

Bedrijfstakonderzoek
BTO 2022.011 | Juni 2022

**Overzicht van bronnen
en maatregelen voor
verbetering
waterbeschikbaarheid
drinkwaterproductie**

Bedrijfstakonderzoek

KWR

Bridging Science to Practice

Rapport

Overzicht van bronnen en maatregelen voor verbetering waterbeschikbaarheid drinkwaterproductie

BTO 2022.011 | Juni 2022

Dit onderzoek is onderdeel van het collectieve Bedrijfstakonderzoek van KWR, de waterbedrijven en Vewin.

Opdrachtnummer

402045/246 (Waterbeschikbaarheid en droogte lange termijn)

Projectmanager

Ir. M.L. (Martin) van der Schans

Opdrachtgever

BTO - Thematisch onderzoek - Bronnen en omgeving

BTO - Thematisch onderzoek – Klant

BTO – Thematisch onderzoek – Thema overstijgend

Auteurs

E.A. (Esther) Brakkee MSc, L.P. (Lennart) Brokx Msc, dr. ir. M.H.J. (Marjolein) van Huijgevoort, dr. S.F. (Sija) Stofberg

Kwaliteitsborger

Dr. ir. R.P. (Ruud) Bartholomeus

Projectbegeleiding

Marleen van der Velden (Brabant Water); Martin de Haan (Brabant Water); Hanneke Vreugdenhil (Vitens); Marie-Louise Geurts (WML); Leon Kors (Waternet); Marieke van Gerven (Evides); Wout Kompagnie (Waterbedrijf Groningen); Ruben Wentink (Dunea); Vincent Dunon (de Watergroep)

Erratum

Na het definitief maken van het rapport is het onderhoud van de bijbehorende app gestopt. De link naar de app is daarom verwijderd in dit rapport (p3 & p8).

Verzonden naar

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar.

Jaar van publicatie
2022

Meer informatie
Msc. Esther Brakkee
T +31 6 52825934
E esther.brakkee@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

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



Juni 2022 ©

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

Managementsamenvatting

Inzicht in bronnen en maatregelen om de drinkwaterbeschikbaarheid te vergroten

Esther Brakkee, Lennart Broxx, Marjolein van Huijgevoort, Sija Stofberg

De beschikbaarheid van voldoende water voor de huidige Nederlandse en Vlaamse drinkwaterproductie is niet vanzelfsprekend. De druk op het beschikbare water zal bovendien verder toenemen door klimaatverandering en een groeiende watervraag. Om de drinkwatervoorziening nu en op lange termijn te verzekeren, zullen drinkwaterbedrijven en hun partners maatregelen moeten nemen, door aanpassingen in de winsystemen en hun omgeving of het benutten van nieuwe bronnen. Dit rapport geeft inzicht in de bronnen en maatregelen die drinkwaterbedrijven zelf kunnen inzetten om de drinkwaterbeschikbaarheid te verbeteren. Voor verschillende gebiedstypen en aspecten van waterbeschikbaarheid (tijd, ruimte, kwaliteit en landschap) zijn overzichten gemaakt van geschikte combinaties van bronnen en maatregelen, als richtlijn voor locatiespecifieke verkenningen.

Belang: Inzicht in bronnen en maatregelen om waterbeschikbaarheid te vergroten

Om de drinkwatervoorziening nu en op lange termijn te verzekeren en het watersysteem robuust te maken zijn ingrepen nodig. De drinkwaterbedrijven zelf kunnen bijdragen door veranderingen te maken in bronnen en winsystemen, maar ook in de inpassing van waterwinning in de omgeving. Er zijn veel verschillende maatregelen mogelijk voor de drinkwaterbedrijven, en de toepasbaarheid van elke maatregel hangt af van het gebiedstype en de lokale waterbeschikbaarheidssituatie. Een goed overzicht is nodig om effectief maatregelen te kunnen nemen.

Aanpak: Literatuuronderzoek

Via literatuuronderzoek is een verkenning gemaakt van beschikbare conventionele en alternatieve bronnen, winconcepten en maatregelen. Deze zijn ingedeeld voor vier verschillende globale gebiedstypen: "Hoog & Droog", "Laagland", "Gemengd Gebied" en "Beperkte Bronnen". De maatregelen zijn geordend op basis van de manier waarop ze de waterbeschikbaarheid verbeteren. Daarbij zijn vier aspecten van waterbeschikbaarheid onderscheiden: tijd, ruimte, kwaliteit en landschap.

Resultaten: Overzicht van bronnen en maatregelen

Dit rapport geeft een overzicht van de mogelijke bronnen en maatregelen voor het vergroten van de waterbeschikbaarheid voor drinkwaterproductie. De resultaten zijn uitgewerkt en weergegeven in overzichten per gebiedstype (zie figuur) van de

beschikbare bron-maatregelcombinaties, geordend naar het waterbeschikbaarheidsaspect dat verbeterd wordt en geprioriteerd op toepasbaarheid. De bronnen variëren van de conventionele bronnen (zoals zoet grondwater en oppervlaktewater) tot meer alternatieve bronnen als zeewater en regenwater. De maatregelen omvatten maatregelen voor verbeterde waterbeschikbaarheid in de tijd (via bijv. berging), verbeterde waterbeschikbaarheid in de ruimte en kwaliteit (via bijv. aangepaste bedrijfsvoering) en verbeterde waterbeschikbaarheid in het landschap (door bijv. aangepast landgebruik). Ook zijn enkele praktijkvoorbeelden van combinaties van bronnen en maatregelen uitgewerkt.

Toepassing: Vergroten waterbeschikbaarheid voor drinkwaterproductie

Het overzicht is nuttig bij gebiedsspecifieke verkenningen als leidraad en inspiratie, om potentiële oplossingen in kaart te brengen voor huidige of toekomstige uitdagingen in de drinkwaterbeschikbaarheid.

Rapport

Dit onderzoek is beschreven in het rapport *Overzicht van bronnen en maatregelen voor verbetering waterbeschikbaarheid drinkwaterproductie* (BTO 2022.011).

		Hoog & Droog <i>Hoge (zand)gronden – Huidige bron zoet grondwater</i>			
Maatregel↓		Bron→	Zoet grondwater	Rest- & spoelwater	Regenwater
✓	✓	✓	A	A	B
		✓	A		B
✓	✓	✓	A		A
		✓	A		A
	✓		A	A	B
✓		✓		B	B
✓		✓	B	B	B
	✓		B		B
✓		✓		B	B
	✓		C		
✓	✓	✓	B	A	C

		Gemengd Gebied <i>o.a. rivierengebied – Huidige bron zoet grond- en oppervlaktewater</i>				
Maatregel↓		Bron→	Zoet grondwater	Oppervlaktewater	Rest- & spoelwater	Regenwater
✓	✓	✓		A	A	B
✓		✓	B	A		B
✓		✓		A	B	B
✓	✓	✓	A	A		A
		✓	A	A		A
✓		✓		A	B	B
✓		✓		A		
	✓		A	A	A	B
✓		✓		A	B	B
	✓		B			B
✓	✓	✓	C	C		
✓	✓	✓	A	A	A	C

		Laagland <i>o.a. veenweidegebieden – Voornamelijk afhankelijk van oppervlaktewater</i>					
Maatregel↓		Bron→	Oppervlaktewater	Polderwater	Rest- & spoelwater	Regenwater	Brak grondwater
✓	✓	✓	A	A	A	B	B
		✓	A	A		B	
✓		✓	A	A	B	B	
✓		✓	A				
	✓					A	
✓		✓	A	A	A	C	A
	✓		A		A	B	
✓	✓	✓	A	A		B	
		✓	B	A		B	
	✓					B	
		✓		B			
✓		✓	B		B	B	
	✓	✓	B				
✓	✓	✓	A	B	A	C	A

		Beperkte Bronnen <i>West-Vlaanderen & Zeeland – Beperkte grond- en oppervlaktebronnen beschikbaar</i>						
Maatregel↓		Bron→	Oppervlaktewater (beperkt)	Grondwater (duinwater)	Rest- & Spoelwater	Regenwater	Brak grondwater	Brak/zout oppervlaktewater
✓	✓	✓	B	B	A	A	A	A
✓		✓	B	B		A	A	B
		✓	B	B		B		A
	✓		B		A	B		
✓	✓	✓	B	B		A		B
		✓	B	B		A		B
	✓					A		
✓		✓	B		B	B		
✓		✓	B		B	B		B
✓		✓	B				A	
✓		✓	B		B	B		B
✓	✓	✓	C	C	A	C	B	C

Overzicht van combinaties van bronnen en maatregelen voor de verschillende gebiedstypen en welke aspecten van de waterbeschikbaarheid (tijd, ruimte, kwaliteit en landschap) verbeterd worden (vier symbolen links). De combinaties zijn geprioriteerd als A-C, waarbij A=algemeen en vaak op korte termijn toepasbaar; B=relevant maar niet overal toepasbaar door lokale beperkingen; C=optie maar meestal aen voorkeur wegens kwetsbaarheid of hooe kosten (zie hoofdstuk 6).

Inhoud

Managementsamenvatting	3
Inhoud	5
1 Inleiding	7
1.1 Achtergrond	7
1.2 Doel	7
1.3 Leeswijzer	8
2 Methode	9
2.1 Bronnen en maatregelen voor waterbeschikbaarheid	9
2.2 Gebiedstypen	10
2.3 Aspecten van waterbeschikbaarheid	11
2.4 Overzicht van mogelijke bron-maatregelcombinaties	12
3 Bronnen	14
3.1 Zoet grondwater	14
3.2 Oppervlaktewater	15
3.3 Polderwater	15
3.4 Restwater	16
3.5 Spoelwater	17
3.6 Brak grondwater	18
3.7 Zeewater en brak oppervlaktewater	18
3.8 Regenwater	19
4 Maatregelen	22
4.1 Verbeteren beschikbaarheid in de tijd: berging en buffering	22
4.1.1 Oppervlakteberging	22
4.1.2 Oppervlakte-infiltratie	23
4.1.3 Diepinfiltratie	24
4.1.4 Brakgrondwateronttrekking	26
4.1.5 Seizoensgebonden winning	27
4.2 Verbeteren beschikbaarheid in ruimte en kwaliteit: bedrijfsvoering	29
4.2.1 Vergroten van de zuiveringscapaciteit	29
4.2.2 Oeverfiltratie	30
4.2.3 Reallocatie van winning	31
4.2.4 Decentrale winning	32

4.2.5	Aanvoer en herverdeling	34
4.2.6	Softwareontwikkelingen: monitoring & afstemming	35
4.3	Verbeteren beschikbaarheid in het landschap	36
4.3.1	Aanpassing landgebruik	36
4.3.2	Aanpassing waterbeheer	40
5	Voorbeelden van combinaties van bronnen en maatregelen	44
5.1	Sallandse Heuvelrug: De Eeuwige Bron	44
5.2	Polderwaterwinning Bethunepolder	46
5.3	Waterwinning Heel	47
5.4	Duingebied Meijendel: FRESHMAN	49
5.5	Duinwaterwinning Koksijde	50
5.6	Drinkwaterwinning Singapore: 'Four National Taps'	52
6	Synthese	55
6.1	Hoog & Droog	56
6.2	Laagland	56
6.3	Gemengd gebied	57
6.4	Beperkte bronnen	58
	Referenties	60

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De beschikbaarheid van voldoende water voor de huidige Nederlandse en Vlaamse drinkwaterproductie is niet vanzelfsprekend. Op veel plekken wordt de waterbeschikbaarheid voor drinkwater op dit moment al beperkt tijdens periodes met watertekorten of door negatieve invloeden op de omgeving (Driezum et al., 2020a; VMM, 2021c). In de toekomst zal de druk op het beschikbare water bovendien verder toenemen door klimaatverandering en een groeiende watervraag (Dorland et al., 2018; Mens et al., 2020a; Pronk et al., 2020). Om de drinkwatervoorziening nu en op lange termijn te verzekeren, zullen er maatregelen genomen moeten worden door de drinkwaterbedrijven en andere partijen zoals de Rijksoverheid, provincies en waterschappen. Deze rapportage richt zich op de mogelijkheden voor drinkwaterbedrijven zelf om, al of niet in samenwerking met andere partijen, de waterbeschikbaarheid te vergroten. Daarbij moet gekeken worden naar de bronnen en de winsystemen, maar ook naar de inpassing van de winning van water in de omgeving, ofwel het robuuster maken van het watersysteem. Zo kan drinkwater dusdanig geproduceerd worden dat het effect op het watersysteem en andere actoren wordt beperkt.

Er zijn veel mogelijkheden voor drinkwaterbedrijven om de waterbeschikbaarheid voor drinkwater te vergroten en het watersysteem robuuster te maken. Het vergroten van de waterbeschikbaarheid kan enerzijds door gebruik te maken van nieuwe, conventionele of onconventionele, winningen en bronnen. Anderzijds kunnen maatregelen worden genomen – aanpassingen in winsystemen of in de omgeving – om de huidige bronnen en winningen te optimaliseren en beter in te passen in de omgeving. Er is een breed palet aan mogelijke bronnen en maatregelen die onderdeel kunnen uitmaken van strategieën voor drinkwaterbeschikbaarheid. Bij (toekomstige) waterbronnen kan worden gedacht aan conventionele bronnen als zoet grond- en oppervlaktewater, maar door verbeterde zuiveringstechnieken komen ook alternatieve bronnen zoals brakwater en restwater steeds meer in beeld als potentiële drinkwaterbron (Stofberg et al., 2019). Maatregelen in winsystemen of de omgeving kunnen zich richten op het efficiënter gebruik maken van de huidige waterbronnen, bijvoorbeeld door een winning seizoensmatig aan te passen of opslagmogelijkheden te vergroten. Ook kunnen ze zich richten op het beperken van de impact van een winning op de omgeving, bijvoorbeeld door actieve infiltratie of aanpassing van landgebruik.

De verschillende bronnen en maatregelen staan niet op zichzelf. In de praktijk zal voor een drinkwatervoorzieningsgebied worden gewerkt met een combinatie van één of meerdere bronnen met één of meerdere winsystemen of maatregelen. Wanneer op een onconventionele bron wordt ingezet, zal meestal ook een aanpassing in de win- en zuiveringssystemen nodig zijn – denk aan de benodigde extra zuivering bij gebruik van restwater. Wanneer een maatregel wordt genomen, zoals het seizoensmatig variëren van onttrekkingen of het vergroten van berging, zal dit op een heel andere manier moeten gebeuren wanneer het om een oppervlaktewaterwinning gaat dan voor een grondwaterwinning. De praktijk laat zien dat oplossingen voor waterbeschikbaarheidsvraagstukken juist gevonden kunnen worden door verschillende bronnen van water en maatregelen te combineren (Hoofdstuk 5).

1.2 Doel

In dit rapport wordt een overzicht gegeven van de mogelijkheden voor drinkwaterbedrijven voor het vergroten van de waterbeschikbaarheid voor drinkwaterproductie. Het doel van dit rapport is om een overzicht te geven van beschikbare bronnen en maatregelen. De focus ligt op maatregelen die drinkwaterbedrijven zelf kunnen nemen, in hun eigen bedrijfsvoering en op hun eigen terreinen, mogelijk in samenwerking met gebiedspartners.

Waterbesparing door gebruikers is geen onderdeel van dit rapport, maar wordt bekeken binnen een ander werkpakket (WP4) van dit project.

1.3 Leeswijzer

De methode die is toegepast bij het samenstellen van het overzicht en de indeling op gebiedstypen en uitdagingen wordt besproken in Hoofdstuk 2. De mogelijke waterbronnen worden besproken in Hoofdstuk 3. De verschillende maatregelen die mogelijk zijn voor het oplossen van verschillende uitdagingen in de waterbeschikbaarheid, worden besproken in Hoofdstuk 4. In Hoofdstuk 5 worden als inspiratie enkele voorbeelden besproken uit de praktijk, waarin verschillende bronnen en maatregelen op een slimme manier zijn gecombineerd om in de drinkwatervraag te voorzien. Het rapport wordt afgesloten met een synthese (Hoofdstuk 6), waarin per gebiedstype een overzicht wordt gegeven van de beschikbare bronnen en maatregelen voor het verbeteren van de drinkwaterbeschikbaarheid.

2 Methode

2.1 Bronnen en maatregelen voor waterbeschikbaarheid

Om de waterbeschikbaarheid voor drinkwaterproductie te vergroten, kunnen drinkwaterbedrijven ofwel nieuwe bronnen aanwenden, ofwel maatregelen nemen in de bestaande winsystemen en hun omgeving. Een toekomststrategie voor een voorzieningsgebied zal in de praktijk bestaan uit een combinatie van één of meerdere bestaande of nieuwe bronnen, en één of meerdere maatregelen. In deze rapportage worden de volgende definities gehanteerd:

Bron: Een waterstroom of -reservoir, waarvan het water door drinkwaterbedrijven gezuiverd kan worden tot drinkwater, of gebruikt kan worden voor compenserende maatregelen.

Maatregel: Actie die ondernomen kan worden om bij een bestaande of nieuw te ontwikkelen winning de totale waterbeschikbaarheid te vergroten. Dit kan ofwel door direct de watervoorraad te vergroten, ofwel indirect door de leveringszekerheid te vergroten, de waterkwaliteit te verbeteren of de negatieve impact op de omgeving te verkleinen.

Om een overzicht te krijgen van mogelijke bronnen en maatregelen is een literatuuronderzoek uitgevoerd, waarin conventionele en alternatieve bronnen, winconcepten en maatregelen zijn verkend. Bij de selectie van de verschillende *bronnen* is er bewust voor gekozen om alleen die bronnen mee te nemen waarvan de uitvoerbaarheid reëel wordt geacht. Voor een uitgebreider overzicht met ook minder makkelijk toepasbare of minder onderzochte alternatieve bronnen wordt verwezen naar Stofberg et al. (2019). Voor iedere bron is een overzicht gegeven van de beschikbaarheid, de kwaliteit en de praktijkervaring met de betreffende bron in Nederland, Vlaanderen en daarbuiten.

Bij het verzamelen van *maatregelen* lag de focus op maatregelen die reëel op redelijk korte termijn uitgevoerd zouden kunnen worden door drinkwaterbedrijven in Nederland en Vlaanderen, eventueel in samenwerking met partners. Er is gekeken naar recente en oudere praktijkvoorbeelden uit Nederland en Vlaanderen, maar ook naar voorbeelden vanuit het buitenland. Voor iedere maatregel is de volgende informatie verzameld:

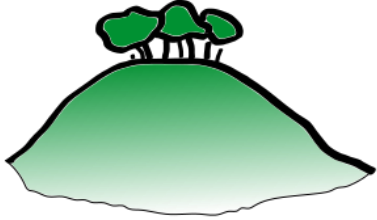



- De werking van de maatregel;
- Effect op drinkwaterkwantiteit en -kwaliteit;
- (Landschappelijke) eisen voor toepassing en schaal van toepassing;
- De uitvoerbaarheid voor het drinkwaterbedrijf zelf of de noodzaak tot samenwerking met andere partijen;
- Mogelijke nadelige effecten én bijkomende voordelen voor andere functies in het landschap;
- Praktijkervaring met en voorbeelden van huidige toepassing;
- Mogelijkheden voor combinaties met andere maatregelen.

Voor een specifieke winning of regio zullen niet alle bronnen en maatregelen toepasbaar zijn. Welke oplossingen potentie hebben hangt af van het landschapstype en van wat voor uitdagingen precies spelen in het gebied. Om richting te geven aan het selecteren van opties voor concrete gebieden, is een indeling gemaakt in verschillende *gebiedstypen* en *aspecten van waterbeschikbaarheid*. Deze indeling wordt hieronder besproken.

2.2 Gebiedstypen

De kenmerken van de watervoorziening lopen uiteen tussen verschillende gebieden in Nederland en Vlaanderen. Er zijn vier generieke gebiedstypen onderscheiden, gebaseerd op de (geo)hydrologische landschapkenmerken, de daaruit volgende beschikbaarheid van zoet grond- en oppervlaktewater, en de belangrijkste uitdagingen die nu en in de toekomst spelen op het gebied van waterbeschikbaarheid (Tabel 2-1). In de praktijk zullen veel gebieden niet strak in één van de gebiedsklassen vallen. Zo zijn de duingebieden bij het 'Beperkte Bronnen'-gebiedstype ingedeeld, omdat de natuurlijke voorraad zoet duingrondwater hier meestal te beperkt is om in de watervraag van de regio te voorzien, waardoor van elders (infiltratie)water moet worden aangevoerd. De gebiedstypen zijn echter gebruikt als globale richtlijn om aan te duiden welke bronnen en maatregelen waar in Nederland en Vlaanderen relevant zijn. Bij elke drinkwaterbron die besproken wordt in Hoofdstuk 3 wordt dan ook aangegeven bij welke gebiedstypes deze bron tot de mogelijkheden behoort aan de hand van de symbolen gedefinieerd in Tabel 2-1. In Hoofdstuk 6 is een overzicht gegeven van de mogelijke bron-maatregelcombinaties voor elk van de vier gebiedstypen.

Tabel 2-1: Kenmerken van de vier gebiedstypen

<p>H Hoog & Droog</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoger gelegen (zand) gebieden met weinig grote wateren • Huidige belangrijkste bron: zoet grondwater • Oppervlaktewater beperkt beschikbaar • Grootste uitdaging: verdroging • Voorbeeld: hoge zandgronden (Noord-Brabant, Twente)
<p>L Laagland</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Laaggelegen (veen/klei)gebied rond rivieren en meren • Huidige belangrijkste bron: zoet oppervlaktewater • Grondwater voornamelijk brak of zout, op sommige locaties zoet polderwater aanwezig • Grootste uitdagingen: verontreiniging en verzilting • Voorbeeld: veenweidegebied
<p>G Gemengd Gebied</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • (Hoger gelegen) gebieden rond rivieren en meren • Huidige bronnen: zoet grond- en oppervlaktewater • Grootste uitdagingen: verdroging en verontreiniging • Voorbeeld: rivierengebied, Limburg
<p>B Beperkte Bronnen</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Gebieden met beperkte en/of brakke/zoute grond- en oppervlaktewatervoorraden; soms wel kleine zoete oppervlaktewatersystemen of beperkte zoete grondwatervoorraden, met name in de duingebieden, aanwezig • Huidige bronnen: aanvoer van buiten het gebied, duinwater, beperkte lokale grond- en oppervlaktewaterbronnen • Grootste uitdaging: totale zoetwatervoorraad, verzilting • Voorbeeld: Zeeland, West-Vlaanderen

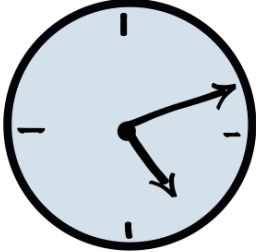
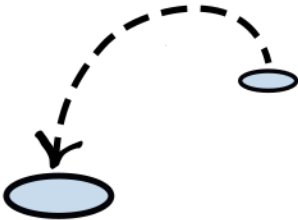


2.3 Aspecten van waterbeschikbaarheid

Knelpunten in de waterbeschikbaarheid voor drinkwater, nu of in de toekomst, kunnen zich op verschillende manieren manifesteren. Zo kan het zijn dat er wel genoeg water is, maar niet op het goede moment, wat vraagt om maatregelen als extra buffering. Wanneer de beschikbaarheid door kwaliteitsproblemen wordt beperkt kan juist op extra zuivering worden ingezet. Globaal kunnen er vier aspecten van waterbeschikbaarheid worden onderscheiden, die in een gebied de (toekomstige) drinkwatervoorziening kunnen beperken: beschikbaarheid in tijd, ruimte, kwaliteit en landschap.

- **Tijd:** In dit geval komt de beschikbaarheid van water in de tijd niet overeen met de watervraag. Er ontstaan bijvoorbeeld watertekorten in de zomer als de vraag hoger is, terwijl er op jaarbasis voldoende water beschikbaar is.
- **Ruimte:** Er is onvoldoende water beschikbaar in een bepaalde regio of locatie voor drinkwaterproductie, terwijl in andere gebieden wel voldoende water is.
- **Kwaliteit:** Het water dat beschikbaar is in een bepaald gebied is van onvoldoende kwaliteit voor drinkwaterproductie.
- **Landschap:** De drinkwaterwinning wordt beperkt door effecten op of van andere watergebruikers en -functies (bijv. landbouw, natuur) in de omgeving.

De verschillende maatregelen die in Hoofdstuk 4 worden besproken, dragen ieder bij aan het oplossen van één of meerdere van deze uitdagingen. Op basis van welke uitdaging in een gebied speelt, zal dus een maatregel worden gekozen die effect heeft op dat aspect van de waterbeschikbaarheid. In Tabel 2-2 **Error! Reference source not found.** worden de vier waterbeschikbaarheidsaspecten verder toegelicht.

Tabel 2-2: Overzicht van de vier gedefinieerde aspecten van waterbeschikbaarheid met bijbehorende uitdagingen en oplossingsrichtingen.

Aspect waterbeschikbaarheid	Uitdaging in gebied rond winning	Oplossingsrichting
Beschikbaarheid in tijd 	<ul style="list-style-type: none"> De beschikbaarheid van water in de tijd matcht niet met de vraag Drinkwaterwinning, natuur en landbouw beperken elkaar in bepaalde seizoenen 	<ul style="list-style-type: none"> Maatregel zorgt ervoor dat overschotten in tijden van overvloed gebruikt kunnen worden in tijden van droogte en/of tekorten. Maatregel kan fungeren om (dagelijkse/jaarlijkse/meerjarige) cycli (bijv. seizoensafhankelijke beschikbaarheid van een bron) of onverwachte calamiteiten te ondervangen
Beschikbaarheid in ruimte 	<ul style="list-style-type: none"> Onvoldoende drinkwaterbronnen beschikbaar in regio of op winlocatie 	<ul style="list-style-type: none"> Maatregel zorgt ervoor dat water uit een gebied met een overschot naar een gebied met een tekort verplaatst wordt. Kan zowel gaan om de verplaatsing van de drinkwaterwinning als gebruik van een alternatieve drinkwaterbron op een andere locatie
Beschikbaarheid in kwaliteit 	<ul style="list-style-type: none"> Beschikbare water is van onvoldoende kwaliteit (tijdelijk of permanent) 	<ul style="list-style-type: none"> Maatregel zorgt voor een verbetering van de waterkwaliteit van ruwwater of drinkwater Maatregel kan leiden tot een toegenomen beschikbaarheid van een drinkwaterbron
Beschikbaarheid in het landschap 	<ul style="list-style-type: none"> Watertekort of verdroging op regionale schaal Winning heeft effect op omgeving of ondervindt effecten van omgeving 	<ul style="list-style-type: none"> Maatregel zorgt voor een grotere wateraanvulling en -beschikbaarheid op landschapsschaal Maatregel zorgt ervoor dat de effecten van drinkwaterwinning op het landschap verminderen Maatregel zorgt ervoor dat effecten van landgebruik op drinkwaterwinning verminderen

2.4 Overzicht van mogelijke bron-maatregelcombinaties

In een concreet drinkwatervoorzieningsgebied zijn, afhankelijk van het gebiedstype, verschillende meer en minder conventionele waterbronnen aanwezig. Elk type bron kan in combinatie met verschillende maatregelen ingezet worden om (een aspect van) de waterbeschikbaarheid in het gebied te verbeteren. Om dit te illustreren is een aantal voorbeelden van combinaties van bronnen en maatregelen uit de praktijk verder uitgewerkt in Hoofdstuk 5. In Hoofdstuk 6 wordt voor elk van de vier landschapstypen in tabellen een overzicht gegeven van de beschikbare bronnen, alsmede de verschillende maatregelen die ingezet kunnen worden voor elke bron. De tabellen zijn ingestoken met de volgende vraag:

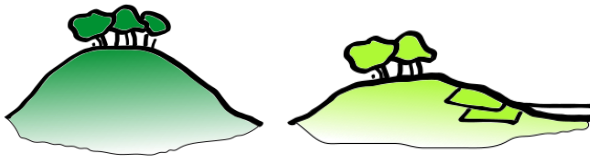
Gegeven een bepaalde (drink)waterbron, welke maatregelen kunnen er genomen worden om de totale beschikbaarheid van drinkwater in tijd, ruimte, kwaliteit en/of landschap te vergroten?

De tabellen hebben als doel om inzicht te geven in de mogelijkheden die er zijn binnen de vier gebiedstypes besproken in Paragraaf 2.2. Ze kunnen zowel beschouwd worden vanuit een bestaande drinkwaterwinning als vanuit een nieuw te ontwikkelen drinkwaterwinning. Daarbij wordt ook aangegeven welk aspect van waterbeschikbaarheid door de betreffende maatregel verbeterd wordt.

3 Bronnen

Eén van de manieren om de drinkwaterbeschikbaarheid in een gebied te verbeteren, is door (deels) gebruik te maken van een nieuwe bron. Deze kan als alternatief voor of aanvulling op de huidige bron worden gebruikt, of als bron voor compenserende maatregelen. Ook wanneer geen nieuwe bronnen worden gebruikt, geldt dat het type bron zeer bepalend is bij de keuze van de maatregelen besproken in hoofdstuk 4. Hier worden de belangrijkste waterbronnen besproken, in volgorde van conventioneel naar meer experimenteel.

3.1 Zoet grondwater



Zoet grondwater is van oudsher een belangrijke bron van drinkwater in zowel Nederland als Vlaanderen. In Nederland is meer dan de helft (ca. 58%) van het geproduceerde drinkwater afkomstig uit grondwater (VEWIN, 2020), waarvan het overgrote deel direct geproduceerd wordt uit zoetwaterbronnen op de (hoge) zandgronden. Ook de winning van natuurlijk duinwater valt hieronder, die ca. 1% van de drinkwaterbehoefte dekt (VEWIN, 2020). In totaal gaat het om zo'n 700 miljoen kubieke meter (Mm³) per jaar bij 187 grondwaterwinningen. Vanaf begin jaren 1990 daalde het gebruik van grondwater voor drinkwaterproductie parallel aan het totale drinkwaterverbruik. De laatste jaren is er echter bij beide weer een toename waar te nemen (Geudens & van Grootveld, 2017; VEWIN, 2020).

In Vlaanderen is het aandeel van grondwater in de totale drinkwaterproductie iets lager, ca. 48%, wat gelijk is aan 373 Mm³ (VMM, 2020a). Dit grondwater is afkomstig uit 144 grondwaterwinningen, waarvan er zich 22 in Wallonië bevinden (VMM, 2021c). In tegenstelling tot Nederland wordt de toename van de drinkwatervraag de laatste jaren in Vlaanderen vooral opgevangen met gebruik van oppervlaktewater, waardoor het gebruik van zoet grondwater voor de drinkwaterproductie nauwelijks toenam (Peeters, 2020).

Het gebruik van zoet grondwater ten opzichte van andere drinkwaterbronnen heeft twee duidelijke voordelen:

- Ten opzichte van andere bronnen heeft grondwater over het algemeen een hoge kwaliteit, waardoor minder zuivering nodig is.
- De voorraad zoet grondwater is enorm, naar schatting ca. 1.100 miljard m³ (Stuurman et al., 2008). Het gedeelte van deze voorraad dat duurzaam gewonnen kan worden is echter een stuk kleiner. Deze hoeveelheid wordt bepaald door de grondwateraanvulling door het neerslagoverschot, wegzijging naar oppervlaktewater, grondwaterstroming uit het buitenland en kunstmatige infiltratie (Stofberg et al., 2019). Daarnaast wordt de duurzaam winbare hoeveelheid beperkt door andere waterfuncties in de omgeving van een winning.

Het gebruik van grondwater als drinkwaterbron, met name freatisch grondwater, heeft enkele potentiële nadelen:

- De beschikbaarheid van freatisch grondwater is direct afhankelijk van neerslag, waardoor de waterbeschikbaarheid vermindert tijdens langdurige droogte. Dieper grondwater wordt daarentegen juist heel langzaam aangevuld (VMM, 2021b), waardoor overexploitatie op lange termijn kan leiden tot uitputting en verzilting van de grondwater voorraad.

- Daarnaast is freatisch grondwater gevoelig voor antropogene verontreinigingen die doorsijpelen vanaf het oppervlak (Stofberg et al., 2019; VMM, 2021b).
- Het onttrekken van grondwater kan daarnaast ook schade aan het oppervlakte opleveren, zoals schade aan de landbouw en natuur door verdroging en verzilting. Ook kan de verlaagde grondwaterstand leiden tot zettings- en funderingsschade aan bebouwing en infrastructuur (Ramaker et al., 2006).

3.2 Oppervlaktewater



Oppervlaktewater is beschikbaar in rivieren, meren en kanalen, maar ook andere wateren zoals sloten en moerasgebieden. In Nederland en Vlaanderen komt jaarlijks zo'n 70 miljard m³ water binnen via de Rijn en Maas en 4 miljard m³ uit de Schelde (Stofberg et al., 2019) aangevuld met instroom door kleinere rivieren en lokale afvoer. Op dit moment wordt in Nederland en Vlaanderen drinkwater geproduceerd uit oppervlaktewater uit de Rijn, Maas en Schelde en hun zijtakken; uit kleinere rivieren zoals de Vecht, Drentsche Aa en de IJzer en verschillende beken en kanalen in Vlaanderen; en uit het IJsselmeer. Oppervlaktewater wordt behalve voor drinkwater gebruikt voor peilbeheer en beregening, industrie, scheepvaart en recreatie; daarnaast is voldoende oppervlaktewater belangrijk voor (aquatische) ecologische waarden.

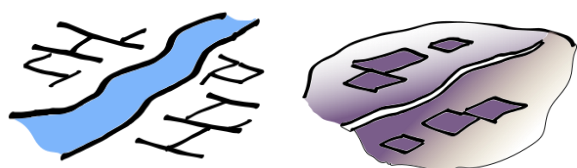
De kwantiteit van water in rivieren is zeer variabel over het jaar, waarbij de afvoer in droge zomerperioden slechts een paar procent kan zijn van de gemiddelde afvoer (Maas) of grotendeels afhankelijk van effluent (Vecht) (van Vugt et al., 2017). Met name in kleinere, regenwaterafhankelijke riviersystemen betekent dit dat in droge perioden (Drentsche Aa) (van der Meulen et al., 2019) of in alle zomermaanden (o.a. Kluizen) (DWG, 2017) een andere bron of grootschalige opslag nodig is. Lage rivierafvoeren worden in de toekomst vaker verwacht. Bij lage afvoeren is bovendien het risico op kwaliteitsproblemen groter, waardoor het beschikbare water over kortere of langere perioden ongeschikt is om drinkwater van te maken.

Oppervlaktewater heeft vaak een zeer variabele kwaliteit, afhankelijk van afvoer, lozingen en andere processen in het stroomgebied. Ruw oppervlaktewater bevat onder andere zwevende deeltjes, micro-organismen en organische micro-organismen. De kwaliteit van Nederlandse en Vlaamse oppervlaktewateren is de afgelopen decennia sterk verbeterd, maar het risico op humane verontreinigingen (bestrijdingsmiddelen, industriële stoffen, medicijnresten) neemt toe.

Ondanks de lagere kwaliteit is oppervlaktewater in grote delen van Nederland ruim beschikbaar en geeft de winning vaak relatief weinig omgevingschade. Er worden door sommigen dan ook ideeën voorgesteld voor een gedeeltelijke verschuiving van drinkwaterwinning van grondwater naar oppervlaktewater in sommige regio's (Baptist et al., 2019; Vitens, 2020d).

Hier en in de rest van dit document spreken we bij 'oppervlaktewater' van zoet oppervlaktewater. In paragraaf 3.7 worden ook zeewater en brak oppervlaktewater als bron besproken.

3.3 Polderwater



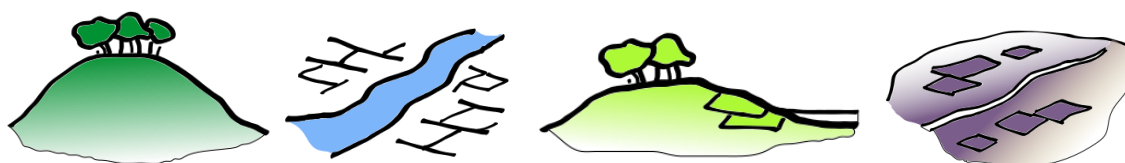
Uit polders en andere laaggelegen gebieden worden jaarlijks grote hoeveelheden water weggepompt om het grondwater voldoende laag te houden voor de bijbehorende landschapsfuncties zoals landbouw of bebouwing. Dit overtollige water is afkomstig uit het neerslagoverschot en kwel uit omliggende gebieden. Het polderwater kan uit sloten of bij gemalen worden gewonnen. Stofberg et al. (2019) hebben geschat dat bij een gemiddeld Nederlands poldergemaal in de orde van enkele Mm^3 per jaar aan water uitgemalen wordt. Deze hoeveelheid varieert wel sterk over het jaar, met meestal een zeer lage stroom in de zomer, waarbij vaak juist water in moet worden gelaten om de grondwaterstand voldoende hoog te houden.

In Nederland wordt polderwater op dit moment op één locatie voor drinkwater toegepast, namelijk in de Bethunepolder door Waternet (Engel et al., n.d.). In het verleden is polderwater ook gebruikt voor waterproductie in de duinen bij Ouddorp (Goeree). Daarnaast is het water dat in normale (rivier)oppervlaktewaterwinningen wordt gebruikt meestal deels afkomstig uit uitgemalen polderwater (Schreuders et al., 2019). In Vlaanderen wordt polderwater deels gebruikt in drinkwaterwinning de Blankaart. Een andere situatie is te vinden bij winning Eisden, waar grondwater, opgepompt om wateroverlast door mijnverzakkingen te voorkomen, voor drinkwaterproductie wordt toegepast.

Polderwater wordt ook gebruikt voor industriële toepassingen. In Zeeuws-Vlaanderen zijn bijvoorbeeld initiatieven om polderwater op te slaan in de winter voor industriële toepassing (van der Werf, 2020), een concept waarmee ook wordt geëxperimenteerd bij opslag van polderwater voor irrigatie in kreekruggen (Van Dooren, 2018).

Omdat het water in poldersloten deels bestaat uit afgestroomd water van landbouwpercelen bevat het relatief hoge concentraties nutriënten en bestrijdingsmiddelen (Engel et al., n.d.; Stofberg et al., 2019). De samenstelling is, behalve van het landgebruik, afhankelijk van de hoeveelheid kwel en de chemie daarvan. In grote delen van laag-Nederland is het kwelwater dat in polders omhoog komt brak. De afgelopen jaren zijn verschillende initiatieven gestart rond het ondergronds winnen van deze brakke kwel en zuivering tot drinkwater. Deze optie wordt besproken onder 'brak grondwater'.

3.4 Restwater



In de meeste sectoren waar water wordt gebruikt komen substantiële restwaterstromen vrij. Deze worden op dit moment meestal met het oppervlaktewater afgevoerd, maar zouden een belangrijke waterbron kunnen vormen (Pronk et al., 2020). Stofberg et al. (2019) schatten in dat effluent van rioolwaterzuiveringsinstallaties en industrieel restwater op dit moment de best herbruikbare restwaterstromen zijn.

In Nederland en Vlaanderen liggen ruim 600 RWZI's (CBS, 2021b; Stofberg et al., 2019), vaak gelegen in de buurt van steden en vlakbij oppervlaktewater. De Nederlandse RWZI's lozen jaarlijks zo'n 1,9 miljard m^3 , in orde-grootte vergelijkbaar met het Nederlandse drinkwatergebruik van ongeveer 1,2 miljard m^3 (CBS, 2021b; Geudens & van Grootveld, 2017). Het influent van Vlaamse RWZI's lag in 2011-2020 rond 780 Mm^3 /jaar (VMM, 2021b). Het RWZI-influent bestaat uit grofweg de helft afvalwater van huishoudens en bedrijven, zo'n 30% regenwater en een kleiner deel 'rioolvreemd water' afkomstig van infiltrerend grond- en oppervlaktewater in leidingen (Liefing & de Man, 2017; Roex et al., 2021). Het aandeel afvalwater is redelijk constant over de tijd, het aandeel regenwater varieert en is verhoogd na buien.

RWZI-effluent bevat verhoogde gehalten aan verschillende vervuilende stoffen, met name nutriënten, pathogenen en microverontreinigingen (Roex et al., 2021). Dit betekent dat een verhoogde zuiveringsinspanning nodig is voor

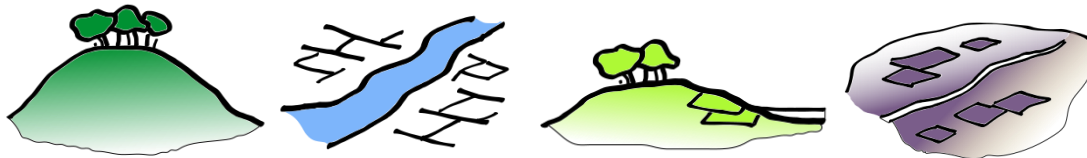
productie tot drinkwater. Wel is de zuivering de afgelopen decennia steeds beter geworden en lopen op veel plekken initiatieven voor verder geavanceerde zuivering (Martijn et al., 2021).

RWZI-effluent wordt op dit moment al ingezet voor drinkwater in Vlaanderen, waar effluent na een aanvullende zuivering wordt geïnfilteerd in de duinen voor drinkwaterproductie (IWVA, n.d.). Ook bij waterproductiecentrum de Blankaart in West-Vlaanderen wordt het gebruik van RWZI-water voor drinkwater onderzocht (De-Watergroep, 2020). Ook in de huidige situatie bestaat het ingenomen water voor oppervlaktewaterdrinkwaterwinningen soms voor een substantieel deel uit geloosd RWZI-effluent (Beard et al., 2019; van Vugt et al., 2017). Gericht hergebruik met gezuiverd RWZI-effluent voor drinkwater wordt buiten Europa al vaker toegepast (Stofberg et al., 2019). Ook bestaan er voorbeelden van hergebruik van RWZI-effluent voor landbouw en industrie (Bartholomeus et al., 2018; Dow, n.d.; EFGF, n.d.-a; Roex et al., 2021).

Industriële afvalstromen worden geproduceerd door allerlei verschillende industrieën, zoals de energie-industrie en productie van voedingsmiddelen, chemische stoffen en andere goederen. Het volume van de restwaterstroom is zeer afhankelijk van de situatie; de stroom is soms constant over de tijd, soms variabel. De kwaliteit van het restwater wisselt sterk afhankelijk van het type industrie en de mate van hergebruik of extra voorzuivering. Stofberg et al. (2019) concludeerden dat restwater uit de voedingsmiddelenindustrie één van de industriële bronnen is met de meeste potentie. Zij schatten in dat uit bijvoorbeeld in de suiker- en aardappelindustrie uit een fabriek in de orde grootte van 2,5 Mm³/jaar restwater vrij komt (Stofberg et al., 2019). De kwaliteit is in dit geval wel een knelpunt.

Industrieel restwater wordt al wel regelmatig hergebruikt in de betreffende fabrieken zelf of voor bijvoorbeeld irrigatie (De-Watergroep, n.d.; Dow, n.d.; EFGF, n.d.-b). Daarbij wordt het water soms tot een zeer goede kwaliteit gezuiverd, soms zelfs tot drinkwaterkwaliteit. Dit hergebruik draagt bij aan reducties van het gebruik van drinkwater of (schaarse) grond- en oppervlaktewaterbronnen.

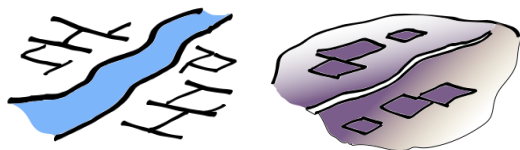
3.5 Spoelwater



Bij productie van drinkwater komt restwater vrij. Dit is onder andere afkomstig vanuit het spoelen van verschillende filters en slibontwatering. De grootte van de spoelwaterstroom varieert, afhankelijk van het type zuiveringsproces (Wouters et al., 1994) maar ligt op enkele procenten van de totale drinkwaterproductie. Het gemiddelde productieverlies van Nederlandse drinkwaterbedrijven (verlies/drinkwaterproductie) ligt op ongeveer 4% van de totale drinkwaterproductie, of 44 Mm³/jaar (2016) (Geudens & van Grootveld, 2017); in Vlaanderen is het totale productieverlies ingeschat als 5 Mm³ in 2019, of 1,4% van de productie (VMM, 2020a). Deze getallen wisselen sterk tussen drinkwaterbedrijven, afhankelijk van het gebruikte zuiveringsproces en ook van de manier van rapporteren (Tangena, 2015; VMM, 2021a)). Het aandeel restwater zou in de toekomst mogelijk groter kunnen worden, als door gebruik van alternatieve bronnen of een slechtere waterkwaliteit intensievere zuivering nodig is (Kloosterman, 2021; Wessels & van der Meer, 2022).

Spoelwater wordt vaak geloosd op oppervlaktewater of het riool, maar wordt op een steeds groter aantal productielocaties hergebruikt. Vaak wordt het water direct gezuiverd tot drinkwater (Brabant-Water, 2020b), of na een eenvoudige zuivering teruggebracht in de hoofdzuivering (Heeroma et al., 2013; VMM, 2021a; Wouters et al., 1994). Ook wordt spoelwater op andere manieren ingezet, door het bijvoorbeeld te infiltreren, voor irrigatie of voor natuurgebieden te gebruiken (Brabant-Water, 2020a; Vitens, 2016).

3.6 Brak grondwater



Brak grondwater kan dienen als alternatieve drinkwaterbron in gebieden waar zoet grondwater schaars is, zoals kust- en poldergebieden. Brak grondwater wordt onttrokken en ontzilt door middel van omgekeerde osmose. Hierbij ontstaat naast een stroom zoetwater ook een zout restproduct, ook wel concentraat of brijn genoemd. Dit zoute water kan op grotere diepte worden geïnfiltrerd of worden geloosd op of nabij zee.

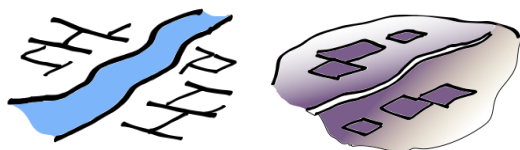
Een bijkomend voordeel van het winnen van brak grondwater is dat het de verzilting van nabijgelegen zoet grondwater kan voorkomen (Bos-Burgering et al., 2021), waardoor het winnen van brakwater ook kan worden ingezet als maatregel (zie ook Paragraaf 4.1.4). Ook zijn in brakke pakketten over het algemeen weinig antropogene verontreinigingen aanwezig, waardoor het ontzilte grondwater meestal van goede kwaliteit is (Pouwels et al., 2019).

Voor brak grondwater zijn alle risico's zoals beschreven voor zoet grondwater nog steeds van toepassing, waaronder het aantrekken van dieper, zouter grondwater ter plaatse van de extractieput. Daarnaast levert de concentraatstroom als bijproduct van omgekeerde osmose extra risico's op. Ten eerste zorgt het, bij herinfiltratie in een dieper pakket, voor netto verzilting van het grondwater. Ten tweede bestaat het risico van een lekkage tijdens transport naar zee of infiltratie in de ondergrond, wat kan leiden tot schade aan het milieu of verzilting van ondieper grondwater. Het afvoeren van het brijn wordt dan ook als belangrijk struikelblok voor de winning van brak grondwater beschouwd (Kloosterman, 2021; van der Brugge & Vermooten, 2018).

De laatste jaren wordt ook in Nederland brak grondwater steeds meer gezien als alternatieve zoetwaterbron. Brak grondwater wordt al op grote schaal gebruikt als zoetwaterbron in de tuinbouw (Stofberg & Zuurbier, 2018). In 2009 is in Noardburgum en Zevenbergen gestart met een tweetal pilots, waaruit bleek dat brakwaterwinning ook in Nederland effectief ingezet kan worden als drinkwaterbron en voor het tegengaan van verzilting (Raaijmakers & Kooiman, 2012). In 2020 zijn binnen het FRESHMAN-project twee pilots gestart om te onderzoeken of er strategisch brak grondwater kan worden gewonnen voor drinkwaterproductie uit de duinen in Scheveningen en een kreekrug in Avekapelle (De Watergroep, 2020b).

Ook kan brakke grondwaterwinning worden toegepast in poldergebieden die te maken hebben met brakke kwel. In Nederland zou op deze wijze jaarlijks tot wel 1.800 Mm³ aan water kunnen worden gewonnen (Pouwels et al., 2018). Naast drinkwaterwinning leidt brakwaterwinning hier ook tot vermindering van de kwel van brakwater tot aan het oppervlak, waardoor de kwaliteit van het oppervlaktewater verbetert en de zoutschade op de landbouw en natuur afneemt (Vink & Witte, 2008). In 2019 is Waternet begonnen met een pilot voor het winnen van brak kwelwater in de Horstermeerpolder (Smulders & Smits, 2019). Oasen onderzoekt een soortgelijke toepassing in de Middelburg-Tempelpolder (Oasen, 2019).

3.7 Zeewater en brak oppervlaktewater



Naast brak grondwater kan ook zeewater in principe worden ontzilt voor drinkwaterproductie. Grootste voordeel van het gebruik van zeewater is logischerwijs dat het in enorme hoeveelheden beschikbaar is. Aangezien de ontzilting van zeewater hoogstwaarschijnlijk nabij de kust zal plaatsvinden, kan het ontstane effluent, oftewel brijn,

vervolgens ook weer worden geloosd op zee. De kwaliteit van zeewater is over het algemeen erg stabiel, al zouden olielekkages en heftige algenbloei de waterkwaliteit kunnen verslechteren (Stuyfzand et al., 2017).

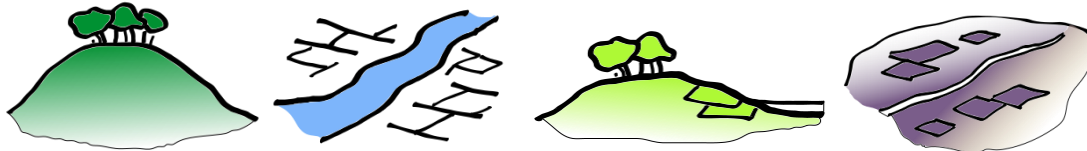
Nadelen van zeewaterwinning ten opzichte van brak grondwater zijn de hogere prijs door het energieverbruik voor ontzilting, doordat het water over het algemeen zouter is, en de lagere en minder constante kwaliteit ten opzichte van brak grondwater (Raat & Kooiman, 2012). Zeker het hoge energieverbruik is een groot struikelblok voor het gebruik van zeewater als drinkwaterbron, al is dit verbruik over de jaren wel sterk afgenomen (Stofberg et al., 2019).

Een alternatief voor zeewater als drinkwaterbron is het gebruik van brak oppervlaktewater. Groot voordeel van brak oppervlaktewater ten opzichte van zeewater is dat er door het lagere zoutgehalte minder energie nodig is voor omgekeerde osmose (Stofberg et al., 2019). Aan de andere kant fluctueert het zoutgehalte in brak oppervlaktewater vaak sterk (afhankelijk van getijden en zoetwatertoevoer), waardoor zuivering gecompliceerd kan worden. Daarnaast is de toegevoegde waarde van het winnen van brak oppervlaktewater soms laag, doordat er in veel gevallen vaak een zoetwaterbron op niet al te grote afstand aanwezig is. Dit is echter niet het geval in gebieden als Zeeland en West-Vlaanderen, die onder het gebiedstype 'beperkte bronnen' vallen. Hier zou de winning van brak oppervlaktewater wel een belangrijke rol kunnen spelen. Op het gebied van waterkwaliteit gelden voor brak oppervlaktewater over het algemeen zowel de risico's voor zoet oppervlaktewater als voor zeewater.

De laatste jaren is er in Vlaanderen groeiende belangstelling voor het gebruik van zout en brak oppervlaktewater als bron voor drinkwater. Het Vlaamse drinkwaterbedrijf AGSO Knokke-Heist overweegt om zeewater te gebruiken voor drinkwaterproductie te Knokke-Heist (VMM, 2021c). Verder ligt de focus met name op de winning van brak oppervlaktewater. Zo zijn Aquaduin (voorheen: IWVA), Farys en de Watergroep gestart met een pilot voor de winning van brak en zout oppervlaktewater bij lage zoetwateraanvoer bij het sluizencomplex De Ganzepoot nabij Nieuwpoort (De Winter & Weemaes, 2021). In januari 2022 is de eerste proefinstallatie in dit project in werking getreden, en het doel is om in hier in 2025 4 Mm³/jaar te winnen (Aquaduin et al., 2022). Ook Water-link onderzoekt de mogelijkheden voor het gebruik van brak oppervlaktewater uit het Albertkanaal te Oelegem (Vlaamse Milieumaatschappij, 2019). Daarnaast is het nieuwe waterproductiecentrum bij Oostende in staat om brak grondwater te behandelen in tijden van een zoetwatertekort (Vlaamse Milieumaatschappij, 2019).

Tot op heden is in Nederland de belangstelling voor het ontzilten van brak en zout oppervlaktewater beduidend minder. Dat zou echter kunnen veranderen nu de druk op het zoete grond- en oppervlaktewater toeneemt. In het Caribisch deel van het Koninkrijk der Nederlanden wordt ontzilting van zeewater echter wel op grote schaal toegepast (ANV, 2020; van Roekel, 2015).

3.8 Regenwater



Regenwater dat valt op verharde oppervlakken wordt in veel gevallen nagenoeg direct via het rioolwater afgevoerd richting een RWZI. Opvang en berging van regenwater voor drinkwaterproductie of laagwaardig gebruik (toilet, wasmachine, beregening van groen) kan leiden tot verminderde druk op andere drinkwaterbronnen en ook minder druk op de riolering tijdens piekafvoer (Stofberg et al., 2019).

Regenwater is in de regel schoner dan oppervlaktewater, maar dat maakt het nog niet direct bruikbaar. Ongeveer 90% van de luchtvervuiling wordt door neerslag uitgespoeld, waardoor het verontreinigd kan zijn met stoffen zoals zouten, koolstofdioxide en organische verontreinigingen (Bertelkamp et al., 2017). Ook wordt er PFAS in regenwater aangetroffen (Eschauzier et al., 2010). Daarnaast kan de regen ook verontreinigingen van het verharde

oppervlak waar het op neerslaat opnemen, zodat het vervuild raakt met stoffen zoals metalen, minerale oliën en microbiologische verontreinigingen (Bertelkamp et al., 2017; Ramaker et al., 2006). Omdat het grootste deel van de vervuiling op het verharde oppervlak aan het begin van een bui in de neerslag terecht komt, is dit eerste deel over het algemeen relatief sterk verontreinigd. Daarom is het vaak raadzaam om deze 'first-flush' af te voeren in plaats van op te slaan of hergebruiken (Bertelkamp et al., 2017). De exacte kwaliteit van de neerslag is dus afhankelijk van zowel de plaats waar het water verdampt is als de plaats waar het neerslaat, maar vanwege de first-flush ook van de frequentie en hevigheid van de buien.

In potentie is de beschikbare hoeveelheid neerslag erg groot. Indien ieder verhard oppervlak in Nederland aangekoppeld zou worden en ook de 'first-flush' wordt gebruikt als bron, kan, uitgaande van het opvangen van 55% van het regenwater, neerslag ongeveer 1,5 keer het totale drinkwaterverbruik ondervangen; dit is ca. 1,6 miljard m³/jaar beschikbaar regenwater (Stofberg et al., 2019), terwijl het drinkwaterverbruik in Nederland ca. 1,1 miljard m³/jaar is (CBS, 2021a).

In Nederland en Vlaanderen wordt regenwater op dit moment nagenoeg alleen laagwaardig en decentraal toegepast, meestal op het niveau van een enkel huishouden. Zo wordt laagwaardig gebruik van regenwater door huishoudens (gebruik voor o.a. wasmachine, toilet & tuin) sterk gestimuleerd in België, waar nieuwbouw en verbouwde woningen sinds 2014 verplicht een opvangvat voor regenwater moeten hebben (Stofberg et al., 2019). In Vlaanderen is laagwaardig gebruik van regenwater dus al wijdverspreid. In 2017 was zo'n 53% van de klanten van De Watergroep in het bezit van een systeem voor de opvang en het hergebruik van regenwater (van Alphen et al., 2018).

Regenwater wordt echter niet vaak gebruikt voor drinkwaterproductie. In Nederland is het gebruik van regenwater als drinkwater sinds 2003 verboden, nadat honderden mensen ziek werden door een verkeerde aansluiting in een systeem met gescheiden leidingen voor laagwaardig gebruik en drinkwater (Hofman-Caris et al., 2019; Oesterholt et al., 2003). Het opschalen van regenwatergebruik voor drinkwater lijkt afhankelijk van grootschaliger opslag en zuivering, aangezien de hoeveelheid die een enkel huishouden kan opvangen onvoldoende is, en het op huishoudniveau lastig is de microbiologische veiligheid te garanderen (Bertelkamp et al., 2017).

In Kerkrade is men binnen het SUPERLOCAL-project gestart met het onderzoeken van het lokaal opvangen en bergen van regenwater, en het ter plaatse zuiveren van het opgeslagen regenwater tot drinkwater voor ca. 125-150 woningen (WML, n.d.). Hierbij is het de bedoeling dat regenwater wordt opgeslagen in grote ondergrondse buffers en wordt gezuiverd tot drinkwater, en in het geval van extreme neerslag naar infiltratievijvers wordt geleid (Bouziotas et al., 2019).

De opschaling van regenwatergebruik als zoetwaterbron is al wel uitgebreid onderzocht in de tuinbouw in Nederland, in de vorm van een Waterbank. Hierbij kan regenwater door verschillende tuinders worden opgeslagen in een ondergrondse waterberging (zie Paragraaf 4.1.3) en dit opgeslagen water kan worden verhandeld (Stofberg & Zuurbier, 2018b).

In Vlaanderen werkt men ook aan pilots rond het gebruik van regenwater voor drinkwater. In Edegem en Mortsels, nabij Antwerpen, wordt gekeken naar het gebruik van regenwater op een grotere schaal dan een of enkele huishoudens. Hier onderzoekt men de zuivering van regenwater afkomstig van een industrieterrein dat wordt opgeslagen in een ondergrondse waterbuffer. Het water dat niet voor de industrie zelf nodig is zal worden opgewaardeerd tot drinkwaterkwaliteit en worden geleverd aan een nabij gelegen nieuwbouwwijk (VMM, 2020b). De Watergroep is in Harelbeke, tevens binnen het SUPERLOCAL-project (SUPERLOCAL, n.d.), gestart met een pilot voor het produceren van drinkwater uit regenwater voor woningen die niet zijn aangesloten op het drinkwaterleidingnet (De Watergroep, 2020a). Buiten Nederland en België wordt regenwater al langer gebruikt als drinkwaterbron, van huishoudniveau tot drinkwaterbron voor miljoenen mensen, zoals het geval is in Singapore (Sectie 5.6). In het Caribisch deel van het Koninkrijk der Nederlanden wordt regenwater wel gebruikt als bron van

drinkwater. Zo is een aanzienlijk deel van de huishoudens in Saba en Sint Eustatius aangewezen op regenwater dat op huishoudniveau in regentanks wordt opgeslagen (Briene et al., 2019). Naast de genoemde kwaliteitsproblemen, heeft droogte hier geleid tot een aanzienlijke druk op het drinkwateraanbod, waardoor er in droge jaren noodmaatregelen genomen moesten worden (ANV, 2020).

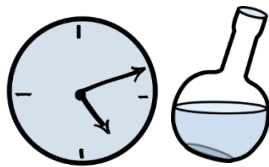
4 Maatregelen

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de mogelijke maatregelen om de waterbeschikbaarheid in een gebied te verbeteren. De maatregelen zijn globaal ingedeeld in maatregelen die primair gericht zijn op het verbeteren van de waterbeschikbaarheid over de *tijd* (berging, infiltratie en seizoenswinning) (4.1); maatregelen die primair gericht zijn op de *kwaliteit* en *ruimtelijke* beschikbaarheid (voornamelijk maatregelen in de bedrijfsvoering) (4.2); en maatregelen in het *landschap* (4.3). In werkelijkheid dragen veel maatregelen bij aan meerdere aspecten van waterbeschikbaarheid en is deze indeling dus niet scherp. De focus ligt op maatregelen die drinkwaterbedrijven zelf kunnen nemen, in hun eigen bedrijfsvoering en op hun eigen terreinen. In veel gevallen is samenwerking nodig met gebiedspartners zoals waterschappen. Dit geldt met name voor de laatste groep: maatregelen in het landschap. Deze worden daarom maar beknopt besproken. Ook worden maatregelen voor beperking van de watervraag niet besproken; deze komen in een aanpalend onderzoek aan bod.

Voor iedere maatregel wordt kort de werking besproken en wordt een overzicht gegeven van de effecten op waterkwaliteit en -kwantiteit, schaal en eisen van toepassing, externe voordelen en nadelen, en de huidige ervaring in de praktijk. Daarnaast wordt per maatregel ook aangegeven welke van de vier aspecten van waterbeschikbaarheid (tijd, ruimte, kwaliteit en landschap) de maatregel beïnvloedt. Hiervoor worden de definities en symbolen zoals beschreven in Paragraaf 2.2 en 2.3 gehanteerd.

4.1 Verbeteren beschikbaarheid in de tijd: berging en buffering

4.1.1 Oppervlakteberging



<i>Werking</i>	Opslag van (ruw)water als oppervlaktewater in bekkens, meren of kanalen
<i>Effect drinkwaterkwantiteit</i>	Buffervorming
<i>Effect waterkwaliteit</i>	Afvlakking van kwaliteit en natuurlijke zuivering. Kwetsbaar voor vervuiling
<i>(Landschappelijke) eisen</i>	Ruimte of bestaand waterlichaam beschikbaar
<i>Schaal</i>	Meestal schaal van één winning; enkele tientallen ha en enkele Mm ³ opslag
<i>Controle drinkwaterbedrijf</i>	Groot; voor aanleg bekken samenwerking nodig
<i>Externe nadelen</i>	Ruimtebeslag en/of onnatuurlijke fluctuaties in drinkwaterbekken
<i>Externe voordelen</i>	Mogelijke combinatie met andere functies in bekken
<i>Praktijkervaring</i>	Groot: o.a. bekkens Biesbosch, de Blankaart
<i>Combinatie met andere maatregelen</i>	Oeverfiltratie, seizoensgebonden winning, aanvoer en herverdeling, decentrale winning

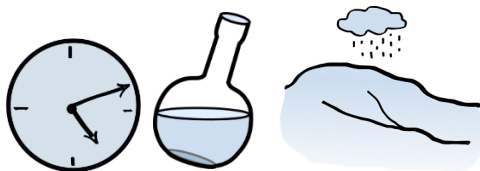
Eén van de manieren om water op te slaan is als oppervlaktewater, in een (afsluitbaar) bekken, meer of waterloop. Door de Nederlandse en Vlaamse drinkwaterbedrijven wordt opslag in bekkens toegepast voor alle oppervlaktewaterwinningen. Deze buffer is nodig als voorraad voor periodes waarin inname niet mogelijk is door

watertekort of waterkwaliteitsproblemen, voor afvlakking van variaties in kwaliteit en temperatuur, en voor een eerste natuurlijke zuivering (Bertelkamp et al., 2020). Opslag als oppervlaktewater kan worden toegepast in laaggelegen gebieden waar opslag in de ondergrond niet mogelijk is; nadeel is dat het veel ruimte inneemt en de kwetsbaarheid voor vervuiling redelijk hoog is. In een bekken kan wateropslag worden gecombineerd met andere functies, maar dit beperkt wel de peilvariatie die mogelijk is (Krikken et al., 2019).

Bestaande voorraadbekken voor drinkwater verschillen sterk in vorm en eigenschappen. Het kunnen speciaal aangelegde afsluitbare bekkens zijn (spaarbekken Biesbosch, verschillende bekkens in Vlaanderen) of al bestaande wateren, zoals het bekken bij Heel in een voormalige grindwinning (WML) of de bekkens bij Andijk en de Waterleidingplas die deel uitmaken van een bestaand meer (Bertelkamp et al., 2020). Het aantal bekkens en het type bekken (grootte, oppervlakte, diepte, mate van menging) bepalen hoeveel water opgeslagen kan worden en hoeveel de kwaliteit tijdens opslag kan verbeteren. De huidige kleinere drinkwaterbekken hebben een voorraad om de drinkwatervoorziening voort te zetten over enkele dagen (Andijk, de Punt), grotere over meerdere maanden (Biesbosch, Heel, Kluizen) (Clevers et al., 2019; DWG, 2017).

Ook buiten de drinkwatersector wordt oppervlakteberging gebruikt, zoals opslag van regenwater voor landbouw en industrie. Voorbeelden zijn de glastuinbouw in West-Nederland, en verschillende buffers in stedelijk en industrieel gebied in Vlaanderen (VMM, 2020b). In bredere zin kan op landschappelijke schaal water worden vastgehouden in oppervlaktewater, bijvoorbeeld door stuwen in sloten, peilvariaties in natuurgebieden of in waterbergingsgebieden. Dit water wordt niet direct voor drinkwaterproductie ingezet, maar het vasthouden van water in het landschap kan wel bijdragen aan de totale waterbeschikbaarheid voor verschillende functies (zie par. 4.3.2).

4.1.2 Oppervlakte-infiltratie



<i>Werking</i>	Infiltratie van aangevoerd zoet water vanaf het oppervlak naar het freatische grondwater
<i>Effect drinkwaterkwantiteit</i>	Bufferwerking en aanvulling voorraden
<i>Effect waterkwaliteit</i>	Bodempassage zorgt voor zuivering. Risico's voor de grondwaterkwaliteit door vervuiling in het infiltratiewater
<i>(Landschappelijke) eisen</i>	Freatisch watervoerend pakket, ruimte voor infiltratieplassen
<i>Schaal</i>	Van een enkele winning tot een regionaal grondwatersysteem
<i>Controle drinkwaterbedrijf</i>	Groot, mogelijk afhankelijk van anderen voor de kwantiteit en kwaliteit van de watertoevoer
<i>Externe nadelen</i>	Ruimtegebruik en sterk effect op hydrologie omgeving
<i>Externe voordelen</i>	Tegengaan van verdroging en verzilting natuurgebieden
<i>Praktijkervaring</i>	Veel ervaring bij duinwaterbedrijven, toenemende interesse en toepassing op de hoge zandgronden
<i>Combinatie met andere maatregelen</i>	Oppervlakteberging, diepinfiltratie, brakwaterwinning, seizoensgebonden winning, aanvoer en herverdeling, aanpassing landgebruik, aanpassing waterbeheer

Onder oppervlakte-infiltratie, of Basin Artificial Recharge (BAR), verstaat men het laten infiltreren van aangevoerd of verzameld zoet water vanuit een bassin aan het aardoppervlak (bijvoorbeeld een plas) door de onverzadigde zone naar het freatische grondwater, waaruit het vervolgens door middel van een onttrekkingsput, via drains en

winkanalen, of via natuurlijke kwel kan worden teruggewonnen. Net als bij oeverfiltratie vindt tijdens de bodempassage van het infiltratiewater zuivering en afvlakking plaats, waardoor onder andere nutriënten, organische microverontreinigingen en pathogene micro-organismen worden verwijderd (van der Schans & Meerkerk, 2019). Andere voordelen zijn buffervorming, (natte) natuurontwikkeling rondom de infiltratiegebieden en het tegengaan van verzilting en verdroging (van der Schans & Meerkerk, 2019).

De voor drinkwaterwinning meest toegepaste vorm van oppervlakte-infiltratie in Nederland en Vlaanderen is duinfiltratie, waarbij grondwater wordt aangevuld door infiltratiepanden die worden gevoed met voorgezuiverd oppervlaktewater (van Dooren et al., 2021). In eerste instantie is dit ontstaan als maatregel tegen de verdroging en verzilting van de duingebieden door grondwaterwinning (Stuyfzand, 2016). Daarnaast zorgt het voor een extra zuiveringsstap door middel van de bodempassage (Van Dooren et al., 2021). Op dit moment wordt duinfiltratie op 9 locaties in Nederland en Vlaanderen toegepast door de duinwaterbedrijven Waternet, PWN, Dunea, Evides en Aquaduin (Bertelkamp et al., 2018; Stuyfzand, 2016). Bij Aquaduin gaat het hierbij om voorgezuiverd RWZI-effluent.

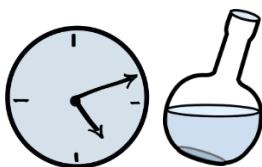
Kunstmatige oppervlaktewaterinfiltratie wordt ook toegepast op de hoge zandgronden. Zo wordt er bij Epe en Schalterberg op de Veluwe water geïnfiltreerd vanuit het Apeldoorns kanaal, waarbij de focus voornamelijk ligt op compensatie van de grondwaterdaling en daarmee samenhangende verdroging van de natuur als het gevolg van de grondwaterwinningen (van Engelenburg, 2017). Een soortgelijk concept wordt toegepast bij de winning Olden-Eibergen, tevens Gelderland, waar compensatievijvers voor de grondwaterwinning worden gebruikt om schade aan natuur en landbouw tegen te gaan (Cirkel, 2017; de Jonge & Cirkel, 2017).

Ook in Grobbendonk bij Antwerpen wordt water uit het Albertkanaal in bekkens geïnfiltreerd voor grondwaterwinning. Op de Stippelberg in Noord-Brabant is onderzocht of actieve infiltratie in een verdroogd natuurgebied kan dienen als waterbuffer om zo een robuuster watersysteem te creëren in tijden van droogte (van Loon et al., 2014). Een soortgelijk concept is onlangs onderzocht door Vitens voor de Sallandse Heuvelrug (zie paragraaf 5.1).

Kunstmatige oppervlaktewaterinfiltratie gebeurt ook buiten de drinkwatersector. In Zeeland wordt actief zoetwater geïnfiltreerd in kreekruigen ten behoeve van de landbouw (Oude Essink et al., 2018). Een soortgelijk proces wordt nu onderzocht voor drinkwaterwinning in Avekapelle, waar de Watergroep middels een infiltratiegracht zoetwater in een kreekrug wil infiltreren. Hierbij wordt gekeken naar verschillende zoetwaterbronnen voor het te infiltreren water, namelijk rivierwater, drainage- en spuiwater uit polders en restwater vanuit RWZI's en de industrie (van Dooren, 2018).

Een laatste concept dat onder oppervlakte-infiltratie geschaard kan worden is subirrigatie. Bij deze techniek, die met name in de landbouw wordt toegepast, kan het drainagesysteem niet alleen water van een perceel afvoeren, maar ook ondergronds aanvullen (de Wit et al., 2021; Stuyt et al., 2012). Dit leidt tot een verhoging van de grondwaterstand en zou dus, vergelijkbaar met conventionele oppervlakte-infiltratie, ingezet kunnen worden voor het vergroten van de zoetwatervoorraad in de ondergrond.

4.1.3 Diepinfiltratie



<i>Werking</i>	Infiltratie van zoet water in de ondergrond door middel van putten
<i>Effect drinkwaterkwantiteit</i>	Bufferwerking en aanvulling voorraden

<i>Effect waterkwaliteit</i>	Bodempassage zorgt voor zuivering. Voorzuivering van het infiltratiewater kan nodig zijn om negatieve invloed op de kwaliteit van het omliggende grondwater te voorkomen.
<i>(Landschappelijke) eisen</i>	Geschikt watervoerend pakket
<i>Schaal</i>	Lokaal tot regionaal
<i>Controle drinkwaterbedrijf</i>	Groot, mogelijk afhankelijk van anderen voor zoetwatertoevoer
<i>Externe nadelen</i>	Mogelijke afname waterkwaliteit van het omliggende grondwater
<i>Externe voordelen</i>	Tegengaan van verzilting
<i>Praktijkervaring</i>	Ervaring met Aquifer Transfer and Recovery (ATR) binnen drinkwatersector, met Aquifer Storage and Recovery (ASR) voornamelijk binnen de tuinbouwsector
<i>Combinatie met andere maatregelen</i>	Seizoensgebonden winning, oppervlakteberging, oppervlakte-infiltratie, decentrale winning, aanvoer en herverdeling, aanpassing waterbeheer, software ontwikkeling en afstemming gebruik

Bij diepinfiltratie wordt gebruik gemaakt van infiltratieputten om water actief in de ondergrond te brengen, en wordt het vervolgens ook weer met dezelfde of een andere put onttrokken. Diepinfiltratie kan gebruikt worden voor opslag van overtollig drinkwater in tijden van tekorten. Hierbij kan gedacht worden aan (Rambags et al., 2013):

- Seizoensopslag: Opslag van overtollig water gedurende het natte seizoen (winter) om te kunnen gebruiken tijdens drinkwatertekorten in het droge seizoen (zomer);
- Meerjarige opslag: Opslag tijdens natte jaren voor gebruik tijdens droge jaren;
- Noodopslag: Diepinfiltratie kan gebruikt worden voor het creëren van een extra drinkwaterbuffer die kan worden ingeschakeld op het moment dat er een calamiteit is met een andere drinkwaterbron door bijvoorbeeld verontreiniging of een natuurramp.

Daarnaast kan diepinfiltratie gebruikt worden voor zuivering, voornamelijk voor het verwijderen van ziekteverwekkers, desinfectiebijproducten, nutriënten en organische microverontreinigingen (Rambags et al., 2013; van der Schans & Meerkerk, 2019). Andere positieve effecten van diepinfiltratie zijn het tegengaan van verzilting en verdroging en afvlakking van de waterkwaliteit en temperatuur (van der Schans & Meerkerk, 2019). Aan de andere kant zijn er ook aandachtspunten voor de kwaliteit van het (zuurstofrijke) geïnjecteerde water. Belangrijk is dat er zorgvuldig te werk wordt gegaan zodat de geochemische en microbiologische kwaliteit van het originele grondwater niet verslechtert (van der Schans & Meerkerk, 2019).

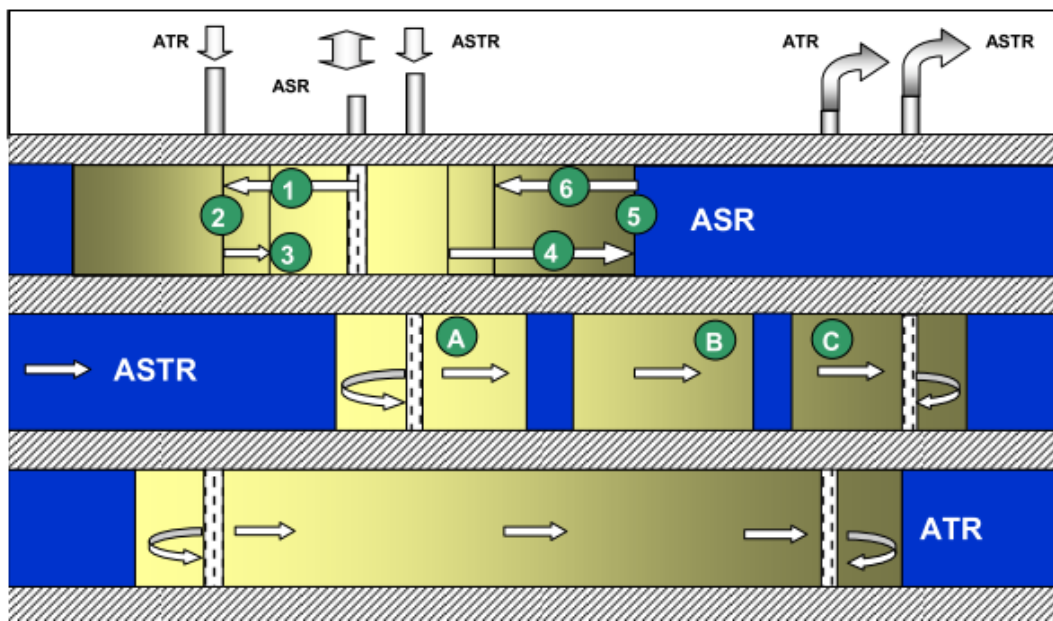
Een groot voordeel van diepinfiltratie ten opzichte van andere technieken is dat de benodigde bovengrondse ruimte beperkt is (Zuurbier, 2016). Daarnaast is een groot deel van de ondergrond van zowel hoog als laag Nederland geschikt voor diepinfiltratie (Hoogvliet et al., 2014) en kunnen, in tegenstelling tot oppervlakte-infiltratie, ook diepere pakketten gebruikt worden voor opslag. Er bestaan drie methoden voor diepinfiltratie, die hieronder kort worden omschreven en staan afgebeeld in Figuur 4.1.

De meest bekende methode is Aquifer Storage and Recovery (ASR) of ondergrondse waterberging (OWB). Hierbij wordt gebruik gemaakt van dezelfde putten voor zowel infiltratie als onttrekking. Bij deze methode ligt de nadruk vooral op de opbouw van buffercapaciteit van drinkwater, zowel in brak grondwater als in laagwaardig zoet grondwater. In Nederland is de toepassing van ASR voor drinkwaterberging op dit moment schaars, al is er tussen 2000 en 2003 een grootschalige pilot uitgevoerd in Herten in Limburg, waaruit bleek dat ASR op deze locatie technisch haalbaar is (Stuyfzand et al., 2005). Daarnaast is in Hoorn in 2020 begonnen met een pilot (PWN, n.d.). Op dit moment is er in Nederland vooral binnen de landbouwsector, en specifiek binnen de tuinbouwsector, al veel ervaring opgedaan met ASR, ook in gebieden waar het grondwater brak is (bijvoorbeeld Zuurbier & Paalman,

2014; Zuurbier & Ros, 2017). Om het negatieve effect van dichtheidsstroming tegen te gaan wordt in dat geval vaak alleen water onttrokken uit het bovenste deel van het opslagpakket.

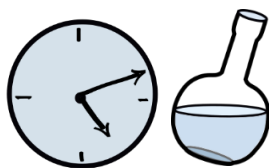
Bij Aquifer Transfer and Recovery (ATR) ligt de focus met name op ondergrondse zuivering door gebruik van een bodempassage voor een betrouwbare, continue bron van drinkwater, al zorgt het ook voor enige buffercapaciteit (Stuyfzand, 2016). Bij ATR is er dus sprake van gelijktijdige infiltratie en onttrekking, al kunnen de respectievelijke debieten verschillen (Rambags et al., 2013). ATR wordt toegepast voor drinkwaterwinning door de duinwaterbedrijven PWN (Watervlak nabij Castricum) en Dunea (Meijendel nabij Waalsdorp) (Bertelkamp et al., 2018). In beide gevallen vindt de zuivering plaats in een zoet grondwaterpakket (Stuyfzand et al., 2012).

Ten slotte bestaat er nog een tussenvorm: Aquifer Storage Transfer and Recovery (ASTR), waarbij gebruik gemaakt wordt verschillende putten voor infiltratie en onttrekking voor seizoensopslag. Er wordt dus niet continu geïnfiltrteerd en onttrokken: er wordt geïnfiltrteerd wanneer het water van de bron beschikbaar is en onttrokken wanneer er drinkwater nodig is. Een voordeel van ASTR ten opzichte van ASR is dat de verblijftijd van het water in de ondergrond kan worden verhoogd, doordat het laatst geïnfiltrteerde water niet als eerste wordt teruggewonnen. Dit leidt tot effectievere ondergrondse zuivering. Aan de andere kant is er nog weinig bekend over de werking van ASTR in gebieden zonder regionale grondwaterstroming en in brak of zout grondwater (Zuurbier & Van Dooren, 2019).



Figuur 4.1 De verschillende methodes voor diepinfiltratie (Stuyfzand et al., 2012) 1,2 en 3 zijn respectievelijk infiltratie, berging en winning tijdens een eerste infiltratiecyclus, 4,5 en 6 voor de tweede cyclus.; A,B en C zijn respectievelijk infiltratie, berging en winning tijdens een ASTR-cyclus in een watervoerend pakket met sterke grondwaterstroming.

4.1.4 Brakgrondwateronttrekking



Werking

Onttrekking van brak grondwater om de zoetwatervoorraad te beschermen of te vergroten

<i>Effect drinkwaterkwantiteit</i>	Vergroot de beschikbaarheid van zoet grondwater en kan worden ingezet als zoetwaterbron
<i>Effect waterkwaliteit</i>	Vermindert (risico op) verzilting
<i>(Landschappelijke) eisen</i>	De aanwezigheid van zoet boven brak grondwater
<i>Schaal</i>	Enkele grondwaterwinning
<i>Controle drinkwaterbedrijf</i>	Groot, mogelijk afhankelijk van anderen en/of technische oplossingen voor afvoer brak grondwater of brijn
<i>Externe nadelen</i>	Lozing van onttrokken brakwater; aantrekken van dieper zouter water, verlaging van de grondwaterstand
<i>Externe voordelen</i>	Brak grondwater kan ingezet worden als drinkwaterbron
<i>Praktijkervaring</i>	Ervaring op enkele (pilot-)locaties binnen de drinkwatersector, ook toegepast in landbouw
<i>Combinatie met andere maatregelen</i>	Oppervlakte-infiltratie, diepinfiltratie, vergroten zuiveringscapaciteit, seizoensgebonden winning, softwareontwikkeling

Het onttrekken van brak (of eventueel zout) grondwater kan als maatregel worden ingezet om de zoetwatervoorraad te beschermen of te vergroten door brakke kwel van dieper gelegen brak en zout grondwater tegen te gaan (Bos-Burgering et al., 2021; Stofberg et al., 2018). Het onttrokken brakke grondwater kan vervolgens worden geloosd in diepere (zoutere) watervoerende pakketten of op brak/zout oppervlaktewater. Daarnaast kan het onttrokken brakke grondwater ingezet worden als drinkwaterbron, waarbij de hierbij ontstane brijnstroom echter een aandachtspunt vormt (Paragraaf 3.6).

Sinds 2018 wordt er bij de drinkwaterwinning in Noardburgum (zie ook Paragraaf 3.6) brak grondwater onttrokken om het grensvlak van zoet en brak water te sturen. Dit brakke water wordt in diepere watervoerende pakketten geïnjecteerd (Redactie Waterforum, 2018). Hier wordt gebruik gemaakt van het 'zoethouder'-concept (of 'Freshkeeper'), waarbij het debiet van de brakwaterput automatisch bijgestuurd kan worden op basis van de geschatte zoutconcentratie bij de put, die bepaald wordt door het meten van de elektrische geleidbaarheid (Oosterhof et al., 2018).

Ook kan brakwateronttrekking een effectieve maatregel zijn in combinatie met oppervlakte- of diepinfiltratie, omdat zo het grensvlak tussen zoet en brak water extra verlaagd kan worden. Op dit moment loopt er in Scheveningen een pilot binnen het FRESHMAN-project (Paragraaf 5.2) om te onderzoeken of het onttrekken van brak grondwater ervoor kan zorgen dat er meer zoet water opgeslagen kan worden via duininfiltratie. Binnen hetzelfde project wordt een soortgelijke pilot opgestart met kreekruuginfiltratie in Avekapelle. Bij beide pilots is het de bedoeling dat het onttrokken brakke water omgezet wordt naar drinkwater (H2O Actueel, 2022). Ervaring met kreekruuginfiltratie en brakwateronttrekking is er al in de landbouwsector. Zo wordt dit toegepast bij een fruitteler in Ovezande in Zeeland met twee horizontale putten, een voor brakwateronttrekking en een voor zoetwateronttrekking én -infiltratie (Paalman, n.d.; Zuurbier et al., 2018).

4.1.5 Seizoensgebonden winning



<i>Werking</i>	Het extra aanwenden van een bepaalde bron in het natte seizoen voor gebruik in het droge seizoen of het wisselen van bronnen tussen seizoenen
<i>Effect drinkwaterkwantiteit</i>	Opvangen effect seizoensfluctuaties op bronnen
<i>Effect waterkwaliteit</i>	Afhankelijk van de bron: bijv. achteruitgang bij tijdelijk gebruik oppervlaktewater ipv. grondwater; mogelijk vooruitgang bij tijdelijk gebruik diepere pakketten, etc.
<i>(Landschappelijke) eisen</i>	Ruimte voor opslag of bronnen/brongebieden met een verschillende gevoeligheid voor seizoensfluctuaties (droogte/wateroverlast)
<i>Schaal</i>	Regionaal
<i>Controle drinkwaterbedrijf</i>	Afhankelijk van de bron
<i>Externe nadelen</i>	-
<i>Externe voordelen</i>	Droogtegevoelige gebieden kunnen worden ontlast, wateroverlast verminderd
<i>Praktijkervaring</i>	In verschillende sectoren ervaringen met seizoensberging, weinig met T-winningen
<i>Combinatie met andere maatregelen</i>	Oppervlakteberging, oppervlakte-infiltratie, diepinfiltratie, aanvoer en herverdeling

De kwaliteit en kwantiteit van verschillende drinkwaterbronnen fluctueert door het jaar heen, net als het effect van drinkwaterwinning op de omgeving. Om optimaal gebruik te maken van de drinkwaterbronnen, kan er daarom gekozen worden om in het natte seizoen (de winter) bepaalde bronnen extra aan te wenden en in het droge seizoen minder. Hierbij kan worden gedacht aan extra inname van rivierwater of grondwater in de winter, eventueel in combinatie met grootschalige berging. Daarnaast kan het slim aanwenden van bepaalde bronnen (bijvoorbeeld hemelwater of oppervlaktewater) ook leiden tot verminderde wateroverlast in het natte seizoen.

Omdat de vraag in de zomer juist hoger is dan in de winter, bestaat er in het geval van seizoensgebonden winning een additionele mismatch tussen vraag en aanbod. Om hiervoor te compenseren, kan het extra volume dat in de winter wordt geproduceerd worden opgeslagen in bijvoorbeeld bekkens, de duinen of in de diepe ondergrond. Dit water kan vervolgens worden aangewend om andere drinkwaterbronnen te ontlasten in de zomer.

Een andere optie voor seizoensgebonden is een zogenaamde T-winning, waarbij in de zomer relatief meer wordt onttrokken uit een bron die weinig gevoelig is voor droogte en in de winter juist een bron die wateroverlast tegengaat extra wordt aangewend. Samen vormen de bronnen twee stromen die samen jaarrond in een bepaald deel van de drinkwatervraag voorzien, vandaar de naam 'T'-winning (vernoemd naar de vorm van de letter). Een bepaalde watervraag wordt dus uitgesmeerd over twee of meer bronnen, waarbij het relatieve aandeel van de verschillende bronnen door het jaar heen fluctueert op basis van de eigenschappen van de bron. Dit is met name interessant in regio's waar gebieden die gevoelig zijn voor wateroverlast en droogteschade vlak naast elkaar liggen, zoals de flanken van de Veluwe (Overbeek - te Vaarwerk et al., 2020). Ook kan er bijvoorbeeld voor gekozen worden om de diepte van de winning te variëren; bijvoorbeeld door in de winter uit het freatisch pakket te onttrekken en in de zomer uit een diepere laag.

4.2 Verbeteren beschikbaarheid in ruimte en kwaliteit: bedrijfsvoering

4.2.1 Vergroten van de zuiveringscapaciteit



<i>Werking</i>	Het creëren van extra zuiveringscapaciteit of het toepassen van nieuwe zuiveringstechnieken om meer drinkwater te kunnen produceren
<i>Effect drinkwaterkwantiteit</i>	Kan nieuwe bronnen of langer gebruik bestaande bronnen mogelijk maken; bij sommige nieuwe technieken wel groter productieverlies
<i>Effect waterkwaliteit</i>	Totale hoeveelheid schoon drinkwater neemt toe
<i>(Landschappelijke) eisen</i>	Ruimte voor uitbreiding productielocaties of nieuwe locatie
<i>Schaal</i>	Enkele zuiveringsinstallatie
<i>Controle drinkwaterbedrijf</i>	Volledige controle van drinkwaterbedrijven
<i>Externe nadelen</i>	Mogelijk lagere efficiëntie
<i>Externe voordelen</i>	Diversifiëring van bronnen kan leiden tot kleinere impact van de winning vanuit een enkele bron
<i>Praktijkervaring</i>	Groot op het gebied van opschaling, diversifiëring lijkt de komende jaren meer aandacht te gaan krijgen.
<i>Combinatie met andere maatregelen</i>	Seizoensgebonden winnen, decentrale winning, relocatie van winning

Naast de bron en het transport, kan ook de zuiveringscapaciteit een knelpunt vormen voor de productie van voldoende drinkwater. Deze knelpunten kunnen zowel op kwantitatief als kwalitatief vlak ontstaan. Op beide gebieden kan dus naar een oplossing gezocht worden:

- Kwantitatief: Het vergroten van de zuiveringscapaciteit om de maximaal mogelijke drinkwaterproductie te vergroten.
- Kwalitatief: Het faciliteren van extra zuiveringsstappen om water uit laagwaardigere bronnen om te kunnen zetten naar water van drinkwaterkwaliteit. Hierbij kan het ook gaan om het opvangen van (tijdelijke) verlagingen in kwaliteit in bestaande bronnen, zoals bij veel oppervlaktewaterbronnen.

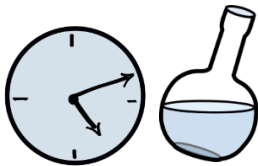
Kwantitatief kan de (lokale) drinkwaterproductie beperkt worden door de totale zuiveringscapaciteit van één of meerdere installaties. In 2013 was de totale zuiveringscapaciteit van de drinkwaterbedrijven in Nederland 1.420 Mm³ (Tangena, 2015), tegenover een drinkwaterproductie in datzelfde jaar van 1.126 Mm³ (Vewin, 2014). In 2019 was de productie gestegen naar 1.187 Mm³ (VEWIN, 2020). De totale zuiveringscapaciteit in Nederland is dus meer dan voldoende. De verdeling van de productiecapaciteit door het land heen en de verdeling van de watervraag door het jaar heen is echter niet gelijkmatig. Op locaties waar de productiecapaciteit een knelpunt vormt is het vergroten van de zuiveringscapaciteit een belangrijke oplossing voor het vergroten van de waterbeschikbaarheid.

In andere gevallen staat de bruikbaarheid van een bestaande bron onder druk door problemen in kwaliteit. Zo veroorzaken verhogingen van concentraties vervuilende stoffen in oppervlaktewater in droge periodes vaak innamestops; daarnaast verwachten veel drinkwaterbedrijven een mogelijke achteruitgang in de kwaliteit van een deel van hun bronnen richting de toekomst (Driezum et al., 2020b). Het verbeteren van de kwaliteit aan de bron zal

in principe de voorkeur hebben. Wanneer dit niet voldoende mogelijk is, is het uitbreiden van de zuiveringsprocessen een optie om de beschikbare bronnen bruikbaar te houden. Om de kosten van de aanleg van aanvullende zuiveringstechnieken te beperken, wordt dit vaak tijdens reguliere vervangingen van onderdelen van de zuivering gedaan. Daarbij geldt ook dat overstappen op of toevoegen van meer geavanceerde zuiveringsstappen in sommige gevallen tot een hoger productieverlies kan leiden (Kloosterman, 2021; Wessels & van der Meer, 2022)

Tot slot bestaan er mogelijkheden voor het toevoegen van een nieuwe zuiveringstechnologie om nieuwe bronnen van lagere kwaliteit te kunnen zuiveren tot drinkwater. Zo is bij het Water-link productiecentrum te Oelegem omgekeerde osmose ingevoegd voor het behandelen van brak water (Vlaamse Milieumaatschappij, 2019); ook Dunea onderzoekt de mogelijkheden voor een aanvullende zuiveringstechnologie voor het zuiveren van brak grondwater en oppervlaktewater uit het Valkenburgse Meer (Dunea, 2021a). Een andere optie is het koppelen aan of nabehandelen van water afkomstig uit RWZI's voor drinkwaterproductie, zoals besproken in 3.4.

4.2.2 Oeverfiltratie



<i>Werking</i>	Ondiepe onttrekking nabij oppervlaktewater
<i>Effect drinkwaterkwantiteit</i>	Afvlakking van seizoensfluctuaties
<i>Effect waterkwaliteit</i>	Zuivering door bodempassage levert meestal betere kwaliteit dan direct oppervlaktewatergebruik, minder goed dan grondwater
<i>(Landschappelijke) eisen</i>	Groot waterlichaam met doorlatende bodemlaag; voldoende ruimte voor inrichting
<i>Schaal</i>	Lokaal tot regionaal
<i>Controle drinkwaterbedrijf</i>	Groot, maar samenwerking nodig
<i>Externe nadelen</i>	Relatief klein, wel ruimtebeslag
<i>Externe voordelen</i>	Klein
<i>Praktijkervaring</i>	Verschillende voorbeelden in Nederland
<i>Combinatie met andere maatregelen</i>	Oppervlakteberging, seizoensgebonden winning, relocatie van winningen, aanpassingen landgebruik

Bij oeverfiltratie of winning van oevergrondwater wordt water onttrokken uit een ondiepe put dicht bij een rivier of meer, waarbij het onttrokken water voor een groot deel uit geïnfiltreerd oppervlaktewater bestaat (Bertelkamp et al., 2018; van Dijk, 1993). Het aandeel oppervlaktewater wisselt afhankelijk van de afstand tot de rivier en de (geo)hydrologische situatie. In Nederland wordt op dit moment via oeverfiltratie drinkwater gewonnen uit de Lek en Oude Rijn (Oasen), de Maas (WML), de IJssel en de Vecht (Vitens). Ook zijn er grondwaterwinningen waar een klein deel van het gewonnen water uit aangetrokken oppervlaktewater bestaat (Bertelkamp et al., 2018). Daarnaast ligt oeverfiltratie qua techniek dicht bij actieve infiltratiewinningen met infiltratiebekkens zoals in de duinen. Oeverfiltratie wordt ook veel toegepast in het buitenland, onder andere in Duitsland.

In vergelijking met directe winning van oppervlaktewater kan oeverfiltratie zorgen voor een meer continue beschikbaarheid van water met minder innamestops en een lagere kwetsbaarheid voor lage rivierafvoeren (Krikken et al., 2019; van Dijk, 1993). Dit komt doordat veel verontreinigingen (micro-organismen en een deel van de organische microverontreinigingen (OMV) door de bodempassage worden verwijderd, en doordat in de bodem buffering en menging met grondwater optreedt. Voor zeer ernstige verontreinigingen zou het risico echter iets groter kunnen zijn, doordat bij oeverfiltratie zonder bekkens geen selectieve inname mogelijk is, en dus niet te

voorkomen is dat de verontreiniging in de bodem terecht komt. Dit probleem lijkt tot nu toe klein door de goede zuivering door bodempassage (van Dijk, 1993).

Wat waterkwantiteit betreft geldt dat dit in grote rivieren als de Rijn ruim voldoende is; voor rivieren met een kleiner stroomgebied of een meer variabele afvoer kan de druk op de afvoer in droge periodes wel groot zijn, waarbij ook de kwaliteit van het bronwater een probleem kan vormen (Vitens, 2020d). Dit is bijvoorbeeld het geval voor de experimentele oevergrondwaterwinning uit de Vecht van Vitens, die in droge periodes sterk van RWZI-effluent afhankelijk is (van Vugt et al., 2017; Vitens, 2020d). Door klimaatverandering zal dit probleem waarschijnlijk verder worden versterkt. De kwetsbaarheid van oeverfiltratie uit kleinere rivieren of regenrivieren kan worden verkleind wanneer een kanaal of bekken als tussenstap kan worden gebruikt (van Rijsselt et al., 2018b).

Bij overstap naar oeverfiltratie vanuit de ervaring met puur (diep) grondwater kan de waterkwaliteit verminderen, doordat het aanvoergebied minder goed beschermd is en de bodempassage geen volledige zuivering van het oppervlaktewater oplevert (van Dijk, 1993). De beschikbare waterkwantiteit kan wel verbeteren, wanneer de oorspronkelijke grondwaterwinning beperkt werd door nadelige effecten op de omgeving: ten opzichte van winning van grondwater heeft oeverfiltratie een kleiner effect op grondwaterstanden in de omgeving (van Dijk, 1993; Vitens, 2020d). Ook bij oeverfiltratie kunnen echter kwantiteitsproblemen optreden bij lage oppervlaktewaterstanden; en kan mogelijk schade optreden aan omgevende natuurgebieden.

Winning van oppervlaktewater via oeverfiltratie is mogelijk waar een voldoende groot oppervlaktewaterlichaam aanwezig is; een geschikt watervoerend pakket om uit te onttrekken (bijvoorbeeld een zandlaag onder klei, zoals het geval is bij de winningen van Oasen); en de mogelijkheid om het grondwater te beschermen in de omgeving van de winning. In Nederland wordt het meeste oeverfiltraat direct gewonnen bij de grote rivieren, maar ook bij bekkens gevoed met kanaalwater (Heel) en bij kleinere systemen (Vecht). Verder zijn er grondwaterwinningen die voor een klein deel uit kanalen, beken en sloten worden gevoed (Bertelkamp et al., 2018; van Vugt et al., 2017). In principe kan dus bij alle oppervlaktewateren oeverfiltratie worden toegepast. Het ruimtegebruik is vergelijkbaar met dat van een grondwaterwinning, waarbij in principe geen bekkens nodig zijn maar wel een grondwaterintrekzone beschermd moet worden.

De externe effecten worden op dit moment als relatief klein gezien omdat het onttrokken oppervlaktewater meestal maar een zeer klein deel is van de oppervlaktewateraanvoer. Wat kwaliteit betreft is een mogelijk risico het aantrekken van vervuild oppervlaktewater in het grondwatersysteem. Er zijn geen directe positieve effecten van oeverfiltratie op de omgeving. Wel kan het instellen van een grondwaterbeschermingsgebied en actieve verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit voor drinkwaterdoelen een breder positief effect hebben.

4.2.3 Reallocatie van winning



<i>Werking</i>	Het verplaatsen van een winning voor een robuuster gebruik van de zoetwaterbron
<i>Effect drinkwaterkwantiteit</i>	Mogelijk robuuster gebruik van bronnen door een betere plek in het watersysteem
<i>Effect waterkwaliteit</i>	Mogelijk betere kwaliteit door betere plek in het watersysteem
<i>(Landschappelijke) eisen</i>	De beschikbaarheid van een betere bron en/of winlocatie dan de huidige
<i>Schaal</i>	Wingebied of regionaal

<i>Controle drinkwaterbedrijf</i>	Groot, veel afstemming nodig met andere partijen voor gebruik nieuwe bron
<i>Externe nadelen</i>	Ruimte voor nieuwe winlocatie en bijbehorend grondwaterbeschermingsgebied moet beschikbaar zijn en gereserveerd worden
<i>Externe voordelen</i>	Mogelijkheid tot investering in de zuiveringscapaciteit en aanwenden nieuwe bronnen
<i>Praktijkervaring</i>	Verplaatsen grondwaterwinningen komt regelmatig voor; verplaatsen oppervlaktewaterwinning sporadisch
<i>Combinatie met andere maatregelen</i>	Aanvoer en herverdeling, vergroten zuiveringscapaciteit, aanpassing landgebruik, aanpassing waterbeheer

Indien de kwaliteit of kwantiteit uit een geleverde bron onder druk staat, kan ervoor gekozen worden om voor de drinkwaterwinning geheel of gedeeltelijk van locatie of bron te veranderen, ook wel reallocatie genoemd.

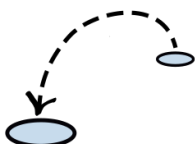
Een voorbeeld van reallocatie is het verplaatsen van een grondwaterwinning naar een andere plaats. Dit kan nodig zijn doordat de kwaliteit van het grondwater op de oorspronkelijke locatie niet kon worden gewaarborgd, bijvoorbeeld door verzilting of verontreiniging; of doordat dat de winning op de oorspronkelijke locatie leidde tot verdrogings schade aan het oppervlak. Reallocatie kan plaatsvinden naar een al bestaande bron (bijv. van Griensven et al., 2009) of een volledig nieuwe bron. Ook kan ervoor gekozen worden om de winning naar een ander watervoerend pakket te verplaatsen op dezelfde locatie, onder andere om stijghoogteverandering aan het oppervlak te beperken (bijv. Nijkamp, 2016).

Ook bij oppervlaktewater kan een winning worden gerealloceerd. Zo is het innamepunt van Evides uit noodzaak verplaatst van Stellendam naar Middelharnis, omdat het Haringvliet als gevolg van het Kierbesluit op de eerstgenoemde locatie verziltte (Evides, 2017).

Daarnaast kan onder reallocatie het toevoegen van een reservebron verstaan worden, die kan worden aangewend indien de primaire bron onvoldoende kwantiteit of kwaliteit levert. Zo gebruikt Dunea water uit de Lek voor duinwateraanvulling indien het water uit de Maas, de primaire bron, van onvoldoende kwaliteit is (Dunea, 2021b).

Reallocatie is vaak een oplossing om op de lange termijn gebruik te kunnen blijven maken van een bepaalde bron. De investeringskosten zijn echter groot, omdat er vaak nieuwe infrastructuur moet worden aangelegd. Daarnaast is het vinden van een nieuw waterwingebied en, in het geval van een grondwaterwinning, vaststellen van een grondwaterbeschermingsgebied, lastig door de grote druk op de ruimte. Daardoor zien drinkwaterbedrijven reallocatie vaak als noodgreep als er niets anders meer mogelijk is (Vewin, 2017).

4.2.4 Decentrale winning



<i>Werking</i>	Zoetwaterwinning/productie op huishoud- of wijkniveau
<i>Effect drinkwaterkwantiteit</i>	Drinkwaterbedrijven worden ontlast
<i>Effect waterkwaliteit</i>	Waterkwaliteit vaak niet geschikt voor drinkwater, risico op vervuiling groot wanneer technische inrichting niet perfect is
<i>(Landschappelijke) eisen</i>	Op elke locatie met zoetwaterbron toepasbaar
<i>Schaal</i>	Lokaal

<i>Controle drinkwaterbedrijf</i>	Enkel stimulering en eventueel monitoring; afhankelijk van de wil van bedrijven (bijv. projectontwikkelaars), overheden (bijv. regelgeving) of burgerinitiatieven
<i>Externe nadelen</i>	Vergroot risico op verontreinigingen en minder controle op waterkwaliteit. Mogelijk extra piekcapaciteit nodig bij drinkwaterbedrijven voor opvangen tekorten.
<i>Externe voordelen</i>	Bewustwording van watergebruik
<i>Praktijkervaring</i>	Voorals Vlaanderen veel ervaring met laagwaardige productie, drinkwaterproductie beperkt
<i>Combinatie met andere maatregelen</i>	Diepinfiltratie, oppervlakteberging

Met decentrale winning wordt hier de productie van drinkwater of laagwaardiger water bedoeld op huishoud- of wijkniveau, waarbij het drinkwaterbedrijf niet direct betrokken is bij de productie ervan. In plaats van het vergroten van het wateraanbod door de drinkwaterbedrijven, worden zij in het geval van decentrale winningen juist ontlast doordat de gebruiker (deels) zelfvoorzienend is op het gebied van drinkwater of huishoudwater. De rol van het drinkwaterbedrijf is hier dus (financiële) stimulering in plaats van daadwerkelijke drinkwaterproductie. Decentrale winning ligt op het grensvlak met andere waterbesparende maatregelen, zoals de aanleg van een grijswaterstelsel of de aanschaf van waterbesparende producten.

De meest toegepaste vorm van decentrale winning is het opvangen van regenwater voor laagwaardig gebruik, zoals besproken in paragraaf 3.8. Met name in Vlaanderen is decentraal gebruik van regenwater wijdverspreid, als gevolg van een in 2005 ingevoerde wet die verplichtte dat nieuwbouw en een groot deel van de renovatieprojecten voorzien werden van een systeem voor de opvang van regenwater voor laagwaardig gebruik. Dit heeft er bijvoorbeeld in het verzorgingsgebied van De Watergroep toe geleid dat meer dan helft van de klanten op zo'n systeem aangesloten is. Hierdoor is de drinkwatervraag in deze gebieden significant afgenomen (van Alphen et al., 2018).

De daadwerkelijke productie van drinkwater vanuit decentrale winningen wordt vaak als optie gezien voor afgelegen gebieden, waarvoor het technisch uitdagend of duur is ze aan te sluiten op het drinkwaternet. In Vlaanderen zijn zo'n 40.000 woningen niet aangesloten op het drinkwaternet. Het grootste deel hiervan gebruikt een individuele grondwaterput als primaire drinkwaterbron. Voor deze huishoudens wordt ook onderzoek gedaan naar het zuiveren van regenwater tot drinkwaterkwaliteit (De Watergroep, 2020a). De financiële haalbaarheid van decentrale zuivering voor afgelegen gebieden in Nederland is onderzocht door Hofman-Caris et al., (2019). Hieruit bleek dat decentrale drinkwaterwinning uit regen-, grond- en oppervlaktewater in principe mogelijk is, maar pas vanaf ca. 600 huishoudens financieel haalbaar is.

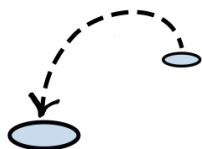
In Nederland zijn in het verleden al een aantal testlocaties geweest voor decentrale drinkwaterproductie en (gedeeltelijke) afkoppeling van het drinkwaternet. Een aantal van deze casussen op het schaalniveau van meerdere woningen of een gehele woonwijk is onderzocht door Van Alphen (2014). Bronnen gebruikt voor drinkwaterproductie bij deze casussen zijn gezuiverd hemelwater, gezuiverd grijs water en gezuiverd grondwater.

Naast huishoudens kunnen ook de landbouw en industrie gestimuleerd worden om hun eigen irrigatie- en productiewater te winnen, om zo de vraag naar drinkwater te ontlasten. Voorwaarde hierbij is dan wel dat dit op een duurzame wijze gebeurt.

De grootste zorg bij decentrale productie is het gebrek aan controle op de drinkwaterkwaliteit. Om de kwaliteit te kunnen waarborgen, zullen sensoren moeten worden aangesloten die overschrijdingen in concentraties vervuilende stoffen kunnen detecteren. Deze zijn echter nog niet op de markt beschikbaar (Hofman-Caris et al.,

2019b). Bij decentrale winning voor laagwaardig gebruik, zoals het besproeien van de tuin of het land, het doorspoelen van het toilet of industriële toepassingen, is zulke intensieve monitoring minder noodzakelijk.

4.2.5 Aanvoer en herverdeling

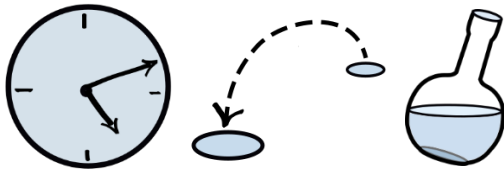


<i>Werking</i>	Water aanvoeren van gebieden met voldoende productie of opslag naar gebieden met watertekort
<i>Effect drinkwaterkwantiteit</i>	Meer drinkwater(bronnen) op locaties waar de beschikbaarheid beperkt is
<i>Effect waterkwaliteit</i>	Afhankelijk van type transfer
<i>(Landschappelijke) eisen</i>	Relatief korte afstand tussen gebied met tekort en gebied met overschot
<i>Schaal</i>	Regionaal tot nationaal
<i>Controle drinkwaterbedrijf</i>	Groot; onderlinge samenwerking tussen bedrijven nodig
<i>Externe nadelen</i>	Klein; bij hoge vraag overbelasting van herkomstgebied mogelijk
<i>Externe voordelen</i>	-
<i>Praktijkervaring</i>	Transfers in West-Vlaanderen (o.a. Water-link); aanvoer Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden
<i>Combinatie met andere maatregelen</i>	Oppervlakteberging, oppervlakte- en diepinfiltratie; seizoensgebonden winningen, reallocatie van winningen

Wanneer in een bepaalde regio (tijdelijk) niet voldoende waterbronnen beschikbaar zijn, kan de waterbeschikbaarheid verbeterd worden door het creëren of versterken van mogelijkheden om water van elders aan te voeren. Het herkomstgebied kan een gebied zijn met een grote waterbron, zoals een grote rivier of grondwater, of betere mogelijkheden voor opslag. Regionale herverdeling van (drink)water gebeurt op dit moment al in verschillende gebieden. Voor de verschillende drinkwaterbedrijven in West-Vlaanderen, waar de productiecapaciteit uit grond- en oppervlaktewater beperkt is, is de productie voor 20-80% afhankelijk van aanvoer vanuit Wallonië en noordoost-Vlaanderen (Albertkanaal) (VMM, 2021c). In Nederland als geheel is zo'n 16% van het geleverde drinkwater op een zeker moment door het drinkwaterbedrijf ingekocht (Geudens & van Grootveld, 2017). Zo wordt water uit de grote rivieren vervoerd naar de duinen voor infiltratie; in Noord-Friesland en -Groningen, waar beperkte voorraden zoet grond- en oppervlaktewater beschikbaar zijn, wordt drinkwater aangevoerd vanuit Drenthe en Zuid-Friesland; en in Zeeuws-Vlaanderen wordt ruwwater voor drinkwaterproductie aangevoerd vanuit de Maas. Wateraanvoer van elders wordt door sommige drinkwaterbedrijven ook toegepast om (zomer)piekvragen op te vangen (bijv. aanvoer Berenplaat naar wingebieden Goeree).

De mogelijkheden voor onderlinge herverdeling van water kunnen worden vergroot door de aanleg van nieuwe verbindingsleidingen en pompen. In Vlaanderen wordt het verbeteren van de onderlinge wateruitwisselingsmogelijkheden als belangrijke maatregel gezien voor de toekomstige waterbeschikbaarheid (VMM, 2021c). Door toenemende vraag, langere perioden van droogte of toenemende beperkingen op winningen kan in de toekomst voor meer gebieden wateraanvoer nodig zijn dan nu het geval is. Vitens onderzoekt bijvoorbeeld al de mogelijkheid om grondwaterwinningen in de Achterhoek en Twente te verminderen en deels te vervangen voor aanvoer van drinkwater uit oppervlaktewater (Vitens, 2020d).

4.2.6 Softwareontwikkelingen: monitoring & afstemming



<i>Werking</i>	(Verder) optimaliseren van waterwinning, -distributie en/of – gebruik door gebruik van software en modellen
<i>Effect drinkwaterkwantiteit</i>	Betere afstemming kan leiden tot minder verspilling en efficiëntere waterverdeling
<i>Effect waterkwaliteit</i>	Betere monitoring leidt tot eerder en beter opsporen van verontreiniging
<i>(Landschappelijke) eisen</i>	Kan overall
<i>Schaal</i>	Lokaal tot nationaal
<i>Controle drinkwaterbedrijf</i>	Voor efficiënte ontwikkeling van software en integrale optimalisatie samenwerking met andere waterpartijen nodig
<i>Externe nadelen</i>	Niet voldoende meenemen van factoren die niet (goed genoeg) in software en modellen zijn ingebouwd; storingen in software- en monitoringssystemen zelf
<i>Externe voordelen</i>	Beter meenemen van externe effecten in beslissingen
<i>Praktijkervaring</i>	Bij meerdere bedrijven ervaring met modellen en software voor onderdelen van het winsysteem, minder op integraal en grootschalig
<i>Combinatie met andere maatregelen</i>	Alternatieve bronnen; berging en infiltratie; decentrale winning; aanvoer en herverdeling

Software en modellen worden op dit moment al veel gebruikt in de waterwinning en –distributie, bijvoorbeeld voor het voorspellen van de omgevingseffecten van winningen en het regelen van de productie. Er wordt echter ook recent nog veel ontwikkeld aan verbeterde en innovatieve software- en modelsystemen. Deze kunnen bijdragen aan het nog efficiënter benutten van beschikbare bronnen op kleine en grote schaal en daarmee aan een betere waterschikbaarheid. Het gebruik van geavanceerdere modellen en beslissingsondersteunende tools zal waarschijnlijk belangrijker worden, door de verwachte toename in fluctuaties in kwaliteit en kwantiteit van bronnen, en door het complexer worden van waterwinsystemen wanneer wordt ingezet op alternatieve bronnen, uitgebreidere opslag en infiltratie of verbinding van waternetwerken.

In de afgelopen decennia is door verschillende partijen in Nederland en het buitenland software ontwikkeld voor optimalisatie van waterwinning en –distributie, zowel voor real-time operationeel gebruik als voor de inrichting op lange termijn. De tools omvatten meestal één of meerdere van de volgende onderdelen:

- Systemen voor (real-time) monitoring van de waterkwaliteit en –kwantiteit en de status van de infrastructuur met telemetrie-sensoren (Aquafin et al., 2020; Hydroscan, n.d.-a; RHDHV, 2021a);
- Voorspellingen van de watervraag en de status van waterbronnen op korte of lange termijn, met soms koppeling aan een versimpeld hydrologisch model (Ascott et al., 2021a; Hydro-Logic, 2021; KWR, 2021a; RHDHV, 2021b);
- Modelling van het distributienetwerk met netwerkmodellering, hydraulische modellering en soms modellering van temperatuur en kwaliteit in het netwerk (Ascott et al., 2021b; EPA, n.d.-a; Hydroscan, n.d.-b; KWR, 2021b; RHDHV, 2021b);

- Optimalisatie van het operationele beheer (waterverdeling, drukbeheer, opslag etc.) of de inrichting van het netwerk. Criteria zijn naast leveringszekerheid vaak behoud van waterkwaliteit en kosten- en/of energiebesparing. Opsporing van lekkages in leidingnetwerken is een andere toepassing.

Voorbeelden van tools zijn GONDWANA, SIMDEUM (KWR), OPIR (RHDHV), InfoWorks (Hydroscan), Aquator (Hydro Int.) en EPANET (EPA), waarvan de laatste een open source tool is. Op dit moment wordt veel gewerkt aan het verder ontwikkelen van modellen en tools binnen wetenschap en praktijk, onder andere het beter koppelen van het grond- en oppervlaktewatersysteem met distributiemodellen (Ascott et al., 2021b). In Vlaanderen wordt, onder andere binnen het “Internet of Water”-project, ingezet op software ontwikkeling voor klimaatrobuuste drinkwatersystemen en op het opzetten van een ‘slim’ landelijk waterkwaliteitsmeetnetwerk voor o.a. het vroeg oplossen van en inspelen op waterkwaliteitsproblemen (Aquafin et al., 2020; VMM, 2021c). Ook in Nederland werken veel drinkwaterbedrijven aan verdere digitalisering en automatisering, afstemmen van vraag en aanbod, automatische lekdetectie en andere optimaliseringen (Vitens, 2020b). De huidige tools en verdere ontwikkelingen kunnen worden gebruikt om de waterwinning en –distributie in de toekomst te optimaliseren, bijvoorbeeld om te beslissen wanneer welke bronnen het best worden kunnen gebruikt, wanneer opslag of uitwisseling van water nodig is, en hoe preciezer in de watervraag voorzien kan worden in normale situaties en droogtecondities (Aquafin et al., 2020; Ascott et al., 2021b; EPA, n.d.-b; Vitens, 2020c).

4.3 Verbeteren beschikbaarheid in het landschap

Een drinkwaterwinning is altijd onderdeel van een landschappelijk watersysteem, waarin de grond- en oppervlaktewatervoorraden worden aangevuld door infiltratie van neerslag en weer worden ontwaterd door het oppervlaktewatersysteem; de hoeveelheden aanvulling en afvoer worden bepaald door het landgebruik en waterbeheer in het landschap. Door landgebruik en waterbeheer anders in te richten kan de waterbeschikbaarheid op landschapsschaal verbeteren. Dit kan direct leiden tot een grotere waterbeschikbaarheid voor drinkwaterwinningen, maar ook tot een verlaagde kwetsbaarheid van omgevende functies zoals natuur, en daarmee minder beperking van de drinkwaterwinning door potentiële omgevingschade.

Maatregelen in landgebruik en waterbeheer kunnen genomen worden door de waterbedrijven zelf in hun eigen waterwin- en beheergebieden. De herinrichting van het landgebruik en waterbeheer op grotere schaal is een grotere opgave waarvoor moet worden samengewerkt met partners zoals waterschappen, natuurorganisaties, agrariërs en provincies. De brede groep van landschappelijke maatregelen wordt hier daarom relatief kort besproken.

4.3.1 Aanpassing landgebruik



<i>Werking</i>	Vergroten en/of stabiliseren aanvulling grond- of oppervlaktewater en/of verbetering kwaliteit door omvorming van bos naar andere vegetatietypen; omvorming van landbouw naar natuur; of creëren van groen in de stad.
<i>Effect drinkwaterkwantiteit</i>	Beschikbare water kan beter worden vastgehouden en aangevuld
<i>Effect waterkwaliteit</i>	Minder uitspoeling vervuilende stoffen bij overgang naar natuur of extensieve landbouw, risico op vervuiling grondwater in stedelijk gebied

<i>(Landschappelijke) eisen</i>	(Substantiële) aanpassingen mogelijk in herkomst- of invloedsgedebied winning
<i>Schaal</i>	Waterwingebied tot volledig infiltratie-/stroomgebied
<i>Controle drinkwaterbedrijf</i>	Samenwerking partners nodig m.n. voor grotere schaal
<i>Externe nadelen</i>	Mogelijke aantasting natuur- en klimaatdoelen afhankelijk van type aanpassing (bijv. kappen van bos), deels tegenstrijdige belangen huidige landbouwpraktijk
<i>Externe voordelen</i>	Mogelijke voordelen voor biodiversiteit, klimaat, waterkwaliteit en waterbeheer
<i>Praktijkervaring</i>	Diverse projecten bij de verschillende drinkwaterbedrijven, zowel in de duinen als op de hogere zandgronden
<i>Combinatie met andere maatregelen</i>	Oppervlakte-infiltratie, reallocatie van winningen, aanpassing waterbeheer

Het landgebruik en de vegetatie in een stroomgebied of infiltratiegebied bepalen in belangrijke mate hoeveel water in de loop van het jaar aan grond- en oppervlaktewater wordt geleverd. Aanpassingen in landgebruik of vegetatie kunnen daarmee bijdragen aan een verbetering van de waterbeschikbaarheid voor zowel grond- als oppervlaktewaterwinningen.

Mogelijke relevante aanpassingen in landgebruik zijn:

- Omzetting naar vegetatie met een lagere verdamping en grotere grondwateraanvulling, bijvoorbeeld van dicht naaldbos naar loofbos of van bos naar heide, grasland of stuifzand.
- Omzetting van landbouw naar natuur of extensievere landbouw. Dit verlaagt de uitspoeling van meststoffen en bestrijdingsmiddelen. Ook kunnen er door vergroting van watervasthoudend vermogen van de bodem en vermindering van oppervlakkige afspoeling mogelijk verbeteringen optreden in de waterhuishouding.
- Creëren van meer groen in bebouwd gebied. Dit zou bij kunnen dragen aan meer infiltratie en daarmee meer grondwateraanvulling en minder afspoeling van vervuilende stoffen.

Effect op waterkwantiteit

Het omvormen van vegetatie naar typen met een hogere grondwateraanvulling is vooral relevant voor grondwaterwinningen in gebieden met weinig intensieve drainage en met bestaande natuurgebieden. Het kan gaan om omvorming van bos naar lagere vegetatie (hoewel dit vaak moeilijk zal liggen in verband met bestaande bosuitbreidingsdoelen); om andere natuuromvormingen zoals omzetting van dicht naaldbos naar loofbos; maar ook om bijvoorbeeld een overgang naar minder waterverbruikende landbouwgewassen. Het creëren van (groene) plekken in de stad waar water kan infiltreren kan ook bijdragen aan de grondwateraanvulling (Dommel, 2020; McGrane, 2016). Wat voor effect met een omvorming bereikt wordt, is afhankelijk van de lokale verdamping en grondwateraanvulling, en de positie in het grotere hydrologische systeem, die bepaalt hoeveel van de verandering in lokale grondwateraanvulling ten goede komt aan de grondwater voorraad.

Schattingen van de verdamping en grondwateraanvulling voor verschillende vegetatietypen zijn gegeven in Tabel 4-1. Er bestaat binnen deze landgebruik- en vegetatietypen echter een grote variatie, afhankelijk van het precieze type vegetatie, gewas, de lokale waterbeschikbaarheid en de productiviteit (Jansen & Olsthoorn, 2003; Van Huijgevoort et al., 2020; Voortman et al., 2015). De huidige kennis van de verdamping en grondwateraanvulling onder verschillende vegetatietypen, nu en in de toekomst, is nog niet volledig. In stedelijke gebieden is de variatie in grondwateraanvulling ook zeer groot door variaties in bebouwingstypen, vegetatie en drainage (McGrane, 2016).

Het effect van landgebruiksveranderingen op de regionale grondwater voorraad is verkend in enkele modelstudies. Deze studies suggereren dat grootschalige omzettingen van dicht naaldbos naar loofbos, heide of stuifzand tot substantiële veranderingen leiden in de grondwateraanvulling en grondwaterstanden (ordegrootte tot meters) en

kwelstromen (Niet et al., 2021; van den Eertwegh et al., 2021; Van Huijgevoort et al., 2020). Effecten zijn het grootst in hogere gebieden met weinig drainage (van den Eertwegh et al., 2021). Ook op de schaal van de directe omgeving van winningen hebben omzettingen van naaldbos naar loofbos of heide waarschijnlijk substantiële effecten (Gehrels, 1999). Metingen uit de praktijk zijn schaars, maar uit het buitenland zijn wel observaties van een negatieve relatie tussen bosoppervlak en grondwateraanvulling en basisafvoer (Teuling et al., 2019; Filoso et al., 2017). Voor oppervlaktewaterwinningen zou aanpassing van landgebruik of natuurontwikkeling ook voordelig kunnen zijn voor de waterkwaliteit, door bijvoorbeeld constantere aanvoer uit het stroomgebied. Voor de meeste Nederlandse oppervlaktewaterwinningen is dit echter moeilijk te bereiken, omdat deze van een zeer groot stroomgebied afhankelijk zijn.

Het effect van het stimuleren van infiltratie in steden op grondwatervoorraden is nog relatief weinig verkend. Waarschijnlijk zijn de effecten lokaal, maar kunnen mogelijk relevant zijn voor winningen waar stedelijk landgebruik een belangrijk aandeel vormt (van den Eertwegh et al., 2021; Vink et al., 2006). Metingen en modelstudies uit het buitenland laten vaak een afname in grondwateraanvulling en basisafvoer zien met verstedelijking. Dit is echter niet altijd het geval, en is afhankelijk van de mate van verdamping en ontwatering voor en na de verstedelijking (Bhaskar et al., 2016; McGrane, 2016).

Tabel 4-1: Grondwateraanvulling en verdamping voor verschillende vegetatie- en landgebruikstypen. Nummers tussen haakjes verwijzen naar 1: Voortman et al. (2015); 2: Voortman et al. (2019); 3: Dolman et al. (2000); 4: Stuurman et al. (2008).

Landgebruik/vegetatie	Geschatte grondwateraanvulling (mm/j)	Geschatte jaarlijkse verdamping (mm/j)
Donker/dicht naaldbos	104 (3)	730 (3)
Licht naaldbos	270 (3)	602 – 679 (2); 630 (3)
Loofbos	220-276 (3)	517 (2); 555 - 625 (3)
Heide	334-514 (3)	391 – 499 (1); 358 – 492 (2)
(Droog) grasland	409-534 (3)	333 – 382 (1); 300-425 (3)
Stuifzand	634-678 (3)	258-295 (1); 201 (2); 156-200 (3)
Landbouw		
Dicht stedelijk	150-200 (4)	
Open stedelijk	300 (4)	

Effect op waterkwaliteit

Natuur als landgebruik in intrekgebieden geeft een laag risico op vervuiling van drinkwaterbronnen in vergelijking met landbouw of stedelijk gebied. In veel gevallen zal bij omvorming naar natuur of extensieve landbouw dus een positief effect te verwachten zijn op de waterkwaliteit voor zowel grond- als oppervlaktewaterwinningen. Bij stimuleren van infiltratie in de stad kunnen juist extra risico's optreden. Voor oppervlaktewaterwinningen zijn lokale aanpassingen in landgebruik en –beheer mogelijk om de connectie van vervuilende stoffen met het oppervlaktewatersysteem te beperken, zoals natuur of teeltvrije zones rond oppervlaktewater (van der Meulen et al., 2019).

(Landschappelijke) eisen, schaal en controle

Aanpassingen in landgebruik voor het vergroten van grondwateraanvulling zijn het meest effectief in intrekgebieden van grondwaterwinningen in traag reagerende, weinig gedraineerde gebieden. Aanpassingen voor verbetering van waterkwaliteit zijn relevant daar waar in intrekgebieden (geconcentreerde) intensieve landbouw plaatsvindt op sterk doorlatende bodems.

Veranderingen in landgebruik zijn ten eerste mogelijk in de waterwingebieden en beheergebieden van drinkwaterbedrijven zelf. De drinkwaterbedrijven zelf beheren samen een gebied van zo'n 23.000 hectare; deze direct beheerde gebieden bestaan grotendeels uit natuur (van der Zee et al., 2016). In gebieden die direct door de

drinkwaterbedrijven worden beheerd kan het drinkwaterbedrijf in principe zelf aanpassingen maken in vegetatie en landgebruik. In veel gevallen zijn er wel bindende natuurdoelen: voor de duinwaterbedrijven bestaat het beheerde gebied vrijwel geheel uit Natura 2000-gebied, voor de overige bedrijven ligt dit tussen zo'n 0 en 20% (van der Zee et al., 2016).

Het grootste effect voor (drink)waterbeschikbaarheid zal worden bereikt door ingrepen op grotere schaal in volledige herkomstgebieden van winningen. Hiervoor moet worden samengewerkt met waterschappen, natuurbeheerders, agrariërs, provincies en/of gemeentes. Bij eerdere uitbreidingen van natuur rond winlocaties is bijvoorbeeld meestal samengewerkt met natuurorganisaties en waterschappen; het land is soms in bezit of aangekocht door het drinkwaterbedrijf (Kolff, Vitens), soms van natuurorganisaties (Tussenwater, Drents Landschap). Omvormingen naar andere natuurtypen of natuurontwikkeling op grotere schaal zijn mogelijk wanneer koppelingen te maken zijn van het drinkwaterbelang met andere doelen in grotere gebiedsprocessen. Voor oppervlaktewaterwinningen is het herkomstgebied vaak zeer groot en ligt de inrichting ervan buiten de invloed van het drinkwaterbedrijf. Voor oppervlaktewaterwinningen met een klein stroomgebied, zoals de Punt bij de Drentsche Aa, zijn echter wel maatregelen mogelijk (van der Meulen et al., 2019).

Externe voor- en nadelen

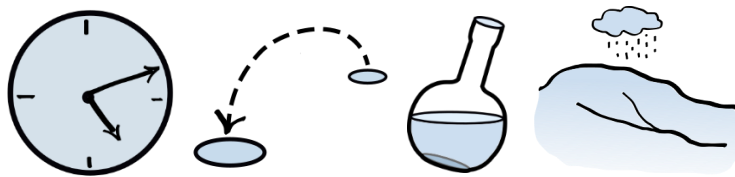
Omzetting van donker naaldbos naar loofbos, heide of stuifzand of andere lage vegetatie is in veel situaties voordelig voor de biodiversiteit, omdat deze vegetaties meer biodivers zijn of habitat vormen voor zeldzame soorten. Omvorming op grote schaal kan echter ook negatief zijn voor biodiversiteit; boskap gaat daarnaast in tegen bestaande doelen voor bosuitbreiding. Ontwikkeling van nieuwe natuur heeft voordeel voor andere doelen zoals het verbinden van natuurgebieden, reductie van stikstofuitstoot, en in sommige gevallen voor waterbeheerdoelen zoals waterberging, water vasthouden en verbeteren van de waterkwaliteit. Creëren van groen in en rond de stad geeft voordelen voor leefbaarheid en waterberging. Wel kunnen tegengestelde belangen bestaan in het beheer van de winning en het watersysteem met het nieuwe landgebruik- of vegetatietype: voor natuur kan bijvoorbeeld een hoge waterstand goed zijn, terwijl voor de waterwinning een droog natuurtipe en hogere onttrekking optimaal zijn. Bij het omvormen van landbouw of andere functies naar natuur moet landbouwgrond worden opgegeven.

Praktijkervaring

Met grootschalige omvorming van landgebruik voor drinkwaterdoelen is nog weinig ervaring. Wel zijn er verschillende voorbeelden van natuurontwikkeling in en rond drinkwaterwingebieden:

- Duinwaterbedrijven: De duinwaterbedrijven hebben grote natuurgebieden in beheer, waar waterwinning en natuur sterk op elkaar zijn afgestemd.
- Tussenwater/winning de Groeve, WBG: Rond grondwaterwinning de Groeve is een natuurgebied ontwikkeld met tegelijk een waterbergingsfunctie. Mogelijk infiltreert meer water door de bergingsfunctie, maar dit is nog onduidelijk (Waterschap Hunze & Aa's, 2015).
- 't Broek/winning Kolff, Vitens: Rondom grondwaterwinning Kolff is natte natuur ontwikkeld en gekoppeld aan een naastgelegen natuurgebied. Het peil is opgezet, er wordt meer water vastgehouden en spoelwater wordt het natuurgebied ingebracht. Hierdoor konden putten verder uit elkaar worden geplaatst waardoor de omgevingsinvloed werd verkleind, en is het gebied meer hydrologisch geïsoleerd waardoor risico's op vervuiling zijn verkleind (Vitens, 2016).
- Drentsche Aa/winning de Punt, WBG: In het stroomgebied van de Drentsche Aa heeft de afgelopen decennia veel natuurontwikkeling plaatsgevonden en is gewerkt aan de waterkwaliteit, onder andere door instellen van teeltvrije zones rond de beek en aanleg van akkerranden (van der Meulen et al., 2019). Hiervan profiteert ook de waterkwaliteit voor de drinkwaterwinning.

4.3.2 Aanpassing waterbeheer



<i>Werking</i>	Vergroten en/of stabiliseren van de grond- en oppervlaktewatervoorraad door maatregelen die bijdragen aan verhoogde infiltratie en/of vertraagde afvoer.
<i>Effect drinkwaterkwantiteit</i>	Beschikbare water wordt beter vastgehouden en aangevuld.
<i>Effect waterkwaliteit</i>	Zeer afhankelijk van het type maatregel
<i>(Landschappelijke) eisen</i>	Met name hoog gebied en rond natuurgebieden
<i>Schaal</i>	Waterwingebied tot volledig infiltratie-/stroomgebied
<i>Controle drinkwaterbedrijf</i>	Samenwerking partners nodig m.n. voor grotere schaal
<i>Externe nadelen</i>	Mogelijke wateroverlast en verhoogde oppervlaktewatervraag
<i>Externe voordelen</i>	Verhoogde waterbeschikbaarheid voor natuur en landbouw
<i>Praktijkervaring</i>	Verschillende kleinschalige voorbeeldprojecten door drinkwaterbedrijven en andere stakeholders
<i>Combinatie met andere maatregelen</i>	Aanpassing landgebruik, oppervlakte- en diepte-infiltratie, relocatie van winningen

De watervoorraad voor een drinkwaterwinning en de omgeving kan profiteren van aanpassingen in het landschappelijk waterbeheer. Het gaat om aanpassingen waardoor water meer en langer in het systeem wordt vastgehouden, met name in het grondwater. Dit is mogelijk door de infiltratie te vergroten; of door de afvoer van water te vertragen (zie Tabel 4-2). Door het vasthouden van water worden grondwatervoorraden vergroot en kan de afvoer naar oppervlaktewater stabiel worden. Dit kan de waterbeschikbaarheid verbeteren voor de drinkwaterwinning zelf, maar ook voor andere functies in het landschap, zoals landbouw en natuur (Bartholomeus, 2021).

Tabel 4-2: Maatregelen in waterbeheer voor verhogen van de watervoorraad.

Verhogen infiltratie	Vertragen afvoer
Bodemverbetering	Sloten dempen/verondiepen
Afkoppelen stedelijk gebied	Peilverhoging
Runoff- en oppervlaktewaterretentie	Aangepaste drainage en peilbeheer
Subirrigatie	Hydrologische bufferzones
Actieve aanvoer en infiltratie (besproken onder 4.1.2)	Beekherstel

Het vergroten van de infiltratie is mogelijk door het beperken van oppervlakkige afvoer. Ook kan infiltratie van oppervlaktewater gestimuleerd worden, bijvoorbeeld in overstromingsvlaktes of door subirrigatie. Actief aanvoeren en infiltreren wordt besproken onder 4.1.2.

Het vertragen van de afvoer van water is mogelijk door drainage minder intensief te maken, bijvoorbeeld door sloten te dempen of slootbodems te verhogen in landbouw- en natuurgebied. Een breed in te zetten optie is peilverhoging tot in de zogenaamde haarvaten van het systeem (van den Eertwegh et al., 2021). Dit kan op kleine schaal door aanpassingen in peilen, klimaatadaptieve stuwen en regelbare drainage. Gebieden kunnen ook verdergaand worden vernat, waarbij dit meestal samen zal gaan met een overgang naar (natte) natuur of andere typen landbouw. Peilverhoging zorgt ervoor dat er uit het gebied zelf minder water wordt gedraineerd. Ook kan peilverhoging worden toegepast in bufferzones, die zorgen voor minder afvoer uit naastgelegen hogere gebieden.

Bij beekherstel wordt de beek teruggebracht in een ondiepere, smallere en/of meanderende bedding en worden overstromingszones gecreëerd. Ook dit kan bijdragen aan het vertragen van de afvoer van water uit een stroomgebied en het stabiliseren van de beekafvoer (Verdonschot et al., 2012).

Naast het vasthouden van het lokale neerslagoverschot kan op landschappelijke schaal water worden aangevoerd. Voor drinkwaterwinningen uit oppervlaktewater kunnen optimalisaties mogelijk zijn in de regionale waterverdeling, bijvoorbeeld door (meer) oppervlaktewater aan te voeren in droge perioden of wateronttrekking bovenstrooms te reguleren. Ook verschillende van de maatregelen uit Tabel 4-2 profiteren van actieve aanvoer van oppervlaktewater.

In plaats van het nemen van individuele, lokale maatregelen in het waterbeheer en landgebruik, worden door steeds meer partijen ideeën naar voren gebracht om het watersysteem en de inrichting op grotere schaal om te vormen naar een 'klimaatrobuust systeem', waarin water optimaal wordt vastgehouden en landschapsfuncties aangepast zijn aan de bodem- en watercondities. Visies zijn naar voren gebracht in onder andere de oproep 'Water Verbindt' van de drinkwaterbedrijven en waterschappen, de visie 'Nederland in 2120' van de WUR (Baptist et al., 2019) en de visie 'Panorama Waterland' van Vitens (Westenbrink, 2020) (zie par. 5.1).

Effect op waterkwantiteit en -kwaliteit

De effecten van verschillende maatregelen om water vast te houden zijn in Nederland nog vrijwel alleen gemeten op kleine schaal. De mogelijke effecten op watervoorraden zijn verkend met regionale en landelijke modellen, o.a. in het project Droogte op de Hoge Zandgronden (van den Eertwegh et al., 2021) en binnen het Deltaprogramma Zoetwater (Tabel 4-3).

Tabel 4-3: Kwantitatieve effecten van verschillende aanpassingen in waterbeheer.

Verhogen infiltratie	Effect waterkwantiteit
Bodemverbetering	Effect op waterbeschikbaarheid afhankelijk van locatie (Bartholomeus, 2021; Stratelligence, 2021); mogelijk lokale verbetering watervoorziening gewassen en verlaging beregning (Bartholomeus, 2021; Schipper et al., 2015); kennis over grootschaliger effecten beperkt.
Afkoppelen stedelijk gebied	Rond steden potentieel substantieel effect op grondwaterstanden (van den Eertwegh et al., 2021)
Runoff- en oppervlaktewaterretentie	Runoff-retentie alleen kleinschalig getest, mogelijk alleen relevant in hellende gebieden (Limburg, Twente) waar runoff een substantiële factor is.
Subirrigatie	Kan bijdragen aan water vasthouden en infiltreren; effect op regionale watervoorraad waarschijnlijk pas bij grootschalige toepassing (Bartholomeus, 2021; Brakkee et al., 2021).
Vertragen afvoer	
Sloten dempen/verondiepen	Regionaal potentieel substantieel effect op watervoorraden (Stratelligence, 2021). In natuurgebieden heeft deze maatregel al succesvolle vernatting bereikt (bijv. Van Guldener et al., 2016).
Peilverhoging	Regionaal potentieel substantieel effect op watervoorraden (Stratelligence, 2021). Potentieel verhoging van grondwatervoorraad en kwelaanvoer over weken tot meerdere maanden na natte periode (van den Eertwegh et al., 2021; van Loon et al., 2014).
Aangepaste drainage en flexibel peilbeheer	Zeer afhankelijk van locatie en type drainage/peilbeheer (Stuyt et al., 2012).
Hydrologische bufferzones	Ervaring vooral met waterberging, effect op droogte nog slecht bekend. Potentieel substantieel positief effect op grondwaterstanden, wanneer direct rond droogtegevoelige gebieden toegepast. Dit blijkt uit

	modelberekeningen en voorbeelden van bufferzones rond natuurgebieden (van den Eertwegh et al., 2021; Van Guldener et al., 2016).
Beekherstel	Effect regionaal grondwater nog slecht bekend.

Uit verkennende regionale modelstudies komen enkele overkoepelende punten naar voren rond de effecten van watervasthoudende maatregelen:

- Schaal en landschapsetting bepalen sterk of water lang genoeg in een gebied kan worden vastgehouden. Water wordt beter vastgehouden wanneer maatregelen op grotere schaal worden toegepast, wanneer sprake is van een lage drainagedichtheid en/of een moeilijk doorlatende laag in de ondergrond. Zo blijkt uit verkennende modelberekeningen dat water vasthouden of infiltreren in de haarvaten van een systeem of in een wat kleiner natuurgebied niet doorwerkt tot in de zomer, terwijl dit wel lukt in een groot hooggelegen natuurgebied of bij regionale peilverhogingen (van den Eertwegh et al., 2021; van Loon et al., 2014). Ook voor beekafvoeren geldt, dat relatief grootschalig herstel nodig is om een stabielere afvoer te bereiken (Verdonschot et al., 2012). Kleinschaliger maatregelen kunnen wel effectief zijn voor het compenseren van droogte-effecten als deze direct in of rondom kwetsbare gebieden worden toegepast (van den Eertwegh et al., 2021; Van Guldener et al., 2016).
- De relatie tussen het vasthouden van oppervlaktewater en grondwater, en tussen lokaal vasthouden en regionale effecten, is vaak niet eenduidig. Zo kan lokaal vernatten juist leiden tot een grotere fluctuatie in oppervlaktewaterafvoeren (Stuyt et al., 2012; van den Eertwegh et al., 2021).
- Er kan een groot verschil zijn tussen gebieden waar wateraanvoer mogelijk is en waar dit niet kan. Wanneer oppervlaktewaterpeilen 's zomers hoog gehouden kunnen worden, kunnen bijv. bufferzones en andere gebieden met verhoogde peilen langer het grondwater binnenhouden of actief infiltreren (Bartholomeus, 2021; van den Eertwegh et al., 2021).

Wat waterkwaliteit betreft zijn de effecten van de genoemde maatregelen lastig van te voren te voorzien. Het vasthouden van water in landbouwpercelen kan zorgen voor minder uitspoeling van verschillende stoffen naar het oppervlaktewater. Vernatting kan echter ook tot meer oppervlakkige afspoeling leiden, wat juist de waterkwaliteit kan verslechteren. De chemische effecten van vernatting kunnen zowel positief als negatief uitpakken (Stuyt et al., 2012). Ook bodemverbeterende maatregelen hebben waarschijnlijk geen eenduidig effect op de kwaliteit van uit- en afspoelend water (Bartholomeus, 2021).

(Landschappelijke) eisen, schaal en controle

Het vasthouden van water in het grondwater heeft de meeste potentie op de hoge zandgronden, en dan met name in of rondom hoge, droge gebieden met weinig drainage. Sommige van de maatregelen zijn afhankelijk van of hebben baat bij een continue beschikbaarheid van oppervlaktewater (peilverhoging, bufferzones, subirrigatie). Als compensatie voor wateronttrekking kunnen watervasthoudende maatregelen in en rondom kwetsbare landbouw- of natuurgebieden worden toegepast. Maatregelen voor water vasthouden zijn waarschijnlijk meestal pas effectief op relatief grote schaal (van den Eertwegh et al., 2021; van Loon et al., 2014; Verdonschot et al., 2012). Hiervoor moet worden samengewerkt met waterschappen en andere stakeholders. Als compensatie in kwetsbare natuur- of landbouwgebieden kunnen ook kleinschaliger ingrepen effectief zijn (van den Eertwegh et al., 2021; Van Guldener et al., 2016; Verdonschot et al., 2012).

Externe risico's en voordelen

Het verbeteren van de mate waarin water wordt geïnfilteerd en (langdurig) wordt vastgehouden in een gebied heeft in principe direct voordelen voor verschillende andere functies in het landschap, zoals landbouw en natuur, omdat de watervoorraad in het landschap als geheel vergroot wordt, mogelijk ook in droge perioden. Peilverhoging en de aanleg van bufferzones kan daarnaast samengaan met natuurontwikkeling, wat een bijdrage levert aan natuurdoelen. De landbouwgerichte maatregelen uit Tabel 4-2 kunnen ook op lokale schaal voor de landbouw de watervoorziening verbeteren. Water vasthouden en peilverhoging kunnen echter ook leiden tot wateroverlast in

landbouwgebied of stedelijk gebied. Een deel van de maatregelen leidt daarnaast tot een grotere vraag naar oppervlaktewater of een grotere fluctuatie in de aan- en afvoer van oppervlaktewater.

Praktijkervaring

De genoemde maatregelen zijn op kleine schaal al toegepast, sommige al lange tijd, andere nog in experimentele fase. Ook zijn in enkele studies verkennende modelberekeningen gedaan naar de potentiële regionale effecten van het toepassen van deze maatregelen (Bartholomeus, 2021; Mens et al., 2020b; van den Eertwegh et al., 2021; van Loon et al., 2014). Verder onderzoek loopt in o.a. het onderzoeksprogramma KLIMAP, het Deltaprogramma Zoetwater, programma Zoetwatervoorziening Oost-Nederland (ZON) en een groot aantal praktijkproeven bij waterschappen, natuurorganisaties en onderzoeksinstituten.

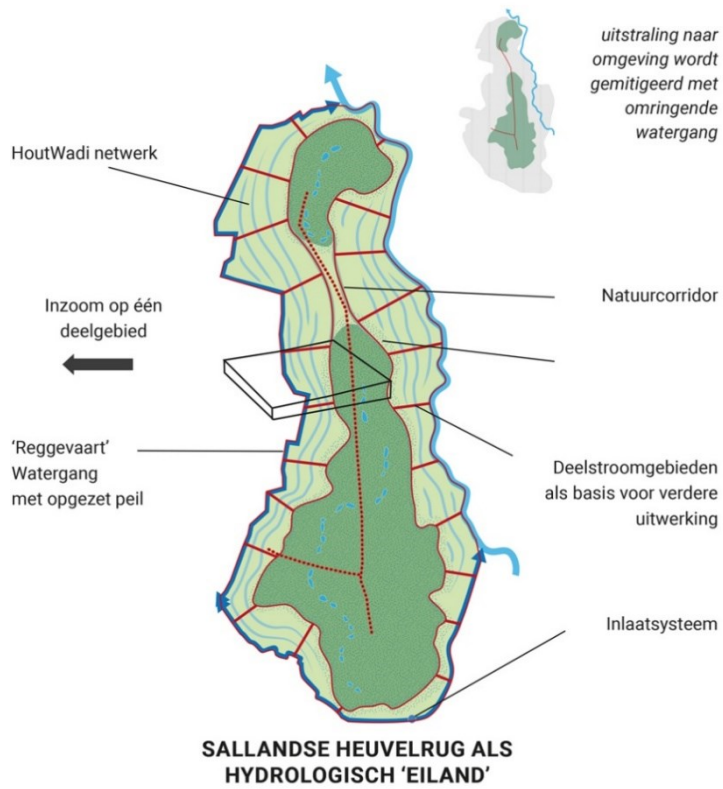
Door verschillende waterbedrijven zijn ook in hun eigen waterwingebieden en beheergebieden aanpassingen gedaan in waterbeheer die bijdragen aan het vasthouden van water, vaak in combinatie met natuurontwikkeling. Voorbeelden zijn winning de Groeve/Tusschenwater (WBG) en winning Kolff (Vitens) (Vitens, 2016; Waterschap Hunze & Aa's, 2015).

5 Voorbeelden van combinaties van bronnen en maatregelen

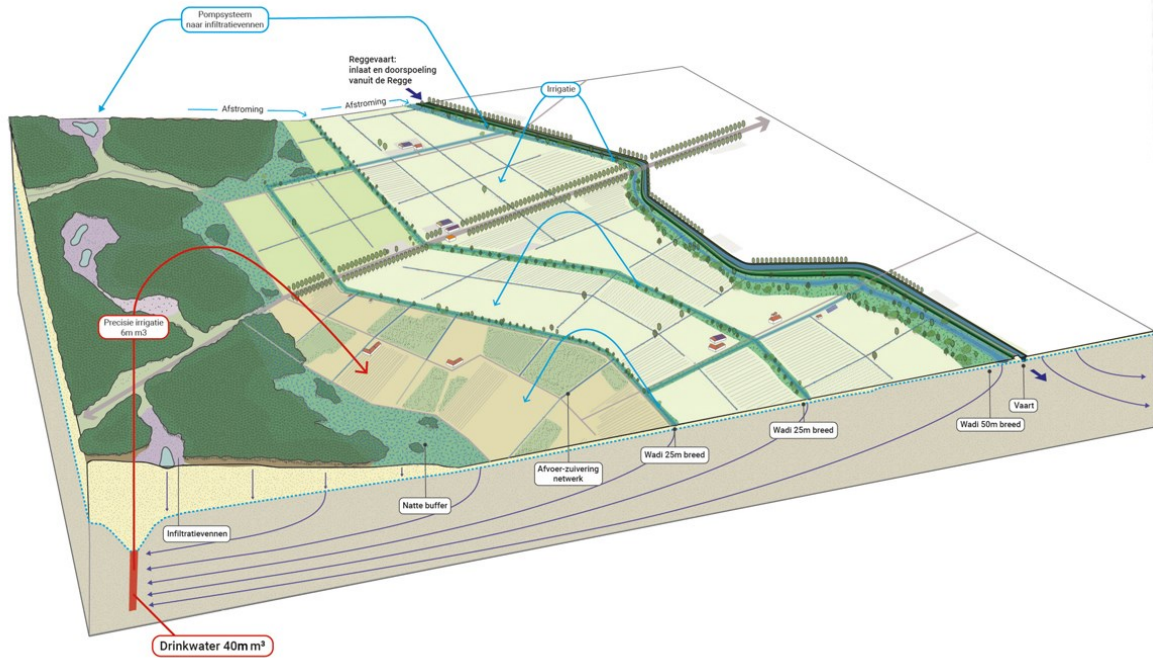
5.1 Sallandse Heuvelrug: De Eeuwige Bron

Gebiedstype	Bronnen→		Effecttypen	
	Maatregelen↓	Zoet Grondwater		Oppervlaktewater
 Hoog en droog	Aanpassing landgebruik	✓	 Waterbeschikbaarheid in tijd en landschap	
	Aanpassing waterbeheer	✓		
	Oppervlakte-infiltratie			✓
	Oppervlakteberging			✓

In reactie op de droogte van 2018-2020 en oproepen voor verandering van het watersysteem vanuit verschillende water- en natuurorganisaties, publiceerde Vitens in 2020 de visie “Panorama Waterland” (Vitens, 2020a). Hierin pleiten ze voor een radicale herinrichting van het landgebruik en watersysteem, waarin ‘maatschappelijke baten worden geoptimaliseerd’. Hiervoor wordt water vastgehouden en gerecirculeerd in een ‘eeuwige bron’, en wordt het landgebruik afgestemd op het watersysteem. Dit vraagt om grote veranderingen in landgebruik en landbouwmethodes, maar zou in ruil daarvoor de waterbeschikbaarheid voor alle gebruikers kunnen verbeteren. Dit idee is als praktische case studie uitgewerkt voor de Sallandse heuvelrug als ‘waterwinlandschap’ (*EO Wijers #11 De Eeuwige Bron*, 2020; Westenbrink, 2020). In deze toekomstvisie is het gebied ingericht als hydrologisch ‘eiland’, omringd door een ringvaart (Figuur 5.1 en Figuur 5.2). Op de hoogste delen ligt natuur met vennen, waarin water uit de ringvaart, aangevuld met inlaatwater vanuit de Regge, actief wordt geïnfiltrerd. Op de flanken vindt kringlooplandbouw plaats met precisie-irrigatie. Ook liggen er natte bufferzones en ‘houtwadi’s’: langgerekte ondiepe laagtes met bomen en struikgewas, waarin water kan infiltreren. In deze visie zou water maximaal worden vastgehouden door de ringvaart met verhoogd peil, natte bufferzones en houtwadi’s, en de actieve infiltratie bovenin het systeem. Op deze manier zou de watervoorraad voor waterwinning én landbouw substantieel kunnen vergroten. Voor de Sallandse heuvelrug zou het theoretisch kunnen gaan om een verhoging van de drinkwaterwinning van 8 naar 40 Mm³/jaar, een derde van het neerslagoverschot, en 6 Mm³/jaar aan irrigatie vanuit de wadi’s voor de landbouw (*EO Wijers #11 De Eeuwige Bron*, 2020).



Figuur 5.1: Visualisatie van de uitwerking van de 'Eeuwige bron' voor de Sallandse heuvelrug (Westenbrink, 2020).



Figuur 5.2: Doorsnede van één van de flanken van de heuvelrug (EO Wijers #11 De Eeuwige Bron, 2020).

5.2 Polderwaterwinning Bethunepolder

Gebiedstype	Bronnen→		Effecttypen	
	Maatregelen↓	Polderwater		Oppervlakte-water
 Laagland	Oppervlakteberging	✓	 Waterbeschikbaarheid in tijd, ruimte, kwaliteit en landschap	
	Aanvoer & herverdeling			✓
	Aanpassing landgebruik	✓		
	Aanpassing waterbeheer	✓		✓

Bij waterwinning Bethunepolder benut Waternet jaarlijks zo'n 25 Mm³ aan uitgemalen polderwater voor de productie van drinkwater. Hier wordt polderwaterwinning toegepast in combinatie met oppervlakteberging, aanvoer van oppervlaktewater in droge periodes en aanpassing van landgebruik en waterbeheer in het wingebied.

De Bethunepolder is een diep gelegen polder ten zuiden van de Loosdrechtse plassen en ten westen van de Utrechtse heuvelrug (Figuur 5.3). Vanwege de diepe ligging komen grote hoeveelheden kwelwater omhoog vanuit de Utrechtse heuvelrug en omgevende plassen en polders. In tegenstelling tot nabijgelegen polders is dit kwelwater zoet. Waternet voert de bemaling en het waterbeheer in de Bethunepolder uit. Van de 31 Mm³ aan jaarlijks uitgemalen water wordt 25 Mm³ voor drinkwater benut (Engel et al., n.d.). Het uitgemalen water wordt getransporteerd naar de Waterleidingplas, waar het ongeveer 100 dagen verblijft (Clevers et al., 2019). Hier worden variaties in hoeveelheid en kwaliteit opgevangen, en ondergaat het water een eerste natuurlijke zuivering. Bij watertekort, met name in droge zomers, wordt water uit het Amsterdam-Rijnkanaal bijgemengd; dit is echter van lagere kwaliteit dan het Bethunepolderwater. Vervolgens wordt het water gezuiverd tot drinkwater. Vanwege het transport en opslag in het oppervlaktewater is een relatief vergaande zuivering nodig, inclusief ozonisatie en koolfiltratie (Engel et al., n.d.).

De bemaling en waterwinning in de Bethunepolder is voordelig geweest voor het agrarisch gebruik in de polder zelf. De Bethunepolder vangt echter veel kwelwater af en versterkt daarmee de verdroging in omgevende natte natuurgebieden (Natura 2000 Oostelijke Vechtplassen) (Lodewijk, 2012). Andere mogelijke risico's voor de winning zijn bodemdaling en een toenemende verzilting en afnemende kwaliteit in droge periodes (Engel et al., n.d.).

De winning is in principe een oppervlaktewaterwinning, maar het waterwingebied - de gehele Bethunepolder - geldt wel als grondwaterbeschermingsgebied met beperkingen op het landgebruik. Het gebied is deels in agrarisch gebruik. Hier is gebruik van bestrijdingsmiddelen verboden en is het waterbeheer afgestemd op de drinkwaterwinning (Engel et al., n.d.). In de afgelopen jaren is een deel van de Bethunepolder heringericht door onder andere Waternet, AGV, provincie en Staatsbosbeheer. Doel was de verdroging in omgevende natuur te verminderen en nieuwe natte natuur te creëren in de Bethunepolder, met behoud van de huidige drinkwaterwinning. Het waterpeil is verhoogd en in delen van het gebied wordt nieuwe natte natuur ontwikkeld.

Hierdoor zal de kwelstroom naar de Bethunepolder verminderen, maar voldoende blijven om de waterwinning in stand te houden (Lodewijk, 2012).



Figuur 5.3: De Bethunepolder (Lodewijk, 2012).

5.3 Waterwinning Heel

Gebiedstype	Bronnen→		Effecttypen	
	Maatregelen↓	Oppervlaktewater	Zoet Grondwater	
 Gemengd gebied	Oppervlakteberging	✓		 Waterbeschikbaarheid in tijd, kwaliteit en landschap
	Oeverfiltratie	✓	✓	
	Monitoring & Afstemming	✓	✓	
	Extra zuivering	✓		

Waterwinning Heel produceert drinkwater uit een combinatie van bronnen: Maaswater, onttrokken via oeverfiltratie uit een bekken, een klein deel freatisch grondwater, en een klein deel diep grondwater. Samen zijn deze goed voor een kwart van de Limburgse drinkwatervraag. De winning is bijzonder door de inschakeling van de voormalige grindwinning De Lange Vlieter (Figuur 5.4) als tussenstap in de oeverfiltratiewinning; en door de diepe grondwaterwinning als 'back-up'-voorziening.



Figuur 5.4: Bekken De Lange Vlieter (WML, n.d.).

Het bekken De Lange Vlieter is een voormalige grindwinning. Rond 2000 is het gebied ingericht als waterwinplas en zijn de plas en omgeving ingericht als natuur- en recreatiegebied (Stultiëns et al., 2001). Oppervlaktewater wordt vanuit de Maas ingelaten en via het Lateraalkanaal naar het bekken gevoerd. In een eerste analysebekken wordt de kwaliteit van het water gecontroleerd. Ook wordt in het eerste bekken flocculatie toegepast, om de gehalten voedingsstoffen en zwevende stof in de hoofdplas laag te houden (Verdel et al., 2017). Als de kwaliteit voldoende is wordt het water doorgevoerd naar het hoofdbekken. Na een verblijftijd van ongeveer 1,5 jaar in bekken De Lange Vlieter wordt het water onttrokken door 29 ondiepe putten rondom het bekken (Clevers et al., 2019; Hartog et al., 2018). Hierbij wordt ook een klein aandeel freatisch grondwater aangetrokken. Bij onvoldoende kwaliteit van het innamewater wordt de inname gestopt. Op dat moment kan het bekken nog een paar weken water bieden. Wanneer het niveau te ver zakt, wordt overgeschakeld op de diepe winning (van Rijsselt et al., 2018a). Het water van deze drie bronnen wordt gezamenlijk in één winning gezuiverd. Deze bestaat uit onder andere zandfiltratie, actief-koolfiltratie en UV-desinfectie (van Rijsselt et al., 2018).

Een langdurige industriële vervuiling in 2015 en de droge jaren 2018-2020 hebben laten zien dat de Maas een kwetsbare bron is voor drinkwater, zeker wanneer ernstige droogtes in de toekomst vaker voor zullen komen (RIWA, 2019). In droge periodes neemt de afvoer van de Maas sterk af, waardoor de kans op vervuiling groot wordt. Zo worden met name in droge periodes hoge concentraties medicijnresten aangetroffen (Hartog et al., 2018). Er is bij het innamepunt van Heel dan ook jaarlijks sprake van innamestops. Deze duren meestal kort, maar kunnen, zoals in 2015, ook enkele maanden voortduren (RIWA, 2019). Een andere uitdaging is het aandeel aangetrokken freatisch grondwater. Wanneer dit aandeel te groot wordt, zoals in het verleden regelmatig gebeurde door verstopping van de plasbodem, is er een risico op vervuiling vanaf het oppervlak en verdroging rondom de winning (van Rijsselt et al., 2018; Verdel et al., 2017).

Toch is de waterwinning Heel relatief robuust tegen schokken op gebied van kwaliteit en klimaat, door de geschakelde opzet. In tegenstelling tot een directe oeverfiltratiewinning biedt het bekken als tussenstap de mogelijkheid om inname te stoppen wanneer vervuilingen voorkomen in de Maas; en een tijdelijke buffervoorraad waarmee de winning bij innamestops voortgezet kan worden. Ook biedt de lange verblijftijd in de plas een eerste zuivering en stabilisering van de kwaliteit. Sinds 2018 wordt na inname zelfs een eerste voorzuivering toegepast, waardoor de waterkwaliteit in de plas minder negatief beïnvloed wordt door nutriënten en slib vanuit de Maas en de infiltratie beter op peil blijft (Verdel et al., 2017). De oeverfiltratie biedt een volgende natuurlijke zuiveringsstap.

De diepe winning biedt tot slot een back-up om langere periodes van innamestops op te vangen. De zuivering is ingericht om met al deze bronnen, in wisselende verhoudingen, om te kunnen gaan (van Rijsselt et al., 2018).

Toekomstige uitdagingen voor deze winning blijven het verzekeren van de kwaliteit en kwantiteit van Maaswater, de duurzame beschikbaarheid van diep grondwater, als ook het voorkomen van vervuilingen in en rond het bekken (RIWA, 2019; van Rijsselt et al., 2018).

5.4 Duingebied Meijendel: FRESHMAN

Gebiedstype	Bronnen→	Oppervlakte- water	Zoet grondwater	Brak grondwater	Effecttypen
	Maatregelen↓				
 Beperkte bronnen	Monitoring & Afstemming	✓			 Waterbeschikbaarheid in tijd, ruimte, kwaliteit en landschap
	Aanvoer & Herverdeling	✓			
	Oppervlakte-infiltratie	✓			
	Brakwateronttrekking		✓	✓	
	Extra zuivering				

Sinds de jaren 1950 wordt door (een voorloper van) Dunea oppervlaktewater geïnfiltreerd in het duingebied Meijendel nabij Den Haag. Tot 1976 werd dit water gewonnen uit de Lek bij Bergambacht; daarna, door waterkwaliteitsproblemen in de Lek, uit de Maas (Draak, 2012). Tegenwoordig wordt de Lek juist weer ingezet als reservebron wanneer de waterkwaliteit in de Maas onvoldoende is.

Als onderdeel van de Multi-bronnenstrategie (Dunea, 2021a) is Dunea nu van plan de inname locatie bij Bergambacht weer volwaardig te maken, zodat afhankelijk van de waterkwaliteit geschakeld kan worden tussen inname uit de Lek en de Maas. Om dit schakelen mogelijk te maken zullen de systemen bij beide bronnen moeten worden aangepast en wordt er een biomonitor geplaatst om de waterkwaliteit constant te kunnen monitoren (Dunea, 2021b).

Een ander onderdeel van de Multi-bronnenstrategie is het zoeken naar bronnen dichtbij het voorzieningsgebied van Dunea. Hierbij wordt brakwaterwinning als optie gezien (Dunea, 2021a). Om deze reden is er bij het Pompstation Scheveningen in Meijendel in 2020 gestart met een pilot naar brakwaterwinning onder een zoetwaterlens in de duinen (Figuur 5.3, Dunea, 2021c). Tijdens deze pilot wordt onderzocht of brakwaterwinning bij kan dragen aan duurzame drinkwaterproductie, door een tweetal positieve effecten. Allereerst kan het onttrokken brakke water worden ontzilt door omgekeerde osmose (RO), waardoor extra zoet water wordt geproduceerd dat kan worden gebruikt voor drinkwater. Het brijn dat ontstaat tijdens dit proces kan worden geloosd op het riool en komt zo terecht bij een RWZI. Ten tweede hoopt men door het onttrekken van het brakke grondwater meer ruimte te kunnen creëren voor de bovenliggende zoetwaterbel, waardoor er meer rivierwater geïnfiltreerd kan worden (Van Dooren & Raat, 2020).

Indien de pilot succesvol blijkt, heeft Dunea de optie brakwaterwinning verder op te schalen. In totaal zou brakwaterwinning, door de combinatie van RO en meer ruimte voor de zoetwaterbel, ca. 10 miljoen kubieke meter per jaar extra drinkwater kunnen opleveren (H2O Actueel, 2020).



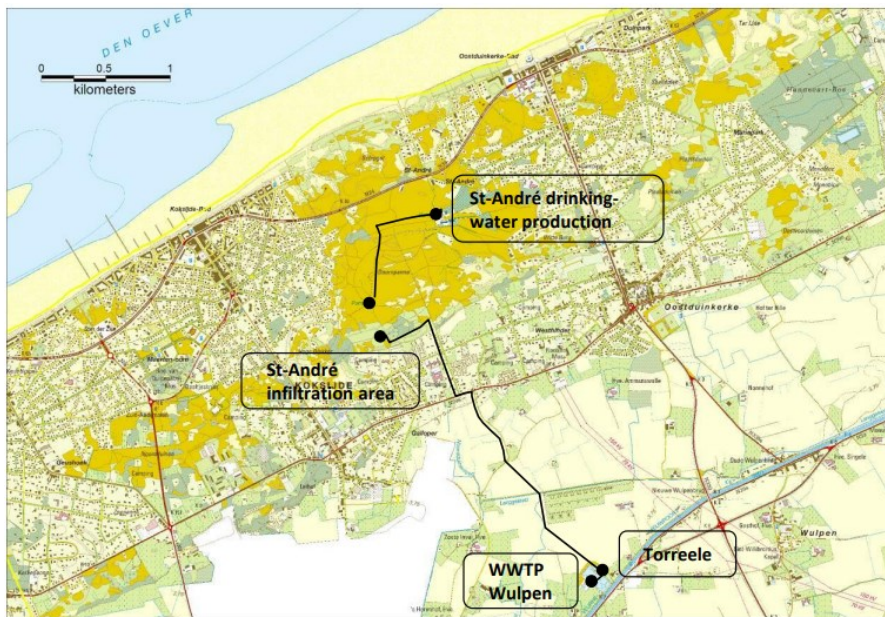
Figuur 5.5: Schematische weergave van de brakwaterwinning in duingebied Meijendel.

5.5 Duinwaterwinning Koksijde

Gebiedstype	Bronnen →				Effecttypen	
	Maatregelen ↓	Restwater	Zoet (duin-) grondwater	Extern water		Spoelwater
 Beperkte bronnen	Conventionele zuivering		✓		✓	 Waterbeschikbaarheid in tijd, ruimte, kwaliteit, landschap
	Oppervlakte-infiltratie	✓				
	Aanvoer & Herverdeling			✓		
	Extra zuivering					
		✓		✓		

Drinkwaterbedrijf Aquaduin (voorheen IWVA) voorziet een gebied aan de zuidwestkust van Vlaanderen van drinkwater. Behalve natuurlijk duingrondwater maakt het bedrijf al sinds 2002 gebruik van RWZI-effluent als waterbron, dat, na een aanvullende voorzuiveringsstap, via duinfiltratie tot drinkwater wordt verwerkt.

In het werkgebied van Aquaduin/IWVA zijn behalve het natuurlijke duingrondwater weinig natuurlijke zoetwaterbronnen aanwezig. Vanaf de jaren 1960 was sprake van een sterke stijging in de watervraag, waardoor de natuurlijke duingrondwatervoorraad onder druk kwam te staan en steeds meer water van elders aangekocht moest worden. Een ander knelpunt was de sterke piek in het drinkwatergebruik in de zomerperiode door het grote aantal kusttoeristen (van Houtte, 2019a). In reactie op de groeiende drinkwatervraag en een roep om ecologisch duinbeheer is men in de jaren 1990 gaan experimenteren met het gebruik van RWZI-effluent in het St. André-infiltratiegebied (Figuur 5.6). Vanaf 2002 wordt (voorgezuiverd) effluent uit de nabijgelegen RWZI Wulpen geïnfiltrteerd en teruggewonnen in het duingebied (van Houtte, 2019b). Een belangrijk voordeel is dat het effluent jaarrond beschikbaar is, en juist in de zomer de natuurlijke voorraden kan aanvullen. Na 2002 is de infiltratie verschillende keren uitgebreid (VVSG, n.d.-a). Op dit moment voorziet geïnfiltrteerd restwater in zo’n 40% van de drinkwaterproductie door Aquaduin, naast natuurlijk grondwater. Voor een deel (zo’n 20%) wordt nog steeds gebruik gemaakt van ingekocht water van andere bedrijven (Aquaduin, n.d.-a).



Figuur 5.6: De aanvoer van RWZI-water richting het infiltratiegebied St. André van Aquaduin (van Houtte, 2017a).

Het aangevoerde RWZI-effluent wordt voorgezuiverd door middel van ultrafiltratie en omgekeerde osmose. Vervolgens wordt het water geïnfiltreerd in bekkens (Figuur 5.7). Daarnaast wordt sinds 2014 gebruik gemaakt van ondergrondse infiltratie via infiltratiekratten. Voordeel is dat er minder kans is op herbesmetting na de voorzuivering en dat de temperatuur stabiel is. Het water wordt na een verblijftijd van minimaal 30 dagen onttrokken en, samen met het natuurlijke grondwater, nagezuiverd met beluchting, zandfiltratie en UV voor distributie naar klanten (Aquaduin, n.d.-b). De capaciteit van het huidige systeem ligt op zo'n 2,5 Mm³/jaar (van Houtte, 2019b).



Figuur 5.7: Eén van de infiltratievijvers voor voorgezuiverd RWZI-effluent in het St. André-systeem (VVSG, n.d.-b)

Als gevolg van de kunstmatige infiltratie zijn de grondwaterstanden in het duingebied gestegen en zijn condities voor waardevolle duinvalleivegetatie verbeterd (van Houtte, 2019b). Ten opzichte van het oorspronkelijke pure duinwater is de kwaliteit op de meeste punten gelijk gebleven of zelfs verbeterd (van Houtte, 2017b). Aquaduin wil in de toekomst de duinfiltratie verder uitbreiden en de natuurkwaliteit verder verbeteren (van Houtte, 2019b). Het blijft echter een uitdaging om de waterbeschikbaarheid te verzekeren, aangezien de beschikbaarheid van effluent

op dit moment soms al beperkt is in droge periodes (van Houtte, 2017b). Om de efficiëntie verder te verbeteren, wordt het spoelwater vanuit de voorzuivering deels hergebruikt en teruggebracht in de winning. Er wordt onderzoek gedaan naar onder andere de mogelijkheden voor verder hergebruik en (nature-based) zuivering van het spoelwater (Aquaduin, n.d.-b; van Houtte, 2017b).

5.6 Drinkwaterwinning Singapore: 'Four National Taps'

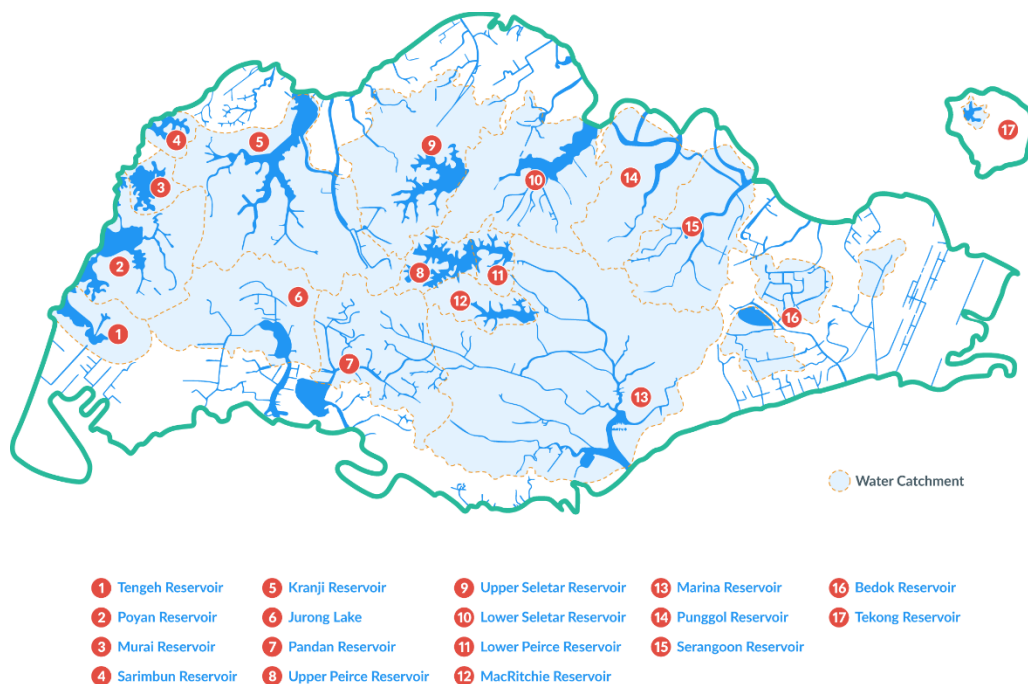
Gebiedstype	Bronnen→					Effecttypen
	Maatregelen↓	Regenwater	Zoet oppervlaktewater	Restwater	Zeewater	
 Beperkte bronnen	Monitoring & Afstemming	✓	✓			 Waterbeschikbaarheid in tijd, ruimte, kwaliteit en landschap
	Aanvoer & Herverdeling		✓			
	Oppervlakteberging	✓		✓		
	Extra zuivering	✓		✓	✓	

De drinkwatervraag in Singapore bedraagt zo'n 600 miljoen kubieke meter per jaar (PUB, n.d.-b), ongeveer de helft van de vraag in Nederland, terwijl het landoppervlak van Singapore nog geen twee procent van dat van Nederland is. Om deze reden heeft Singapore al lange tijd vergaande maatregelen moeten nemen om haar bevolking van voldoende drinkwater te voorzien. Het land vormt daarmee een goed voorbeeld van (alternatieve) mogelijkheden voor de drinkwatervoorziening in dichtbevolkte kustgebieden zonder zoete drinkwatervoorraad, waaronder delen van Nederland.

Singapore maakt voor haar drinkwatervoorziening gebruik van een viertal bronnen, de zogenaamde 'Four National Taps'. Dit zijn:

1. Regenwater opgevangen in het lokale stroomgebied
2. Geïmporteerd water uit Maleisië
3. NEWater: zuivering van afvalwater tot drinkwaterkwaliteit
4. Ontzilt zeewater

Singapore vangt op dit moment het regenwater op van ca. tweederde van het landoppervlak (Figuur 5.8). Dit water wordt door een stelsel van leidingen, kanalen en rivieren geleid en opgeslagen in een van de 17 waterreservoirs die het land rijk is (PUB, n.d.-c). Een groot deel van deze reservoirs is aangelegd door het afdammen van de verschillende estuaria, om zo het opgevangen zoete water van het zoute zeewater te scheiden (Irvine et al., 2014). Vanuit deze reservoirs wordt het water vervolgens gewonnen en gezuiverd tot drinkwater. Om voldoende waterkwaliteit in de reservoirs te garanderen, ook voor het ecosysteem in de reservoirs, wordt de waterkwaliteit binnen het gehele stroomgebied continue gemonitord, om zo de bron van een verontreiniging snel in kaart te kunnen brengen (PUB, n.d.-c).



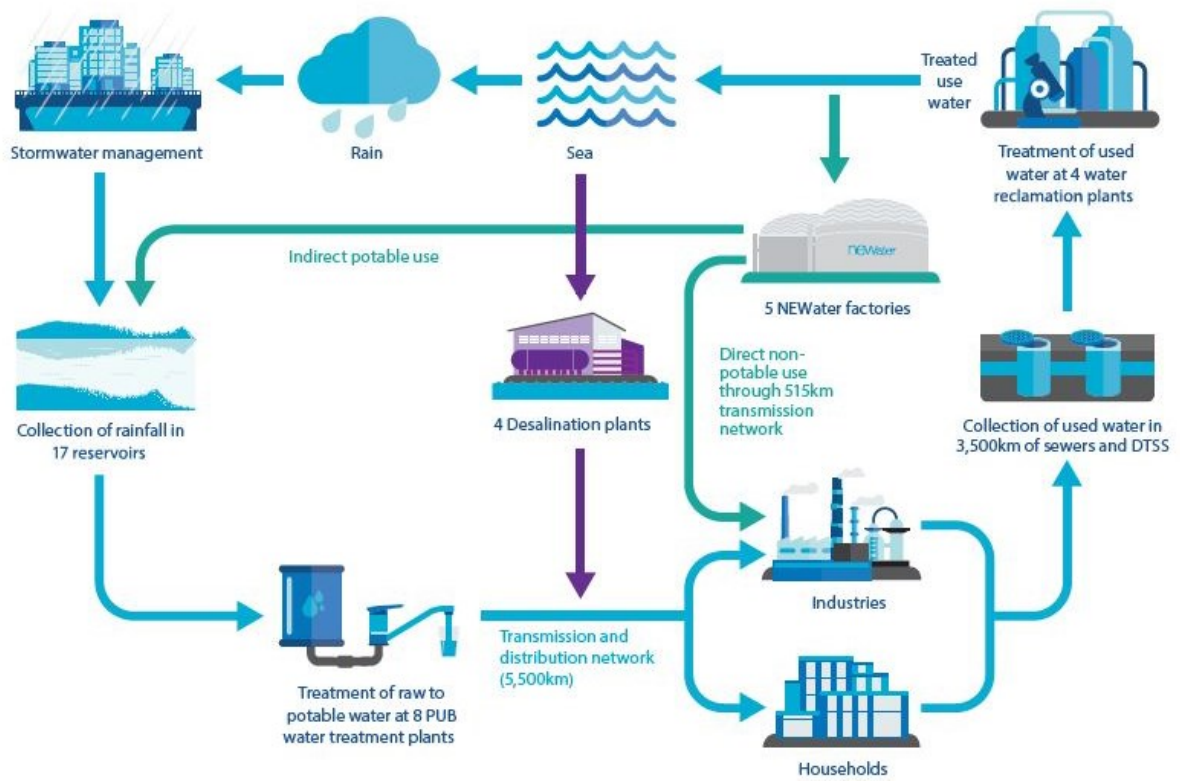
Figuur 5.8: De 17 drinkwaterreservoirs in Singapore en het gebied waarbinnen regenwater wordt opgevangen als bron voor deze reservoirs (Singapore's National Water Agency, n.d.-b).

Als gevolg van afspraken gemaakt met Maleisische deelstaat Johor in 1962, kan Singapore tot en met 2061 jaarlijks zo'n 345 miljoen kubieke meter water winnen uit de Johor-rivier. Dit water wordt vervolgens lokaal gezuiverd en via een leiding naar Singapore vervoerd. Omdat onderhandelingen over het doorzetten van de leveringen na 2061 meermaals spaak zijn gelopen, richt Singapore zich er steeds meer op om zelfvoorzienend te worden (Irvine et al., 2014; Tortajada, 2006).

Belangrijk onderdeel van het zelfvoorzienend worden is het hergebruik van afvalwater. In Singapore wordt deze methode van zoetwaterwinning onder de naam NEWater sinds 2003 ingezet en dekt tegenwoordig ongeveer 40% van de drinkwatervraag (PUB, n.d.-a). Het plan is om dit uit te breiden tot 55% in 2060 (PUB, n.d.-a). Afvalwater wordt door middel van voorzuivering, micro/ultrafiltratie, omgekeerde osmose en UV-desinfectie omgezet tot water van drinkwaterkwaliteit. Dit water wordt voornamelijk geleverd aan de industrie voor bijvoorbeeld het schoonmaken van apparaten en koeling. Daarnaast wordt een deel ook geleid naar de regenwaterbassins, om later opnieuw gezuiverd te worden tot drinkwaterkwaliteit (PUB, n.d.-a; Tortajada, 2006).

De laatste bron van drinkwater in Singapore is ontzilt zeewater, dat in de toekomst tot 30% van de drinkwatervraag zal dekken. Grootste uitdaging hierbij is het verlagen van het energieverbruik voor ontzilting. Mogelijkheden die hiervoor worden onderzocht zijn het gebruik van een elektrisch veld voor het verwijderen van opgeloste zouten of het nabootsen van natuurlijke ontziltingsprocessen (PUB, n.d.-b).

Om zelfvoorzienend te worden wil Singapore dus elke druppel water die op haar grondgebied valt gebruiken en dit water vervolgens ook weer zo veel mogelijk hergebruiken, om zo uiteindelijk tot een nagenoeg gesloten drinkwatercyclus te komen. Dit toekomstscenario zoals Singapore het voor ogen heeft is afgebeeld in Figuur 5.9.



Figuur 5.9: De gesloten waterkringloop die Singapore nastreeft voor haar drinkwatervoorziening (PUB, n.d.-b).

6 Synthese

In dit rapport is een overzicht gegeven van bronnen en maatregelen voor de drinkwaterproductie. Daarnaast zijn enkele praktijkvoorbeelden van combinaties van verschillende bronnen en maatregelen beschreven om een beeld te geven van de bestaande mogelijkheden. Hier brengen we al die informatie samen, door voor elk van de vier gebiedstypen (Paragraaf 2.2) een overzicht te geven van welke bronnen er relevant kunnen zijn en met welke maatregelen deze bronnen gecombineerd kunnen worden.

Welke bronnen en maatregelen potentie hebben in een specifiek gebied is afhankelijk van de landschapskenmerken. Daarnaast is de keuze van maatregelen afhankelijk van de gekozen strategie: behoud van een bestaande winning of gebruik maken van nieuwe winningen. In Tabel 6-1 t/m Tabel 6-4 is voor elk van de vier gebiedstypen een overzicht gegeven van welke combinaties van bronnen en maatregelen toepasbaar zijn. Daarnaast is in de tabellen ook aangegeven op welk van de vier aspecten van waterbeschikbaarheid (tijd, ruimte, kwaliteit en landschap, paragraaf 2.3) de combinaties van bronnen en maatregelen effect hebben. De tabellen zijn ingestoken met de volgende vraag:

Gegeven een bepaalde (drink)waterbron, welke maatregelen kunnen er genomen worden om de totale beschikbaarheid van drinkwater in tijd, ruimte, kwaliteit en/of landschap te vergroten?

De verschillende bron-maatregelcombinaties zijn niet allemaal even makkelijk of op korte termijn te realiseren. De mogelijke combinaties van bronnen en maatregelen zijn hier globaal geprioriteerd in drie niveaus:

A: Toepassing van de maatregel zorgt voor een verbeterde benutting van de genoemde bron; deze optie kan in de meeste gevallen meegenomen worden bij het optimaliseren van een bestaande winning of het opstarten van een nieuwe winning.

B: De maatregel is een interessante optie voor betere benutting van een bron, maar kan niet in alle gevallen toegepast worden door bijvoorbeeld landschappelijke beperkingen, beperkingen van de bron zelf of beperkte alternatieve bronnen.

C: De maatregel is een optie bij deze bron, maar heeft niet de voorkeur door kwetsbaarheid (bijvoorbeeld grote schommelingen in waterkwaliteit) of hoge kosten.

In werkelijkheid zullen vaak meerdere bronnen en meerdere maatregelen gecombineerd moeten worden om tot een robuuste drinkwaterbeschikbaarheid te komen. In Hoofdstuk 5 zijn als inspiratie enkele voorbeelden besproken uit de praktijk, waarin verschillende bronnen en maatregelen zijn gecombineerd om op een verantwoorde manier in de drinkwatervraag te voorzien, waarbij rekening gehouden wordt met waterkwaliteit, beschikbaarheid en effecten op de omgeving.

6.1 Hoog & Droog

Gebiedstype 'Hoog & Droog' omvat de hogere zandgronden waar zoet grondwater op dit moment de dominante drinkwaterbron vormt. Belangrijke uitdagingen in dit gebiedstype zijn verdroging en waterbeschikbaarheid op landschapsschaal rondom de winning (beperkte waterbeschikbaarheid in het landschap). Hierbij komt een verwachte toename in de variatie in grondwaterbeschikbaarheid tussen zomer en winter met klimaatverandering (beperkte waterbeschikbaarheid in de tijd). Ook de waterkwaliteit vormt een belangrijke uitdaging voor kwetsbare freatische winningen. Tabel 6-1 laat zien dat, wanneer op de bestaande grondwaterwinningen wordt ingezet (kolom 'zoet grondwater'), de mogelijkheden voor verbetering van de waterbeschikbaarheid vooral liggen bij maatregelen voor het robuuster maken van het landschappelijke watersysteem en compenseren van effecten en vergroten van de voorraadaanvulling (bijv. door aanpassing landgebruik, waterbeheer, infiltratie, seizoensgebonden winnen), als ook het slim afstemmen van waterwinning. Als alternatieve aanvullende bronnen zijn in dit gebiedstype met name rest- en spoelwater en regenwater beschikbaar. Deze kunnen direct als aanvullende bron worden ingezet, maar ook indirect voor aanvulling en buffering van het systeem, bijvoorbeeld door actieve infiltratie.

Tabel 6-1: Mogelijke combinaties van bronnen en maatregelen voor het gebiedstype 'Hoog & Droog' met aspecten van de waterbeschikbaarheid waarop de combinaties van toepassing zijn en prioritering A-C van de combinaties.

				Hoog & Droog <i>Hoge (zand)gronden – Huidige bron zoet grondwater</i>				
				Maatregel↓	Bron→	Zoet grondwater	Rest- & spoelwater	Regenwater
✓	✓	✓	✓	Monitoring & Afstemming		A	A	B
		✓		Extra zuivering		A		B
✓	✓	✓	✓	Aanpassing waterbeheer		A		A
		✓	✓	Aanpassing landgebruik		A		A
	✓			Aanvoer & Herverdeling		A	A	B
✓		✓		Oppervlakte-infiltratie			B	B
✓		✓		Diepinfiltratie			B	B
✓				Seizoensgebonden		B		C
	✓			Decentrale winning		B		B
✓		✓		Oppervlakteberging			B	B
	✓		✓	Relocatie		C		
✓	✓	✓	✓	Direct gebruik/Nieuwe winning		B	A	C

6.2 Laagland

Gebiedstype 'Laagland' omvat laaggelegen gebieden waar zoet oppervlaktewater uit rivieren of meren de belangrijkste bron van drinkwater vormt, en het grondwater vaak op relatief kleine diepte brak is. Belangrijke uitdagingen in dit gebiedstype zijn de waterkwaliteit van oppervlaktewaterbronnen, met name in droge perioden (beperkte waterbeschikbaarheid in *tijd* en *kwaliteit*). In gebieden die afhankelijk zijn van kleine oppervlaktewatersystemen kan ook de lokale waterkwantiteit mogelijk beperkend worden wanneer de watervraag

en variatie in rivierafvoeren groter worden (beschikbaarheid in de *ruimte*). Tabel 6-2 laat zien dat bij inzet op de bestaande oppervlaktewaterwinningen (kolom ‘oppervlaktewater’) mogelijkheden voor een robuustere watervoorziening liggen in maatregelen voor (indirecte) verbeterde zuivering en innamekwaliteit (bijv. door versterkte zuivering, oeverfiltratie of relocatie) en verhoogde berging, als ook het slim afstemmen en herverdelen van waterwinning. Als alternatieve aanvullende bronnen zijn in dit gebiedstype polderwater, rest- en spoelwater, regenwater en brak grondwater beschikbaar. Deze kunnen in combinatie met verschillende maatregelen voor zuivering en berging worden ingezet als aanvullende bron voor drinkwater. Het inzetten op maatregelen op landschapsschaal is voor dit gebiedstype vaak lastiger, doordat de kwaliteit en kwantiteit van de oppervlaktewaterbron meestal van een zeer groot gebied afhankelijk is.

Tabel 6-2: Mogelijke combinaties van bronnen en maatregelen voor het gebiedstype ‘Laagland’ met aspecten van de waterbeschikbaarheid waarop de combinaties van toepassing zijn en prioritering A-C van de combinaties.

				Laagland <i>o.a. veenweidegebieden – Voornamelijk afhankelijk van oppervlaktewater</i>						
				Maatregel↓	Bron→	Oppervlaktewater	Polderwater	Rest- & spoelwater	Regenwater	Brak grondwater
✓	✓	✓	✓	Monitoring & Afstemming		A	A	A	B	B
		✓		Extra zuivering		A	A		B	
✓		✓		Oppervlakteberging		A	A	B	B	
✓		✓		Oeverfiltratie		A				
✓		✓		Diepinfiltratie		A	A	B	B	
	✓			Decentrale winning					A	
✓			✓	Seizoensgebonden		A	A	A	C	A
	✓			Aanvoer & herverdeling		A		A	B	
✓	✓	✓	✓	Aanpassing waterbeheer		A	A		B	
		✓	✓	Aanpassing landgebruik		B	A		B	
	✓			Decentrale winning					B	
			✓	Brakwateronttrekking			B			
✓		✓	✓	Oppervlakte-infiltratie		B		B	B	
	✓	✓	✓	Relocatie		B				
✓	✓	✓	✓	Direct gebruik/Nieuwe winning		A	B	A	C	A

6.3 Gemengd gebied

Gebiedstype ‘Gemengd’ omvat gebieden waar zowel zoet grond- als oppervlaktewater beschikbaar is, bijvoorbeeld in de hogere delen van Nederland en Vlaanderen bij rivieren en kanalen. Hier spelen zowel de uitdagingen van grondwaterwinningen, waaronder potentiële verdroging in de omgeving en tekorten in zomerperiodes (beperkte beschikbaarheid in *tijd* en *landschap*), als de uitdagingen van oppervlaktewaterwinningen, waaronder de waterkwaliteit en ook een toenemende variatie in kwaliteit en kwantiteit over de tijd (beschikbaarheid in *kwaliteit* en *ruimte*). Daarentegen zijn er door de nabijheid van verschillende bronnen relatief veel mogelijkheden voor het toepassen van maatregelen. Tabel 6-3 laat zien dat de mogelijkheden vooral liggen bij het verbeteren van de inpassing van grond- en oppervlaktewaterwinningen in de omgeving (bijv. door aangepast waterbeheer en

landgebruik), als ook het slim inzetten van de verschillende bronnen in verschillende seizoenen. Ook een actieve aanvulling van de berging door bijvoorbeeld infiltratie is hier een belangrijke optie. Als alternatieve aanvullende bronnen zijn in dit gebiedstype oppervlaktewater (waar nog ongebruikt), rest- en spoelwater en regenwater beschikbaar. Deze bronnen kunnen worden ingezet om de drinkwaterbeschikbaarheid over de tijd te verbeteren. Dit kan door de bronnen, eventueel in combinatie met bergings- en zuiveringsmaatregelen, direct in te zetten voor drinkwater; of door ze indirect in te zetten voor het aanvullen van het systeem, bijvoorbeeld door infiltratie.

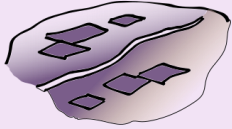
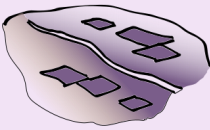




Tabel 6-3: Mogelijke combinaties van bronnen en maatregelen voor het gebiedstype 'Gemengd Gebied' met aspecten van de waterbeschikbaarheid waarop de combinaties van toepassing zijn en prioritering A-C van de combinaties.

				Gemengd Gebied						
				o.a. riviereengebied – Huidige bron zoet grond- en oppervlaktewater						
				Maatregel↓ Bron→	Zoet grondwater	Oppervlaktewater	Rest- & spoelwater	Regenwater		
✓	✓	✓	✓	Monitoring & Afstemming		A	A	B		
✓			✓	Seizoensgebonden	B	A		B		
✓		✓	✓	Oppervlakte-infiltratie		A	B	B		
✓	✓	✓	✓	Aanpassing waterbeheer	A	A		A		
		✓	✓	Aanpassing landgebruik	A	A		A		
✓		✓		Diepinfiltratie		A	B	B		
✓		✓		Oeverfiltratie		A				
		✓		Extra zuivering	A	A		B		
	✓			Aanvoer & Herverdeling	A	A	A	B		
✓		✓		Oppervlakteberging		A	B	B		
	✓			Decentrale winning	B			B		
	✓	✓	✓	Relocatie	C	C				
✓	✓	✓	✓	Direct gebruik/Nieuwe winning	A	A	A	C		

6.4 Beperkte bronnen

Gebiedstype 'Beperkte bronnen' omvat gebieden waar de lokaal beschikbare zoetwaterbronnen beperkt zijn, zoals Zeeland en West-Vlaanderen. Deze gebieden zijn afhankelijk van in kwantiteit of kwaliteit soms kwetsbare lokale bronnen, zoals duinwater en kleine oppervlaktewatersystemen, en de aanvoer van water van elders. Bij gebruik van de kleine lokale grond- en oppervlaktewaterbronnen kan één van de strategieën zijn om deze bronnen nog verder te beschermen en te bufferen (zie Tabel 6-4). Als alternatieve aanvullende bronnen zijn in dit gebiedstype meestal polderwater, rest- en spoelwater, regenwater en brak grond- en oppervlaktewater beschikbaar. Deze bronnen kunnen in combinatie met verschillende maatregelen voor aanvullende zuivering en berging worden ingezet als extra bron voor drinkwater. Op grotere schaal kunnen de verbindingen met externe waterbronnen worden uitgebreid en kan worden ingezet op het slim afstemmen en herverdelen van waterwinning en -gebruik.

Tabel 6-4: Mogelijke combinaties van bronnen en maatregelen voor het gebiedstype 'Beperkte Bronnen' met aspecten van de waterbeschikbaarheid waarop de combinaties van toepassing zijn en prioritering A-C van de combinaties.

				Beperkte Bronnen								
				<i>West-Vlaanderen & Zeeland – Beperkte grond- en oppervlaktebronnen beschikbaar</i>								
				Bron→ Maatregel↓	Oppervlakte- water (beperkt)	Grondwater (duinwater)	Rest- & Spoelwater	Regenwater	Brak grondwater	Brak/zout oppervlakte- water		
✓	✓	✓	✓	Monitoring & Afstemming	B	B	A	A	A	A		
✓			✓	Seizoensgebonden	B	B		A	A	B		
		✓		Extra zuivering	B	B		B		A		
	✓			Aanvoer & Herverdeling	B		A	B				
✓	✓	✓	✓	Aanpassing waterbeheer	B	B		A		B		
		✓	✓	Aanpassing landgebruik	B	B		A		B		
	✓			Decentrale winning				A				
✓		✓		Oppervlakteberging	B		B	B				
✓		✓		Diepinfiltratie	B		B	B		B		
✓		✓		Brakwateronttrekking		B			A			
✓		✓		Oeverfiltratie	B					B		
✓		✓	✓	Oppervlakte-infiltratie	B		B	B		B		
✓	✓	✓	✓	Direct gebruik/Nieuwe winning	C	C	A	C	B	C		

Referenties

- ANV. (2020). *Geïntegreerde risicoanalyse Caribisch Nederland*.
- Aquaduïn. (n.d.-a). *Waterwinning*. Drinkwater. <https://www.aquaduïn.be/drinkwater/waterwinning>
- Aquaduïn. (n.d.-b). *Waterwinning*. Drinkwater.
- Aquaduïn, De Watergroep, & Farys. (2022). *Drinkbaar zoet, brak en Noordzeewater tegen 2025*.
- Aquafin, De Watergroep, Imec, Vito, VLAKWA, VMM, & AIO. (2020). *Internet of Water Flanders*. <https://www.internetofwater.be/>
- Ascott, M. J., Bloomfield, J. P., Karapanos, I., Jackson, C. R., Ward, R. S., McBride, A. B., Dobson, B., Kieboom, N., Holman, I. P., Van Loon, A. F., Crane, E. J., Brauns, B., Rodriguez-Yebra, A., & Upton, K. A. (2021a). Managing groundwater supplies subject to drought: perspectives on current status and future priorities from England (UK). *Hydrogeology Journal*, 29(3), 921–924. <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02249-0>
- Ascott, M. J., Bloomfield, J. P., Karapanos, I., Jackson, C. R., Ward, R. S., McBride, A. B., Dobson, B., Kieboom, N., Holman, I. P., Van Loon, A. F., Crane, E. J., Brauns, B., Rodriguez-Yebra, A., & Upton, K. A. (2021b). Managing groundwater supplies subject to drought: perspectives on current status and future priorities from England (UK). *Hydrogeology Journal*, 29(3), 921–924. <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02249-0>
- Baptist, M., van Hattum, T., Reinhard, S., van Buuren, M., & de Rooij, B. (2019). *Een natuurlijkere toekomst voor Nederland in 2120*. <https://www.wur.nl/nl/show/Een-natuurlijkere-toekomst-voor-Nederland-in-2120.htm>
- Bartholomeus, R. P. (2021). *Programma Lumbricus, Integrale benadering van een klimaatrobuuste inrichting en beheer van stroomgebieden: Een overzicht* (R. P. Bartholomeus (Ed.)). STOWA. <https://www.stowa.nl/lumbricus>
- Bartholomeus, R. P., Van Loon, A. H., & Van Huijgevoort, M. H. (2018). *Hergebruik van industrieel restwater voor de watervoorziening van de landbouw - Praktijkproef subirrigatie met gezuiverd restwater van Bavaria*.
- Beard, J. E., Bierkens, M. F. P., & Bartholomeus, R. P. (2019). Following the Water: Characterising de facto Wastewater Reuse in Agriculture in the Netherlands. In *Sustainability* (Vol. 11, Issue 21). <https://doi.org/10.3390/su11215936>
- Bertelkamp, C., Hartog, N., & Stuyfzand, P. J. (2018). *Bodempassage Nieuwe Stijl (BoNuS)*. <https://edepot.wur.nl/509349>
- Bertelkamp, C., Hofman- Caris, R., Roelandse, A., van der Aa, R., & van der Hoek, J. P. (2017). Regenwater als bron voor drinkwater in Nederland: een haalbare kaart? *H2O-Online*, 1–7.
- Bertelkamp, C., Hofman-Caris, R., Siegers, W., Verschoor, A., Hootsmans, A., & Wols, B. (2020). *Verkenning zuiveringseffect van bekkens*.
- Bhaskar, A. S., Beesley, L., Burns, M. J., Fletcher, T. D., Hamel, P., Oldham, C. E., & Roy, A. H. (2016). Will it rise or will it fall? Managing the complex effects of urbanization on base flow. *Freshwater Science*, 35(1), 293–310. <https://doi.org/10.1086/685084>
- Bos-Burgering, L., Buijs, S., America, I., Klooster, J., Louw, P. de, Delsman, J., Stofberg, S., Raat, K., Franssen, R., & Posma, J. (2021). COASTAR Nationaal - Regionale en nationale opschaling COASTAR toepassingen. In *Deltares rapport 11204487-001-BGS-0005*.
- Bouziotas, D., van Duuren, D., van Alphen, H. J., Frijns, J., Nikolopoulos, D., & Makropoulos, C. (2019). Towards circular water neighborhoods: Simulation-based decision support for integrated decentralized urban water systems. *Water*, 11. <https://doi.org/10.3390/w11061227>
- Brabant-Water. (2020a). Van lozing spoelwater naar duurzame inzet voor grasland. *Nieuws En Pers*. <https://www.brabantwater.nl/nieuws-en-pers/nieuws/van-lozing-spoelwater-naar-duurzame-inzet-voor-grasland>
- Brabant-Water. (2020b). *Water besparen door inzet spoelwater terugwin units*. Nieuws En Pers. <https://www.brabantwater.nl/nieuws-en-pers/nieuws/water-besparen-door-inzet-spoelwater-terugwin-units>
- Brakkee, E., Rens, C. van, Van Huijgevoort, M., & Ruud, B. (2021). *Hergebruik industrieel restwater Bavaria: Inzicht in effecten van opschaling van subirrigatie voor de landbouwwatervoorziening*. <https://edepot.wur.nl/547737>
- Briene, M., Bongenaar, M., & Bos, D. (2019). *Duurzame ontwikkeling Bonaire, Sint Eustatius en Saba - Eindrapport*.
- CBS. (2021a). *Watergebruik bedrijven en particuliere huishoudens; nationale rekeningen*. <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82883NED/table?fromstatweb>
- CBS. (2021b). *Zuivering van stedelijk afvalwater; per provincie en stroomgebiedsdistrict*. CBS StatLine. <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/7477/table?ts=1555321763052>
- Cirkel, G. (2017). Kwantificeren korte reistijden door middel van traceronderzoek: tracerproef Olden Eibergen. *BTO 2017.010*, 1-.
- Clevers, S., Dorland, E., van Vossen, J., Verschoor, A., & Emke, E. (2019). *Buffercapaciteit drinkwatervoorziening Nederland*. <https://library.kwrwater.nl/publication/59613318/>
- De-Watergroep. (n.d.). *AB InBev*. Industrierwater. Retrieved February 22, 2021, from <https://www.dewatergroep.be/nl-be/industrierwater/cases/ab-inbev>
- De-Watergroep. (2020). *H2020 B-WaterSmart*. De Watergroep. <https://www.dewatergroep.be/nl-be/over-de-watergroep/innovatie/innovatie/optimaal-drinkwater/h2020-b-watersmart>
- de Jonge, M., & Cirkel, G. (2017). Tracers bij oevergrondwaterwinning. *H2O-Online*, 24 oktober.
- De Watergroep. (2020a). *De Watergroep maakt drinkwater uit regenwater*. <https://www.dewatergroep.be/nl-be/over-de-watergroep/nieuws/de-watergroep-maakt-drinkwater-uit-regenwater>
- De Watergroep. (2020b). *IWVA en De Watergroep innoveren samen met Nederlandse partners, ondersteund door Europese duurzaamheids subsidie*. <https://www.dewatergroep.be/nl-be/over-de-watergroep/nieuws/iwva-en-de-watergroep-innoveren-samen-met-nederlandse-partners>
- De Winter, B., & Weemaes, M. (2021). *Vlaamse ontziltingsproef: water uit Noordzee voor drinkwaterproductie*. <https://www.internetofwater.be/de-watergroep-en-aquafin-over-hun-use-cases-verzilting-en-vervuiling-door-overstorten/>
- de Wit, J., van Huijgevoort, M., van Deijl, D., Van den Eertwegh, G., & Bartholomeus, R. (2021). *Regelbare drainage met subirrigatie en slimme stuwen*.
- Dolman, H.; Moors, E.; Elbers, J.; Snijders, W.; Hamaker, P. (2000). *Het Waterverbruik Van Bossen in Nederland*. http://www.climatexchange.nl/projects/boshydrologie/Waterverbruik_Bossen.pdf
- Dommel, W. de. (2020). *Programma Leven De Dommel 2019-2022*. <https://www.dommel.nl/programma-leven-de-dommel>
- Dorland, E., Sijerps, R., Wols, B., Vonk, E., Agudela-Vera, C., Hartog, N., & Witte, J. P. M. (2018). *Klimaatbestendige watersector*. <https://www.kwrwater.nl/klimaatbestendige-watersector/index.html>

- Dow. (n.d.). *Duurzaamheid: Water*. Dow Circles. Retrieved July 22, 2021, from <https://dowcircles.nl/duurzaamheid/water>
- Draak, R. (2012). Waterwinning in de duinen. *Holland's Duinen*, 60, 50–54.
- Driezum, I. van, Beekman, J., Loon, A. van, Leerdam, R. van, Wuijts, S., Rutgers, M., Boekhold, S., & Zijp, M. (2020a). *Staat drinkwaterbronnen*. <https://doi.org/10.21945/RIVM-2020-0179>
- Driezum, I. van, Beekman, J., Loon, A. van, Leerdam, R. van, Wuijts, S., Rutgers, M., Boekhold, S., & Zijp, M. (2020b). *Staat drinkwaterbronnen*. <https://doi.org/10.21945/RIVM-2020-0179>
- Dunea. (2021a). *De nieuwe multi-bronnenstrategie van Dunea*. <https://www.dunea.nl/algemeen/nieuws/2020/de-nieuwe-multi-bronnenstrategie-van-dunea>
- Dunea. (2021b). *Mengbedrijf*. <https://www.dunea.nl/drinkwater/bronnen-en-strategie/multi-bronnen/mengbedrijf-maas-en-lek>
- Dunea. (2021c). *The Freshman-project*. <https://www.dunea.nl/algemeen/life-freshman>
- DWG. (2017). *Waterproductiecentrum Kluizen: Van oppervlaktewater tot drinkwater*. De Watergroep. <https://www.dewatergroep.be/nl-be/publicaties/2017/02/01/12/01/brochure-waterproductiecentrum-kluizen>
- EFGF. (n.d.-a). *Producten: Water*. Energie- En Grondstoffenfabriek. Retrieved February 23, 2022, from <https://www.efgf.nl/producten/water/>
- EFGF. (n.d.-b). *Producten: Water*. Energie- En Grondstoffenfabriek.
- Engel, W., Jensen, I., Phernambucq, I., & van Wee, L. (n.d.). *Gebiedsdossier waterwinning Bethunepolder*.
- EO Wijers #11 *De eeuwige bron*. (2020). <https://eowijers.nl/wp-content/uploads/2020/09/DeEeuwigeBronA4.pdf>
- EPA. (n.d.-a). *EPANET: Application for Modeling Drinking Water Distribution Systems*. Retrieved September 22, 2021, from <https://www.epa.gov/water-research/epanet>
- EPA. (n.d.-b). *EPANET: Application for Modeling Drinking Water Distribution Systems*.
- Eschauzier, C., Haftka, J., Stuyfzand, P. J., & De Voogt, P. (2010). Perfluorinated compounds in infiltrated river rhine water and infiltrated rainwater in coastal dunes. *Environmental Science and Technology*, 44(19), 7450–7455. <https://doi.org/10.1021/es100471z>
- Evides. (2017). *Haringvliet blijft bron voor drinkwater*. <https://www.evides.nl/over-evides/nieuws/2017/haringvliet-blijft-bron-voor-drinkwater>
- Gehrels, J. C. (1999). *Groundwater level fluctuations; separation of natural from anthropogenic influences and determination of groundwater recharge in the Veluwe area*. [Vrije Universiteit Amsterdam]. <https://research.vu.nl/en/publications/groundwater-level-fluctuations-separation-of-natural-from-anthrop>
- Geudens, P., & van Grootveld, J. (2017). *Drinkwaterstatistieken 2017*. <https://www.vewin.nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/Cijfers/Drinkwaterstatistieken-2017-NL.pdf>
- H2O Actueel. (2020). Dunea maakt werk van extra drinkwaterbronnen. *H2O Actueel*, 03 juni 20. <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/dunea-maakt-werk-van-extra-drinkwaterbronnen>
- H2O Actueel. (2022). Dunea slaat met brakwaterpilot twee vlieden in een klap. *H2O Actueel*, 02 Februar. <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/dunea-slaat-met-brakwaterpilot-twee-vlieden-in-eeen-klap>
- Hartog, N., Hofman-Caris, R., Bertelkamp, C., Bloemendal, M., & Palmen, L. (2018). *Ondergronds zuiveren: verkenning van toepasbaarheid in de praktijk*. <https://edepot.wur.nl/506457>
- Heeroma, A., Wubbels, G., & Melessen, C. (2013). Spoelwater als verantwoorde duurzame basis voor drinkwater. *H2O-Online*, 4. <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/spoelwater-als-verantwoorde-duurzame-basis-voor-drinkwater>
- Hofman-Caris, R., Bertelkamp, C., de Waal, L., van den Brand, T., Hofman, J., van der Aa, R., & van der Hoek, J. P. (2019a). Rainwater harvesting for drinkingwater production: A sustainable and cost-effective solution in The Netherlands? *Water (Switzerland)*, 11(511). <https://doi.org/10.3390/w11030511>
- Hofman-Caris, R., Cirkel, G., Huiting, H., & de Waal, L. (2019b). *Stand-alone decentrale zuivering voor afgelegen gebieden*.
- Hoogvliet, M., Stuyt, L., van Bakel, J., Velstra, J., de Louw, P., Massop, H., Tolk, L., van Kempen, C., & Nikkels, M. (2014). *Methodie voor het selecteren van lokale zoetwateroplossingen en het afwegen van hun effecten: "Fresh Water Optimizer."* [https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties 2014/STOWA 2014-43.pdf](https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202014/STOWA%202014-43.pdf)
- Hydro-Logic. (2021). *Water resources modelling with Aquator*. <http://www.oxscisoft.com/aquator/water-resource-modelling.aspx>
- Hydroscan. (n.d.-a). *duurzame-voorziening-drinkwater-klantcomfort*. Retrieved September 22, 2021, from <https://www.hydroscan.eu/nl/duurzame-voorziening-drinkwater-klantcomfort/>
- Hydroscan. (n.d.-b). *duurzame-voorziening-drinkwater-klantcomfort*.
- Irvine, K. N., Chua, L. H. C., & Eikass, H. S. (2014). The Four National Taps of Singapore: A Holistic Approach to Water Resources Management from Drainage to Drinking Water. *Journal of Water Management Modeling*. <https://doi.org/10.14796/JWMM.C375>
- IWVA. (n.d.). *Hergebruik - een duurzame oplossing voor mens en natuur*. Waterwinning. Retrieved July 22, 2021, from <https://www.iwva.be/drinkwater/waterwinning/hergebruik>
- Jansen, A. J. M., & Olsthoorn, A. F. M. (2003). Relatie bos en waterwinning. 1. Verkenning van samenwerkingsmogelijkheden. *Nederlands Bosbouw tijdschrift*, 75(2), 7–10. <https://edepot.wur.nl/114339>
- Kloosterman, R. (2021). *Water voor nu en later - Langetermijnvisie op de Vitens-infrastructuur 2020-2050*.
- Krieken, A., de Bonth, L., van Houwelingen, G., Bakker, M., & van der Linde, S. (2019). *Andere bronnen voor drinkwater Gelderland: Aanvullende strategische voorraden*. https://www.gelderland.nl/bestanden/Documenten/Gelderland/02Energie-milieu-en-water/200113_Definitief_rapport_Andere_bronnen_voor_drinkwater_Gelderland_geanonimiseerd.pdf
- KWR. (2021a). *Tools*. <https://www.kwrwater.nl/tools-producten/>
- KWR. (2021b). *Tools*.
- Liefting, E., & de Man, H. (2017). *EmissieRegistratie Afvalwaterketen: Achtergrondrapport bij de in 2017 geactualiseerde factsheet 'Effluenten RWZI's, regenwaterriolen, niet aangesloten riolen, overstorten en IBA's.'*
- Lodewijk, M. (2012). *Watergebiedsplan Bethunepolder*. <https://edepot.wur.nl/369816>
- Martijn, B., van der Neut, R., & Spruijt, M. (2021). *Haakbaarheidsstudie Ge(o)zond*. <https://www.stowa.nl/publicaties/haalbaarheidsstudie-geozond-water>
- McGrane, S. J. (2016). Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review. *Hydrological Sciences Journal*, 61(13), 2295–2311. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1128084>
- Mens, M., Hunink, J., Delsman, J., Pouwels, J., & Schasfoort, F. (2020a). *Geactualiseerde knelpuntenanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater fase 2*. <https://www.deltaprogramma.nl/documenten/publicaties/2019/05/09/geactualiseerde-knelpunten-voor-het-deltaprogramma-zoetwater-fase-ii>
- Mens, M., Schasfoort, F., Hunink, J., Pouwels, J., Delsman, J., & De Jong, J. (2020b). *Hydrologische en economische effecten van twee maatregelpakketten voor Deltaprogramma Zoetwater fase II*.

- <https://www.deltaprogramma.nl/themas/documenten/publicaties/2021/01/21/hydrologische-en-economische-effecten-van-twee-maatregelpakketten-voor-deltaprogramma-zoetwater-fase-ii>
- Niet, J. de, Toorn, L. van der, Beije, E., Heijkers, J., & Hoekstra, J. (2021). Hydrologische effecten studie van het vervangen van naaldbos op de Utrechtse Heuvelrug door loofbos. *H2O-Online*, 1–9. <https://edepot.wur.nl/542585>
- Nijkamp, J. D. (2016). *Beschikking van Gedeputeerde Staten van Noord-Brabant voor de wijziging van de vergunning krachtens de Waterwet van Brabant Water N.V. ten behoeve van de openbare drinkwatervoorziening te Veghel*.
- Oasen. (2019). *Samen op zoek naar oplossingen tegen verbraking grondwater*. Samen op zoek naar oplossingen tegen verbraking grondwater Oosterholt, F., Sluijs, A., Mons, M., & Medema, G. J. (2003). Evaluatie van praktijkervaringen met huishoudwater. *H2O*, 16, 22–25.
- Oosterhof, A., Rijpkema, S., Doorn, A. van, & Dooren, T. van. (2018). *Improved Freshkeeper Reference site (TRL7)*.
- Oude Essink, G. H. P., Van Baaren, E. S., Zuurbier, K. G., Velstra, J., Veraart, J. A., Brouwer, W., Faneca Sánchez, M., Pauw, P. S., De Louw, P. G. B., Vreke, J., & Schoevers, M. (2018). *GO-FRESH: Valorisatie kansrijke oplossingen voor een robuuste zoetwatervoorziening*.
- Overbeek - te Vaarwerk, M., Naus, M., Beije, E., & Kok, H. (2020). *Regionale studies grondwater- en oeverwaterwinning Gelderland*. <https://commissiemer.nl/projectdocumenten/00006627.pdf>
- Paalman, M. (n.d.). *Zoet in zout: Ovezande*. KWR Water. Retrieved February 28, 2022, from <https://www.kwrwater.nl/projecten/zoet-zout-ovezande/>
- Peeters, B. (2020). *Drinkwaterwinning*. <https://www.milieurapport.be/milieuthemas/waterkwantiteit/waterverbruik-beschikbaarheid/drinkwaterwinning>
- Pouwels, J., Stofberg, S., & Vermooten, S. (2019). *Beschikbare bronnen en waterbesparing voor de drinkwatervoorziening voor de provincie Flevoland*. <https://publicwiki.deltares.nl/display/Drinkwaterbronnen/Beschikbare+bronnen+en+waterbesparing+voor+de+drinkwatervoorziening+oor+de+provincie+Flevoland>
- Pouwels, J., van Baaren, E., Oude Essink, G., Hunink, J., & Bootsma, H. (2018). Brakke polders: grondstof voor drinkwater én verzoeting van de polder. *H2O*. <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/brakke-polders-grondstof-voor-drinkwater-en-verzoeting-van-de-polder>
- Pronk, G., Van Dooren, T. C. G. W., Stofberg, S., & Bartholomeus, R. P. (2020). *Waterhergebruik en de Zoetwatervoorziening*. <https://edepot.wur.nl/518313>
- PUB. (n.d.-a). *NEWater*. Retrieved November 1, 2021, from <https://www.pub.gov.sg/watersupply/fournationaltaps/newater>
- PUB. (n.d.-b). *Singapore Water Story*. Retrieved November 1, 2021, from <https://www.pub.gov.sg/watersupply/singaporewaterstory>
- PUB. (n.d.-c). *Water from Local Catchment*. Retrieved November 1, 2021, from <https://www.pub.gov.sg/watersupply/fournationaltaps/localcatchmentwater>
- PWN. (n.d.). *ASR Hoorn: PWN verkent ondergrondse waterberging als oplossing voor toenemende (piek)watervraag*.
- Raat, K. J., & Kooiman, J. W. (2012). Brak grondwater: niet mijden, maar gebruiken! Eindrapport BTO onderzoek pilots Noardburgum (Vitens) en Zevenbergen (Brabant Water). *BTO 2011.048*, KWR.
- Ramaker, A. B., Blokker, M., Beuken, R., van den Berg, G. A., Cirkel, G., Cornelissen, E., Doomen, A., Kappelhof, J., Raterman, B., Stuyfzand, P. J., & Vink, K. (2006). *Flexwater. Inventarisatie van bronnen, berging, zuivering en infrastructuur*. <http://api.kwrwater.nl/uploads/2016/12/BTO-2006.036-Flexwater.pdf>
- Rambags, F., Raat, K., Zuurbier, K. G., van den Berg, G. A., & Hartog, N. (2013). *Aquifer Storage and Recovery (ASR). Design and operational experiences for water storage*.
- Redactie Waterforum. (2018). *Officiële aftrap voor uitbreiding drinkwaterproductie in Noardburgum*. <https://www.waterforum.net/officialer-afttrap-voor-uitbreiding-drinkwaterproductie-in-noardburgum/>
- RHDHV. (2021a). *Smart drinking water*. <https://www.royalhaskoningdhv.com/nl-nl/nederland/diensten/diensten-van-a-tot-z/smart-drinking-water/6497>
- RHDHV. (2021b). *Smart drinking water*.
- RIWA. (2019). Jaarrapport 2018 De Maas. In *H2O Actueel*. <https://doi.org/978-90-6683-172-8>
- Roex, E., Stofberg, S., Cirkel, G., & Bartholomeus, R. (2021). Hergebruik van effluent. *Deltafacts Stowa*. <https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/hergebruik-van-effluent>
- Schipper, P., Groenendijk, P., Van Eekeren, N., Van Zanen, M., Rozemeijer, J., Jansen, G., & Swart, B. (2015). *GOEDE GROND VOOR EEN DUURZAAM WATERSYSTEEM*. [https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties 2015/STOWA 2015-19.pdf](https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%2015/STOWA%2015-19.pdf)
- Schreuders, R., Buijert, D., Vreman, B., & Dotinga, L. (2019). *Gebiedsdossier oppervlaktewaterwinning Haringvliet*.
- Smulders, L., & Smits, F. (2019). *Temmen van brakke kwel in de Horstermeerpolder*. <https://www.waternet.nl/innovatie/schoon-water/brakke-kwel/>
- Stofberg, S., Bertelkamp, C., Van Huijgevoort, M., & Bäuerlein, P. (2019). *VO Alternatieve bronnen voor drinkwater: Achtergronddocument inventarisatie alternatieve bronnen*. <https://library.kwrwater.nl/publication/59515504/>
- Stofberg, S., & Zuurbier, K. G. (2018a). *COASTAR. Verkenning waterbank Westland*.
- Stofberg, S., & Zuurbier, K. G. (2018b). *COASTAR. Verkenning waterbank Westland*. <https://www.coastar.nl/wp-content/uploads/COASTAR.-Verkenning-Waterbank-Westland-definitief.pdf>
- Stofberg, S., Zuurbier, K. G., Janssen, G. M. C. M., Oude Essink, G. H. P., Van Baaren, E. S., Boonekamp, T., De Buck, W., Hulzebos, J., Schetters, M., & Zwolsman, G. (2018). *COASTAR: Verkenning strategische brakwaterwinning*. <https://www.coastar.nl/wp-content/uploads/COASTAR.-Verkenning-brakwaterwinning-definitief-augustus.pdf>
- Stratelligence. (2021). *Economische analyse Zoetwater: Eindrapportage definitief*.
- Stultiëns, E., Vink, G., & Leeuwis-Tolboom, J. (2001). Waterwinning en natuur rond het Waterproductiebedrijf Heel. *H2O-Platform*, 2001(5), 3. <https://edepot.wur.nl/359688>
- Stuurman, R., Baggelaar, P., Berendrecht, W., Buma, J., de Louw, P., & Oude Essink, G. (2008). *Toekomst van de Nederlandse grondwatervoorraad in relatie tot klimaatverandering*.
- Stuyfzand, P. J. (2016). History of managed aquifer recharge in the Netherlands. In P. Dillon, P. Stuyfzand, T. Grischek, M. Lloria, R. D. G. Pyne, R. C. Jain, J. Bear, J. Schwarz, W. Wang, E. Fernandez, C. Stefan, M. Pettenati, J. van der Gun, C. Sprenger, G. Massmann, B. R. Scanlon, J. Xanke, P. Jokela, Y. Zheng, ... M. Sapiano (Eds.), *Sixty years of global progress in managed aquifer recharge* (Electronic).
- Stuyfzand, P. J., Nienhuis, P., Antoniou, A., & Zuurbier, K. (2012). Haalbaarheid van ondergrondse berging via A(S/T)R in Hollands kustduinen. *KWR 2012.082*.
- Stuyfzand, P. J., Smidt, E., Zuurbier, K. G., Hartog, N., & Dawoud, M. A. (2017). Observations and prediction of recovered quality of desalinated seawater in the strategic ASR project in Liwa, Abu Dhabi. *Water*, 9(177). <https://doi.org/10.3390/w9030177>

- Stuyfzand, P. J., Wakker, J. C., & Putters, B. (2005). Water quality changes during Aquifer Storage and Recovery (ASR): results from pilot Herten (Netherlands), and their implications for modeling. *Ismar 2005, Aquifer Recharge, 5th International Symposium*, 164–173.
- Stuyt, M., Bolt, F. van der, Snellen, W., Groenendijk, P., Schipper, P., & Harmsen, J. (2012). *Meer water met regelbare drainage?* [https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties 2012/STOWA 2012-33.pdf](https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%2012/STOWA%2012-33.pdf)
- SUPERLOCAL. (n.d.). *Partners*. Retrieved February 28, 2022, from <https://superlocalwater.eu/nl/organisation/>
- Tangena, B. H. (2015). *Behoeftedekking Nederlandse drinkwatervoorziening 2015-2040*.
- Tortajada, C. (2006). Singapore: An Exemplary Case for Urban Water Management. *Case Study for the 2006 HDR*, 1–13.
- van Alphen, H.-J. (2014). *Praktijk en Toekomst van Decentrale Drinkwaterproductie*.
- van Alphen, H.-J., van Duuren, D., & Koop, S. (2018). *Decentrale watersystemen: potentie, impact en gevolgen voor drinkwaterbedrijven*.
- van den Eertwegh, G., De Louw, P., Witte, F., Bartholomeus, R., Van Huijgevoort, M., Deijl, D. van, Dam, J. van, Hunink, J., America, I., Pouwels, J., Hoefsloot, P., & Wit, J. de. (2021). *Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland: het verhaal - analyse van droogte 2018 en 2019 en bevindingen*.
- van der Brugge, R., & Vermooten, S. (2018). Adaptieve lange termijn strategie voor de drinkwatervoorziening in de Provincie Flevoland. In *Deltares rapport*.
- van der Meulen, D., van Dongen, M., Vlaar, T. C., & Dries, A. (2019). *Gebiedsdossier oppervlaktewaterwinning Drentsche Aa*.
- van der Schans, M., & Meerkerk, M. (2019). Putten en puttenvelden ten behoeve van drinkwater. Deel 2: ontwerp. *KWR PCD 13-1 Deel 1: Algemeen*.
- van der Werf, H. (2020, September 24). Dow Terneuzen sorteert voor op waterschaarste in de toekomst. *PZC*. <https://www.pzc.nl/zeeuws-vlaanderen/dow-terneuzen-sorteert-voor-op-waterschaarste-in-de-toekomst~ad3d2e28/>
- van der Zee, F. F., de Knecht, B., Meeuwssen, H. A. M., Sanders, M. E., Veraart, J. A., Grashof-Bokdam, C. J., & Wegman, R. M. A. (2016). *Waterwinning en natuur: de betekenis van de drinkwatersector voor de natuur in Nederland*. aaaaaaaaaa
- van Dijk, J. (1993). Oevergrondwater: historische vergissing of gulden middenweg? *H2O*, 26(7), 170–180. <https://edepot.wur.nl/371488>
- Van Dooren, T. C. G. W. (2018). Verstoppingspotentie van een infiltratiegracht op de Avekapellekreekrug. *BTO 2018.098*. <https://edepot.wur.nl/495858>
- Van Dooren, T. C. G. W., & Raat, K. (2020). Dunea werkt aan toekomstbestendige zoetwatervoorziening - FRESHMAN. *KWR, 13 Juli 2020*. <https://www.kwrwater.nl/actueel/dunea-werkt-aan-toekomstbestendige-zoetwatervoorziening-freshman/>
- Van Dooren, T. C. G. W., Raat, K., & Stofberg, S. (2021). Effecten van kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater op de grondwaterkwaliteit. *Deltafact, Stowa*.
- van Engelenburg, J. (2017). *Schalteberg, infiltratieproject*. <https://www.waterwinst.nl/project/schalteberg-infiltratieproject/>
- van Griensven, E., van Baalen, S., Christen, J., & Beekman, W. (2009). *Reallocatie grondwaterwinningen van Boxmeer en Vierlingsbeek naar Loosbroek en Veghel - Samenvatting MER*. https://www.commissiemer.nl/docs/mer/p17/p1788/1788-043mer_sam.pdf
- Van Guldener, A., Hofman, J., Roelevink, B., Rossenaar, A. J., & Logemann, D. (2016). *Natura 2000-Beheerplan Bargerveen*. <https://www.bij12.nl/wp-content/uploads/NW17022303-BP-N2000-Bargerveen-en-bijlagen.pdf>
- van Houtte, E. (2017a). Hergebruik van gezuiverd afvalwater bij de IWVA. *Studiedag Duurzaam Watermanagement in de Polders*. <https://docplayer.nl/64118386-Hergebruik-van-gezuiverd-afvalwater-bij-de-ivva.html>
- van Houtte, E. (2017b). Hergebruik van gezuiverd afvalwater bij de IWVA. *Studiedag Duurzaam Watermanagement in de Polders*.
- van Houtte, E. (2019a). Hergebruik en infiltratie resulteert in duurzame winning in de duinen van de Westkust. *Symposium Ecosysteemdiensten in Vlaanderen*, 17. [https://omgeving.vlaanderen.be/sites/default/files/atoms/files/6.Emmanuel Van Houtte - Hergebruik en infiltratie.pdf](https://omgeving.vlaanderen.be/sites/default/files/atoms/files/6.Emmanuel%20Van%20Houtte%20-%20Hergebruik%20en%20infiltratie.pdf)
- van Houtte, E. (2019b). Hergebruik en infiltratie resulteert in duurzame winning in de duinen van de Westkust. *Symposium Ecosysteemdiensten in Vlaanderen*, 17.
- Van Huijgevoort, M. H. J., Voortman, B. R., Rijpkema, S., Nijhuis, K. H. S., & Witte, J. P. M. (2020). Influence of climate and land use change on the groundwater system of the veluwe, the netherlands: A historical and future perspective. *Water (Switzerland)*, 12(10), 1–16. <https://doi.org/10.3390/w12102866>
- van Loon, A., Lappere, R., Mensink, J., & Paalman, M. (2014). *Voorraadvorming van water in de Stippelberg (Noord-Brabant)*.
- van Rijsselt, E., Kerckhoffs, T., Horn, A., & Kanen-Verlinden, A. (2018a). *Gebiedsdossiers Limburg: Boringsvrij zone Roerdalslenk, actualisatie 2018*.
- van Rijsselt, E., Kerckhoffs, T., Horn, A., & Kanen-Verlinden, A. (2018b). *Gebiedsdossiers Limburg: Winning Heel, actualisatie 2018*.
- van Roekel, A. (2015). Drinkwater op Aruba volledig met osmosetechniek bereid. *NEMO Kennislink*. <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/drinkwater-op-aruba-volledig-met-osmosetechniek-bereid/>
- van Vugt, A., Phernambucq, I., Biesheuvel, A., Pompe, L., Klijn, R., & van Lienden, A. (2017). *Gebiedsdossiers drinkwaterwinningen Overijssel - deel 2: Gebiedsdossier Vechterweerd*.
- Verdel, J. D., Stroet, R., Moonen, H., van Diepenbeek, P., & Engels, P. (2017). Quaggamossel belemmert kunstmatige infiltratie bij WML. *H2O, Water Matt*, 4. <https://edepot.wur.nl/419758>
- Verdonschot, P., Besse, A., de Brouwer, J., Eekhout, J., & Fraaije, R. (2012). *Beekdalbreed hermeanderen*. [https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties 2012/STOWA 2012-36.pdf](https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%2012/STOWA%2012-36.pdf)
- Vewin. (2014). *Kerngegevens drinkwater 2014*.
- Vewin. (2017). Verplaatsen van winningen is noodgreep. *Waterspiegel*, 2, 35–37.
- VEWIN. (2020). *Kerngegevens drinkwater 2020*. <https://www.vewin.nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/Cijfers/Vewin-Kerngegevens-Drinkwater-2020.pdf>
- Vink, C., Cirkel, G., Raterman, B., Stuyfzand, P. J., van den Berg, G. A., Doomen, A., Puyker, L. M., Gijsbertsen, A. J., Kappelhof, J., & Baggelaar, P. K. (2006). *Stedelijk waterbeheer en drinkwaterwinning: Verkenning van de haalbaarheid van stedelijke drinkwaterwinningen*.
- Vink, K., & Witte, J. P. M. (2008). *Flexwater Pilot Brabant Water - Regio Zuid. Verkennend onderzoek naar optimale productieconfiguraties met Optiwin* (Issue December). <http://api.kwrwater.nl/uploads/2016/12/BTO-2008.058-Flexwater-Pilot-Brabant-Water-Regio-Zuid.pdf>
- Vitens. (2016). *Neerijnen, freatische winning in een nat natuurgebied*. Waterwinst. <https://www.waterwinst.nl/project/kolf/>
- Vitens. (2020a). *Een nieuwe toekomstblik met Panorama Waterland*. <https://www.vitens.nl/relaties/nieuwsberichten/panorama-waterland>
- Vitens. (2020b). *Jaarverslag 2020*. https://www.vitensjaarverslag.nl/FbContent.aspx/pub_1003/downloads/v210526173644/vitens-jaarverslag-2020.pdf
- Vitens. (2020c). *Jaarverslag 2020*.
- Vitens. (2020d). *Langetermijnvisie op de Vitens-infrastructuur 2020-2050*. <https://www.vitens.nl/over-vitens/organisatie/langetermijnvisie-infrastructuur>
- Vlaamse Milieumaatschappij. (2019). *Drinkwatervoorziening in Vlaanderen: organisatie en een blik vooruit*. 65.

- VMM. (2020a). *Drinkwaterbalans voor Vlaanderen - 2019*. <https://www.vmm.be/publicaties/drinkwaterbalans-voor-vlaanderen-2019>
- VMM. (2020b). *Proeftuinen Droogte*. <https://www.vmm.be/water/projecten/proeftuinen-droogte>
- VMM. (2021a). *Advies WaterRegulator: De omvang van waterverlies bij Vlaamse waterbedrijven*. https://www.vmm.be/wetgeving/adviezen-waterregulator/waterregulator_advies_omvang_waterverlies_tw.pdf
- VMM. (2021b). *Influent- en effluentvrachten van RWZI's (2011-2020)*. Vlaamse Milieumaatschappij. <https://www.vmm.be/water/riolering/influent-en-effluentvrachten-van-rwzis>
- VMM. (2021c). *Strategisch plan waterbevoorrading in Vlaanderen - drinkwaterbevoorrading via openbare waterdistributie*. <https://www.vmm.be/publicaties/strategisch-plan-waterbevoorrading-in-vlaanderen-drinkwaterbevoorrading-via-openbare-waterdistributie>
- Voortman, B.; van Huijgevoort, M.; Witte, J. P. (2019). *Verdamping Van Natuurterreinen Berekend Met AZURE. De Parametrisatie Van Heide op Basis Van Lysimetermetingen en een Vergelijking Met Literatuurcijfers*.
- Voortman, B. R., Bartholomeus, R. P., van der Zee, S. E. A. T. M., Bierkens, M. F. P., & Witte, J. P. M. (2015). Quantifying energy and water fluxes in dry dune ecosystems of the Netherlands. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(9), 3787–3805. <https://doi.org/10.5194/hess-19-3787-2015>
- VVSG. (n.d.-a). *Hergebruik van effluent voor infiltratie in de waterwinning van St-André*. Milieu, Klimaat & Duurzaamheid. Retrieved October 29, 2021, from <https://www.vvsg.be/kennisitem/vvsg/iwva>
- VVSG. (n.d.-b). *Hergebruik van effluent voor infiltratie in de waterwinning van St-André*. Milieu, Klimaat & Duurzaamheid.
- Waterschap Hunze & Aa's. (2015). *Ontwerp projectplan Tusschenwater (fase 1)*. <https://www.groningerlandschap.nl/assets/uploads/2019/03/2015-05-13-Ontwerp-projectplan-Waterwet-Tusschenwater.pdf>
- Wessels, P., & van der Meer, W. (2022). Duurzame drinkwaterzuivering met membraanfiltratie. *H2O-Online*, 9. <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/duurzame-drinkwaterzuivering-met-membraanfiltratie>
- Westenbrink, B. (2020). Viten's zoektocht naar de eeuwige waterbron. *H2O Actueel*.
- WML. (n.d.). *Forse milieuwinst bij SUPERLOCAL door slim (her)gebruik water*. Retrieved February 28, 2022, from <https://www.wml.nl/over-wml/nieuws/forse-milieuwinst-superlocal-door-slim-hergebruik-water>
- Wouters, J., van der Velde, J., & Willemse, R. (1994). Hergebruik van spoelwater bij drinkwaterbedrijven. *H2O*, 27(20), 4. <https://edepot.wur.nl/371100>
- Zuurbier, K. G. (2016). *Increasing Freshwater Recovery Upon Aquifer Storage: A field and modelling study of dedicated aquifer storage and recovery configurations in brackish-saline aquifers*. TU Delft.
- Zuurbier, K. G., & Paalman, M. (2014). *Veldproef ondergrondse zoetwaterberging in zout grondwater (Pilot ASR Prominent)*.
- Zuurbier, K. G., & Ros, S. E. M. (2017). *Aquifer storage and recovery van gezuiverd effluent Nieuw Prinsenland (Dinteloord)*.
- Zuurbier, K. G., & Van Dooren, T. C. G. W. (2019). *Urban Waterbuffer: Impact Waterkwaliteit*. <https://www.urbanwaterbuffer.nl/impact/>
- Zuurbier, K. G., Van Dooren, T. C. G. W., & Ros, S. E. M. (2018). *Improved Freshmaker Reference Site*.