompagnie
(WBG), Peter de Vries, Cindy Groenewoud, Marcel Siemonsma
(Provincies Groningen), Anton Dries (Provincie Drenthe), Tim Hendriks,
Wilfred Appelman, Erik Verhofstad, Symke Haverkamp (Min. van I&W),
Roald Leemrijse, Henk Brink, Simon Dost, Arjen Kok (WMD), Maarten
Verkerk, Ingrid Roelse (Prov. N-Brabant), Erwin Nijsingh, Luc Absil
(Prov. Z-Holland), Ronnie Hollebrandse (Prov. Zeeland), Mieke de Jong,
Casper Juijn, Marlous van der Meer, Arco van Vugt (Prov. Utrecht),
Martijn Mulhof, Mark van Veen (Prov. Overijssel), Martin Griffioen,
Lisette van den Bos (prov. Flevoland), Eric Castenmiller (Prov.
Limburg), Martien Bult (prov. Gelderland), John Hin, Carmen
Hoogendoorn, Iris van de Kerk, Ellen van Mulligen (Rijkswaterstaat) Jos
van Brussel, Nanko de Boorder (prov. N-Holland), Nicole van Buren
(RLI), Monique van der Aa, Robin van Leerdam, Theo Traas, Karel As,
Jesse Limaheluw, Dominique Narain, Mattijs Ambaum, Els Smit, Myrthe
von den Benken (RIVM), Harrie Timmer (Vewin) Roberta Hofman, Veerle
Troelstra, Ruud Bartholomeus, Sija Stofberg, Eric Broers (KWR)

1. Opening door dagvoorzitter Myrthe van den Benken

Dagvoorzitter heet de aanwezigen welkom en stelt zichzelf voor.
Er wordt een introductie gegeven van het dagprogramma en de
doelstelling van de ochtend. Ook worden de 3 thema's van de
workshop en de werkvorm toegelicht.

2. Ministerie van I&W (Wilfred Appelman), licht de aanleiding van de opdracht toe

In een vraaggesprek tussen de dagvoorzitter en Wilfred
Appelman (ministerie van I&W) wordt meer verteld over de
uitdagingen waar de drinkwatersector voor staat en de aanleiding
van het RIVM-project, dat in opdracht van het Ministerie van I&W
wordt uitgevoerd (zie meegestuurde presentatie).

Op het gebied van kwantiteit stipt het ministerie de gevolgen van
klimaatverandering, een stijgende drinkwatervraag en
onzekerheden over de beschikbaarheid van bronnen aan. Op het
vlak van kwaliteit zijn o.a. verzilting en opkomende stoffen een

grote zorg. Directe aanleiding voor het onderzoek vormt de Motie Krul waarin de minister verzocht wordt een strategie en uitvoeringsprogramma te ontwikkelen. De minister ontwikkelt een strategie voor de periode na 2030 om de waterbeschikbaarheid te waarborgen. Het RIVM-onderzoek dient om inzicht krijgen in de plannen, initiatieven en nieuwe mogelijkheden voor de toekomstige drinkwatervoorziening na 2030. Dit geeft opties voor de partijen die de besluiten moeten nemen, met name: drinkwaterbedrijven, provincies en het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, inclusief Rijkswaterstaat. Maar ook waterschappen en gemeentes. Hierbij spelen op dit moment meerdere processen tegelijk waaronder het actieprogramma drinkwaterbronnen 2023-2030, nationaal plan van aanpak drinkwaterbesparing en de kaderrichtlijn water. Ook is er veel politieke aandacht voor (drink)water.

Uiteindelijk betekent dit misschien wel een grote verandering in hoe het toekomstige drinkwatersysteem er uit ziet. Het Ministerie van I&W geeft aan dat het belangrijk voor hen is om de kennis en expertise die beschikbaar is in de drinkwatersector hierbij te betrekken. Zo kan gezamenlijk een toekomstbestendige drinkwatervoorziening vormgegeven worden.

Discussiepunten: Vormgeving samenwerking overheden en drinkwaterbedrijven; Inhoud (drink)watertransitie; Rol industrie in drinkwatervraag; Regierol Rijksoverheid

3. Presentatie RIVM over de projectresultaten

a. Toekomstige conventionele en onconventionele bronnen

Conventioneel

Robin van Leerdam (RIVM) geeft een overzicht van de conventionele bronnen die de drinkwaterbedrijven op dit moment gebruiken. Daarna wordt een overzicht gegeven van de plannen van drinkwaterbedrijven voor inzet van de verschillende conventionele bronnen na 2030. Duidelijk wordt dat de hoofdbron voor de drinkwaterbedrijven conventioneel zal blijven. Wel worden nieuwe manieren onderzocht om met deze bronnen om te gaan. Bijvoorbeeld diepinfiltratie van oppervlaktewater of natuurlijk infiltratie om grondwater aan te vullen als voorraad voor de droge perioden. Daarnaast overweegt Vitens bijvoorbeeld een (interne) uitbreiding van het distributiesysteem waardoor water eenvoudiger uitgewisseld kan worden en bijvoorbeeld centraal gezuiverd kan worden.

Veel drinkwaterbedrijven zijn op zoek naar aanvullende bronnen. Zo wordt gekeken naar lokaal zoet oppervlaktewater. Ook de aanvullende strategische voorraden (ASV's), vastgesteld door provincies, kunnen voor bepaalde drinkwaterbedrijven na 2030 belangrijk worden. Het kan om grote hoeveelheden gaan maar er zijn wel kanttekeningen bij gebruik. Dit omdat ze soms al in gebruik zijn, toch niet bruikbaar zijn of enkel als reserve dienen. Knelpunten die nu spelen voor de conventionele bronnen,

zoals kwaliteit, beschikbaarheid en remmende omgevingsfactoren, zijn er waarschijnlijk ook na 2030 nog.

Onconventioneel

Voor onconventionele bronnen is gekeken naar brak water, zeewater, RWZI-effluent, regenwater en waterstof. Vrijwel alle drinkwaterbedrijven hebben wel een onconventionele bron in onderzoek lopen. Brak grondwater is op dit moment het meest veelbelovend. De verwachting is dat brak grondwater pas na 2030 daadwerkelijk een bijdrage gaat leveren als bron voor drinkwater. Vaak zijn onconventionele bronnen bedoeld als aanvullende bron, of als een terugvaloptie of wordt het ingezet als industriewater. Belangrijke aandachtspunten zijn: de beschikbaarheid/winbaarheid en kwaliteit, technische haalbaarheid, milieu en duurzaamheid, maatschappelijke kosten en baten, perceptie (klantbeleving), koppelingen, bestuurlijke en organisatorische haalbaarheid en de ruimtelijke inpasbaarheid.

Discussiepunten: Nationale of regionale oplossingen; Seizoensberging als alternatief

b. **Zuiveringstechnologie**

Robin van Leerdam geeft een overzicht van geavanceerdere zuiveringstechnologieën die in Nederland gebruikt worden door de verscheidene drinkwaterbedrijven. De benodigde zuivering verschilt voor grondwater en oppervlaktewater. Oppervlaktewater wordt over het algemeen intensiever behandeld dan grondwater. Voor oppervlaktewater wordt standaard een actief koolfilter of poederkool gebruikt. Er worden in toenemende mate geavanceerde zuiveringsmethoden gebruikt in Nederland om aan de kwaliteitseisen te kunnen blijven voldoen. Dit zijn momenteel omgekeerde osmose (RO), nanofiltratie (NF), geavanceerde oxidatie (ozon, UV/H₂O₂) en ionenwisseling. Belangrijke redenen voor drinkwaterbedrijven om geavanceerde zuiveringsmethoden te overwegen is de onzekerheid over de kwaliteit van de bronnen op de lange termijn. Veelvoorkomende problemen zijn verzilting, PFAS en organische microverontreinigingen. Veel bedrijven denken op de lange termijn daarom, alhoewel eigenlijk niet gewild, toch RO nodig te hebben. Het is wel noodzakelijk dat er een werkbaar vooruitzicht is voor het afvoeren of behandelen van de concentraatstromen. Daarnaast zijn er meer innovatieve zuiveringsmethoden in de ontwikkelingsfase en daar komen continu meer nieuwe bij. Het gaat dan o.a. om nieuwe sorbentia, electrocoagulatie en elektrochemische oxidatieprocessen. Deze hebben vaak nog een lage "Technology Readiness Level (TRL)" en zijn daarom (nog) geen reële optie voor de drinkwaterbedrijven op de korte termijn.

Discussiepunten: Bronbescherming moet het uitgangspunt blijven; Verhoogde zuivering leidt af van bronbescherming;

Kosten en baten geavanceerde zuivering; Implementatie zuivering

c. **Klimaatrisico's en adaptieve maatregelen**

Karel As (RIVM) presenteert een verkenning van de klimaatrisico's voor de drinkwatersector. Er is hier gebruik gemaakt van het DPSIR-raamwerk, dit staat voor *Drivers, Pressures, States, Impact* en *Response*. Hieruit kwamen risico's naar voren voor grondwater, zijnde: lage grondwaterstanden, *upconing* van brak grondwater, verzilting grondwater, verslechterde kwaliteit. Voor het oppervlaktewater waren dit: verzilde innamepunten, te lage rivierafvoer, verslechterde kwaliteit, watertemperatuur >25 °C.

Het voorbeeld voor lage grondwaterstanden is vervolgens in de presentatie verder toegelicht alsmede maatregelen. Lage grondwaterstanden worden veroorzaakt door een verhoogde watervraag vanuit landbouw en consument alsmede een veranderde grondwateraanvulling. Op deze punten kan men dus ook maatregelen nemen, zoals waterbesparing op perceelniveau, gedragsverandering bij de consument en het omzetten van naaldbos naar loofbos. Daarnaast zijn er ook generieke maatregelen die genomen worden door drinkwaterbedrijven zoals: het vergroten van reserves in duinen of bekkens, het vergroten van de innamecapaciteit, brondiversificatie en diepinfiltratie. De impact van risico's en de adaptatiecapaciteit is in dit onderzoek nog niet verder onderzocht.

Discussiepunten: Wenselijkheid landbouwirrigatie; keuzes in klimaatadaptatie

4. Parallele sessies:

a. **Workshop 1: Toekomst van de Drinkwaterzuivering (workshopleider: Robin van Leerdam)**

Dit waren de deelconclusies van het onderdeel toekomstige zuiveringstechnologie:

- ✓ Onzekerheid over de kwaliteit van de bronnen op de langere termijn
 - ✓ Deel bedrijven: zo lang mogelijk (na 2030) doorgaan met eenvoudige zuiveringsmethoden
 - ✓ Ander deel bedrijven: uitbreiding geavanceerd zuivering al ingepland
 - ✓ Deel bedrijven: Aanpak PFAS, OMV's met extra AKF, extra regenereren
 - ✓ Op langere termijn (2040, 2050) denken de meeste bedrijven vorm van RO nodig te hebben (deelstroom, volstroom)
 - ✓ Goed vooruitzicht nodig voor afvoeren of behandelen van concentraatstromen
 - ✓ Drinkwaterbedrijven staan open voor nieuwe technologieën, moet wel bewezen zijn
- Aan de deelnemers van de workshop werd gevraagd:
- ✓ Herkent u het geschetste beeld?

- ✓ Wat zijn kansen/mogelijkheden voor de toekomstige drinkwaterzuivering
- ✓ Wat zijn belemmeringen voor de toekomstige drinkwaterzuivering?

Herkent u het geschetste beeld?

Samenvatting opmerkingen:

- ✓ Schone bronnen is het uitgangspunt. Dan is aanvullende zuivering niet nodig.
- ✓ Eenvoudige zuivering niet uit het oog verliezen. Soms is dat nog steeds voldoende.
- ✓ Normen van bepaalde stoffen worden strenger, waardoor de zuiveringsinspanning groter wordt. Dat kan soms onverwacht gebeuren.
- ✓ Nieuwe adsorbentia zijn ook kansen voor de toekomst. Wellicht kunnen stoffen selectief verwijderd worden.
- ✓ Vergunningen (bijv. voor afvoeren concentraat) zijn tijdelijk. Er is lange termijnperspectief nodig.
- ✓ Het uitgangspunt dat de schoonste bron gebruikt wordt (i.v.m. volksgezondheid) is nog steeds actueel.
- ✓ RWZI-effluent in de toekomst als bron voor drinkwater gebruiken is niet voor alle deelnemers logisch en evident.
- ✓ Klimaatneutraal worden is lastiger bij toenemende zuiveringsinspanning.
- ✓ Hoe gaan we om met reststromen van (geavanceerde) zuiveringssystemen? Niet alles is te hergebruiken. Er wordt om regie gevraagd vanuit de overheid.
- ✓ Er zijn verschillende soorten concentraat. Van een rivier is dat anders dan van brak water.
- ✓ Drinkwater moet wel betaalbaar blijven.

Wat zijn kansen/mogelijkheden voor de toekomstige drinkwaterzuivering?

- ✓ Door de juiste technologieën te combineren (zuiveringstrein) kan verregaand gezuiverd worden.
- ✓ Mogelijk nog betere samenwerking tussen instituten, universiteiten en drinkwatersector
- ✓ Beperking industriële lozingen
- ✓ Waterketen als geheel beschouwen. Ook waterschappen meenemen in de drinkwateropgaves.
- ✓ A.I. Slimmere bedrijfsvoering?
- ✓ PFAS verbod EU
- ✓ Lozingsvergunningen regulier herzien en up to date houden.
- ✓ Minimal liquid discharge en concentraatbehandeling.
- ✓ Ontwikkelen (selectieve) adsorbentia
- ✓ Goed subsidie- en vergunningstraject voor grootschalige spaarbekkens.
- ✓ Extra samenwerking en investering tussen drinkwaterbedrijven
- ✓ BBT-technieken kunnen worden aangescherpt
- ✓ Nature based solutions/ bioremediatie
- ✓ Veel aandacht voor proefopstellingen
- ✓ Betere bronbescherming, bijvoorbeeld overstorten Drentsche Aa
- ✓ Nieuwe zuiveringstechnologie biedt meer mogelijkheden voor inzet andere bronnen en buffering in de ondergrond.

- ✓ Technologisch is bijna alles mogelijk, maar niet alles is maatschappelijk wenselijk.
- ✓ Onderzoeksfocus aanbrengen/structureren op toekomstvraagstukken.
- ✓ Landbouw als filtratiesysteem gebruiken, bijv. houtsnipperreactor of biochar.

Wat zijn belemmeringen voor de toekomstige drinkwaterzuivering?

- ✓ Netcongestie (elektriciteitsnet)
- ✓ Beschikbaarheid zuiveringschemicaliën
- ✓ Onbalans beschikbaarheid en vraag
- ✓ Voldoende mensen (nieuwe medewerkers, aannemers) en middelen om ambitieuze plannen te realiseren.
- ✓ Economische belangen en politieke opinie
- ✓ Inspraak en procedure opties in vergunningverlening.
- ✓ Onbekende stoffen, nieuwe normen
- ✓ Impact op N2000 gebieden
- ✓ Capaciteit toeleveranciers
- ✓ R.O. en AKF vragen extra water
- ✓ Afvalstromen en reststromen afvoeren of behandelen
- ✓ Na zuivering is het drinkwaterbedrijf probleemhouder van reststoffen die al in het water zaten.
- ✓ Wetgeving afvalwater herdefiniëren.
- ✓ Toekomstbestendigheid huidige zuiveringsvisie.
- ✓ Hoogte investeringen belemmert structurele wijziging in zuiveringstrein.
- ✓ Nieuwe technologie leidt niet tot zuiniger gebruik maar tot meer uitputting van het totale watersysteem.
- ✓ Zijn alle normeringen van oppervlaktewater en drinkwater wel proportioneel i.r.t. alle omgevingsrisico's die burgers lopen?

b. Workshop 2: Conventionele en onconventionele bronnen
(workshopleider: Monique van der Aa)

Dit waren de deelconclusies van het onderdeel conventionele bronnen:

- ✓ Bestaande bronnen zoveel mogelijk behouden en uitnutten; beschermen voor de toekomst
- ✓ Aanvullende bronnen zoeken: grondwater/ASV's, extra oppervlaktewater
- ✓ Multibronnenstrategie
- ✓ Initiatieven regionaal/lokaal vasthouden water
- ✓ Aanvullingen van grondwater, natuurlijke infiltratie
- ✓ Watersysteem in evenwicht brengen
- ✓ Diepinfiltratie
- ✓ Sommige huidige knelpunten blijven vermoedelijk na 2030 ook nog spelen

Dit waren de deelconclusies van het onderdeel onconventionele bronnen:

- ✓ Onconventionele bronnen: vaak aanvullende bron
- ✓ Niet bij alle drinkwaterbedrijven/provincies in de planning
- ✓ Vaak nog in onderzoeksfase
- ✓ Beschermingsbeleid ontwikkelen

- ✓ Brak (grond)water lopen meeste initiatieven
 - Vergelijkbare procedures doorlopen als bij zoetwaterbronnen
 - Operationeel na 2030
- ✓ Opties zeewater, eventueel RWZI-effluent voor nog langere termijn
- ✓ Regenwater wellicht lokale kleine initiatieven
- ✓ Waterstof komt waarschijnlijk te weinig water bij vrij om als bron voor drinkwater te dienen.

Aan de deelnemers van de workshop werd gevraagd:

- ✓ Herkent u het geschetste beeld?
- ✓ Wat zijn kansen/mogelijkheden voor de toekomstige drinkwaterbronnen?
- ✓ Wat zijn belemmeringen voor de toekomstige drinkwaterbronnen?

Herkent u het geschetste beeld?

Samenvatting opmerkingen:

- ✓ Helft herkent, derde twijfelt, klein deel niet
- ✓ Bronaanpak kreeg bij de presentaties te weinig aandacht. Op jaarbasis is er voldoende water, maar over langere periodes niet: we moeten buffers aanleggen om de piek aan te kunnen
- ✓ Verhaal is nog erg algemeen, regionale verschillen zo groot dat het maatwerk moet worden.
- ✓ Niet alles moet door de provincie worden aangepakt, het Rijk moet ook een grote rol spelen
- ✓ We moeten de verbinding zoeken met andere opgaven. We hebben al op korte termijn grote knelpunten. Het is wellicht breder dan enkel een watertransitie
- ✓ Er wordt snel instrumenteel gedacht, maar we moeten uitzoomen en naar het bredere plaatje kijken. De conventionele bronnen zijn redelijk centraal geregeld, de onconventionele decentraal, hoe gaan we daar mee om.
- ✓ Het beeld is herkenbaar, maar er zijn een heleboel mitsen en maren. De vraag blijft: hoe gaan we dit met zijn allen aanpakken (voorbeeld van lozen concentraat).
- ✓ De individuele problemen van de drinkwaterbedrijven passen niet altijd bij de transitie die we moeten maken. Het zou goed zijn als drinkwaterbedrijven meer buiten hun eigen kaders gaan denken en dat er wordt toegewerkt naar een landelijke visie.
- ✓ Het is goed om maatschappelijke kosten en baten mee te nemen. Als het technologisch mogelijk is dan betekent dat niet dat je het per se moet gaan doen.
- ✓ Back-up van de bronnen blijft nodig, zeker als er alternatieve bronnen worden gebruikt. Dit is veelal decentraal, dus het kan regionaal ook voor extra kosten en nieuwe uitdagingen zorgen. Hoe moeten de verschillende regio's daar mee omgaan?
- ✓ Verschil tussen conventioneel en onconventionele bronnen is niet gelijkwaardig. Belangrijk om dit goed te benoemen in het onderzoek. Het is namelijk niet 50/50 verdeeld eerder 95/5.
- ✓ Het is een ruimtelijk probleem dat nationaal moet worden opgelost
- ✓ De hoeveelheid regen gaat toenemen, maar niet op het gewenste moment. Dus we moeten leren vasthouden.

- ✓ Houd er rekening mee dat aanvullende bronnen niet altijd beschikbaar kunnen zijn. Aan die bronnen zitten ook restricties verbonden.

Wat zijn kansen/mogelijkheden maar ook juist belemmeringen voor de toekomstige drinkwaterbronnen?

Er is veel input opgehaald over mogelijke kansen en belemmeringen, waarbij de grootte van het effect op de waterbeschikbaarheid werd geschat, en of het op korte of langere termijn speelt. Dit wordt ten behoeve van het rapport nog nader geanalyseerd. Hieronder enkele opmerkingen tijdens de discussie erover:

- ✓ De inzet van onconventionele bronnen levert vaak minder volume op dan we nu doen voorkomen.
- ✓ Één bron is niet de toekomst, flexibele bronstrategie is beter
- ✓ Hoe kunnen we de buffers regelen? Bij de Veluwe wordt hier al onderzoek naar gedaan.
- ✓ Grote vraag bij alles blijft: wie gaat het financieren?
- ✓ We moeten naar de brede waterketen kijken, zo kunnen we achterhalen waar de waarestromen liggen en dan inzetten op waar de meeste winst te behalen is.
- ✓ We moeten niet vergeten dat de drinkwaterbedrijven en provincies sterk afhankelijk zijn van de omgeving.
- ✓ Discussie of je moet differentiëren in de kwaliteit van water voor verschillende gebruiken.
- ✓ Media te woord staan is een groot onderdeel van het werk. Dit neemt vaak veel tijd in beslag waardoor er minder tijd is om echt bezig te zijn met de transitie.

c. **Klimaatrisico's en adaptieve maatregelen** (workshopleider: Karel As)

Tijdens de workshop kregen de deelnemers kans om de lijst met klimaat-gerelateerde risico's aan te vullen. Dit gebeurde in drie groepen van 4 mensen. Na het vaststellen van ontbrekende of relevante risico's konden de deelnemers aan de slag om gezamenlijk effectieve maatregelen te bespreken.

Hierbij kwamen vele onderwerpen aan bod wat betreft de gevolgen van hitte en droogte maar ook van overstromingen. Als belangrijke component in de impact van klimaat werd de fysieke inrichting van de omgeving genoemd. Zo werd het voorbeeld gegeven van winpunten die overstromd kunnen raken, vooral in lagergelegen delen. Een andere groep gaf aan dat de ervaren hitte in steden belangrijker is in de watervraag dan de exacte temperatuur in de Bilt. Ook waterleidingen warmen extra op in de bebouwde omgeving. Deze twee groepen stellen dan ook maatregelen voor waarbij er genoeg ruimte is voor de winningen en genoeg groen om het stedelijke hitte-eiland effect tegen te gaan.

Een derde groep kaart ook onomkeerbare veranderingen aan. Bijvoorbeeld de sterfte van mosselen in procesbekkens. Door een te hoge temperatuur kan het zijn dat deze ecosysteemdienst voor langere tijd niet meer beschikbaar is. Een aantal groepen gaven dan ook aan dat winningen flexibeler moeten worden; *back-up* bronnen en seizoenswinningen worden hierbij genoemd als mogelijke maatregelen.

Andere groepen zien ook acceptatie van klimaatgevolgen als een mogelijkheid. In de lijn van de verdringingsreeks, zou het interessant zijn dit verder te preciseren.

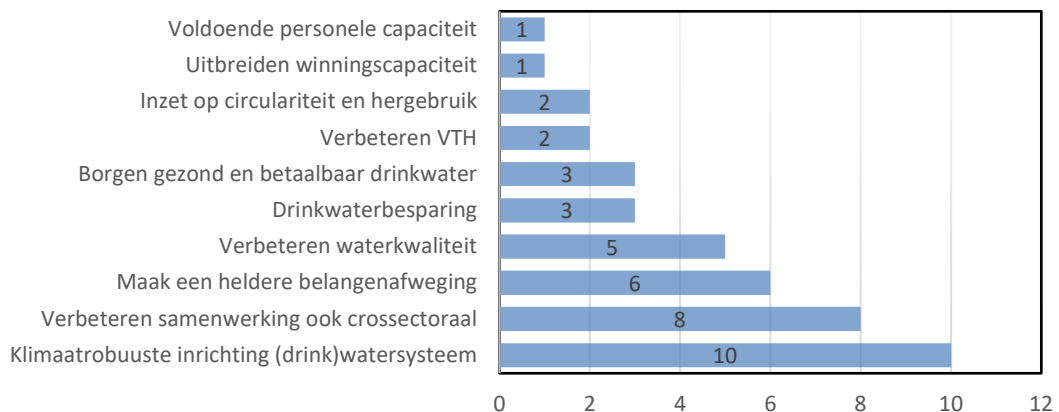
Tot slot kwam naar voren, zowel in de workshop als n.a.v. de presentaties dat klimaatverandering volgens sommige deelnemers ook kansen kan bieden. In absolute zin valt er meer neerslag het is dan vooral zaak dit te bewaren tot in de zomer. Ondanks dat de zorgen overheersen zijn er misschien ook nog andere kansen te vinden naast de uitdagingen waar klimaatverandering ons voor stelt.

5. Afsluiting bijeenkomst

De workshopleiders koppelden terug wat er in de workshops is opgehaald. Vervolgens werd er een afsluitende vraag gesteld met behulp van een Mentimeter. De vraag was:

Wat is het meest cruciale punt voor de drinkwatervoorziening na 2030?

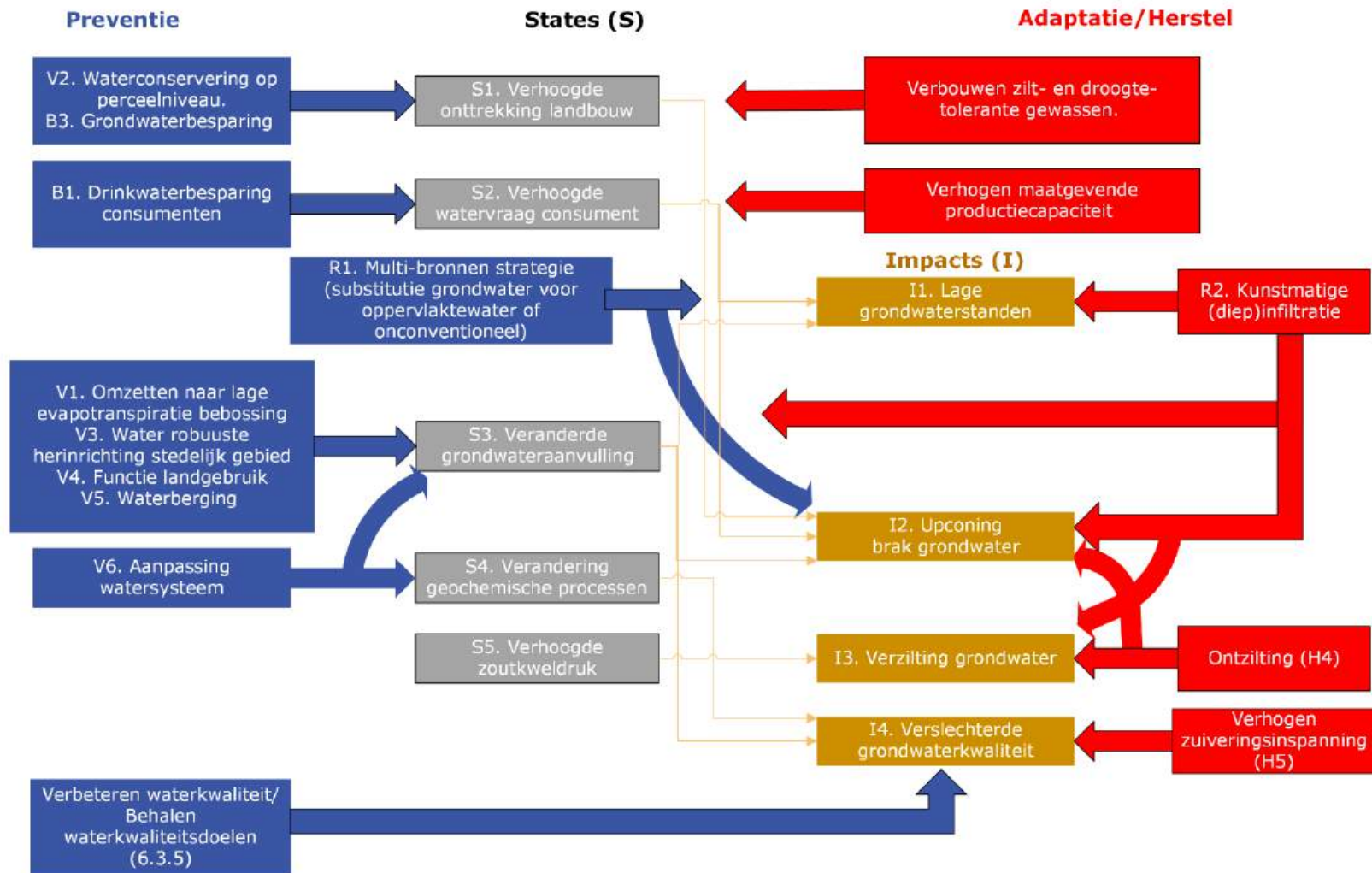
De antwoorden zijn gecategoriseerd weergegeven in onderstaande grafiek. Het realiseren van een klimaatrobuuste inrichting van het drinkwatersysteem was hierbij het meest genoemd. Daarnaast lieten de antwoorden een sterke governance kant zien, waarbij (cross-sectorale) samenwerking en een belangenafweging als voornaamste punten naar boven kwamen. In mindere mate werden ook drinkwaterbesparing, waterkwaliteit, Vergunningverlening, toezicht en handhaving (VTH) en voldoende eigen capaciteit genoemd.



Figuur B1 Cruciale punten voor de drinkwatervoorziening na 2030.

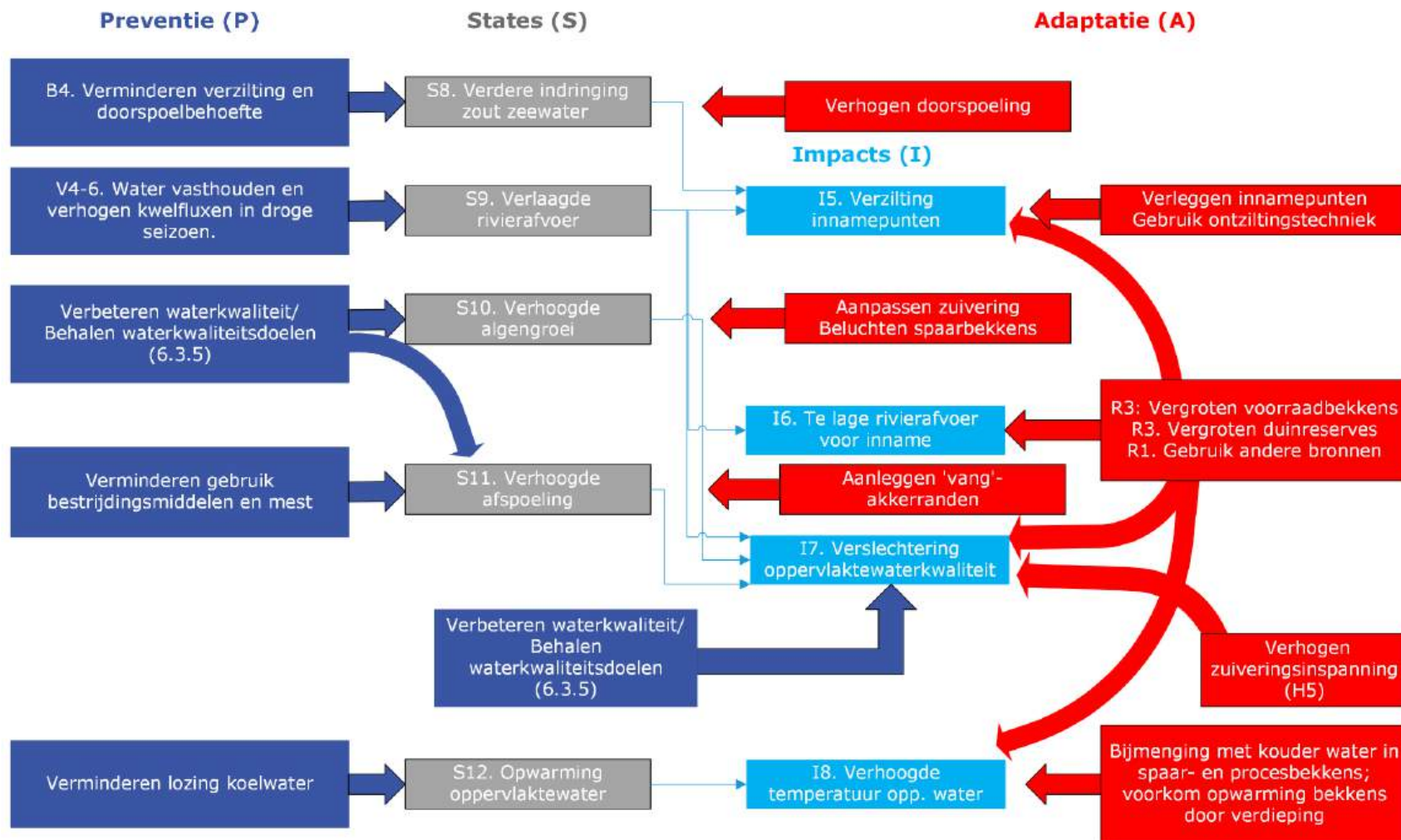
Na deze vraag was er een gezamenlijke lunch om elkaar verder te spreken, kennis te maken en ideeën uit te wisselen.

Bijlage 4 Maatregelen grondwater



Figuur B2 Verkenning van adaptieve en preventieve maatregelen bij de states en impacts voor grondwater die voortkomen uit de klimaatrisico's (Figuur 5.1).

Bijlage 5 Maatregelen oppervlaktewater



Figuur B3 Verkenning van adaptieve en preventieve maatregelen bij de states en impacts voor oppervlaktewater die voortkomen uit de klimaatrisico's (Figuur 5.1).

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

www.rivm.nl

februari 2025

De zorg voor morgen
begint vandaag