

BTO 2019.017 | Maart 2019

BTO rapport

VO Alternatieve bronnen
voor drinkwater

Achtergronddocument
inventarisatie
alternatieve bronnen

BTO

Achtergronddocument VO Alternatieve Bronnen voor Drinkwater

BTO 2019.017 | Maart 2019

Opdrachtnummer

402045-024

Projectmanager

Dr. Geertje Pronk

Opdrachtgever

BTO - Verkennend onderzoek

Kwaliteitsborger

Dr. ir. Roberta Hofman-Caris

Auteurs

Dr. S.F. Stofberg, dr.ir. C. Bertelkamp, dr. ir.M. van
Huijgevoort, dr. P.S. Bäuerlein

Verzonden aan

BTO participanten

Jaar van publicatie
2019

Meer informatie

Sija Stofberg
T +31 30 606 9569
E Sija.Stofberg@kwrwater.nl

Keywords:

Alternatieve drinkwaterbronnen,
decentralisatie
drinkwatervoorziening,
duurzaamheid, zelfvoorzienend,
waterkwaliteit

Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

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

KWR Watercycle
Research
Institute



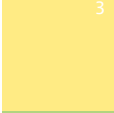
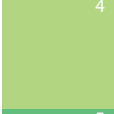
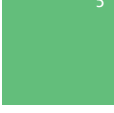
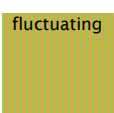
BTO 2019.017 | Maart 2019 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

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

Overview table

The overview table presented on the following pages briefly summarizes the obtained information with respect to the investigated sources. The availability and quality of a source are compared by means of color coding. It should be noted that this gives an overall picture of the types of sources in general and that the actual availability and quality per individual source can differ greatly. In the pdf version of this document you can click on a specific source (link) that brings you directly to the relevant chapter.



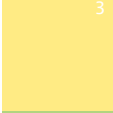
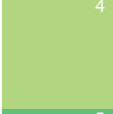
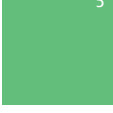
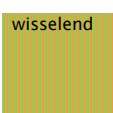
Legend	Quantity	Quality
 1 very poor	Very limited availability (order $10^0 - 10^1$ m ³ /y or more), but very difficult to recover and/or very irregular over time or varying locations	Treatment requires a number of processes, a significant amount of energy and/or cannot be performed efficiently, for example because of a strongly varying quality.
 2 poor	Limited availability (order $10^2 - 10^3$ m ³ /y) and/or relatively difficult to recover, or greater availability with large spatial distribution and/or irregular over time.	Frequent or multiple contaminations.
 3 neutral	Relatively good availability (order 10^4 m ³ /y), but less recoverable, large spatial distribution and/or very irregular over time.	Moderate contamination.
 4 good	High availability or easily extractable (order 10^5 m ³ /y), or larger volumes with relatively irregular availability or poor extractability	Contaminants are relatively strongly diluted. Simple purification necessary.
 5 very good	Very high availability or recoverable per point source (order 10^6 m ³ /y), relatively constant over time	Little purification needed, for example only aeration, softening and/or disinfection
 fluctuating	Depends too strongly on location to make adequate classification, can be either good or poor.	Depends too strongly on location to make adequate classification, can be either good or poor.

Category	Source	Total score	Potential availability and/or recoverability	Treatment effort	Summary
Surface water	Seawater	7	5	2	Very large quantities available along the coast. Desalination more expensive and problematic than, for example, for brackish groundwater due to higher salt content and suspended particles. Desalination costs a lot of energy and produces a concentrate stream.
Surface water	Brackish surface water	6	4	2	Available in large quantities, but both volume and location depend on sea and river discharge dynamics, and also on possible quality fluctuations. Desalination costs a lot of energy and produces a concentrate stream.
Surface water	Fresh surface water	9	5	4	Available in large quantities via large rivers. Intake can be limited by (anthropogenic) impurities causing intake stops. Quality dependent on river discharge, share of purified waste water, type of river (rainwater river or mixed river) and water level.
Surface water	Icebergs	6	1	5	Potentially large quantities available, but recoverability is technically not yet proven. Probably not sustainable.
Surface water	Polder drainage	6	4	2	Relatively large amount extractable, but very irregular due to precipitation patterns. Quality is highly variable and in many cases relatively poor.
Subsoil	Salt and brackish ground water	8	5	3	Available in relatively large quantities near the coast. Desalination of brackish groundwater is less problematic and expensive than salt groundwater, but it costs energy and produces a concentrate stream. Groundwater can become more fresh/salt (depending on extraction location and flow rate). Aeration of the abstracted water is also required.
Subsoil	Fresh groundwater	10	5	5	Available in large quantities, often of good quality, although this depends on extraction location. Abstraction can lead to desiccation and/or salinisation (depending on extraction location and flow rate). Phreatic zone may contain organic micropollutants, deeper layers will contain less of these contaminants.
Subsoil	Fresh water from below the sea bottom	6	1	5	Too little known for estimating recoverability (data not yet available). Presumably of good quality given the age of the water.
Subsoil	Dewatering and drainage	6	fluctuating	fluctuating	Permanent dewatering can be interesting if drainage is sufficiently large and the abstracted ground water is not too salty. Probably only a few of these dewatering facilities are available. Drainage water is not promising, given the varying availability and often poor quality
Subsoil	Unsaturated zone	4	1	3	Limited and irregular availability, difficult to extract and highly competitive with other uses. Quality depends on location, but is in many cases poor. May be contaminated with organic micropollutants, feces, heavy metals, nutrients, microorganisms and pathogens.
Precipitation	Precipitation on paved surfaces	7	3	4	Irregular availability, depending on precipitation patterns. Contains various contaminants (more organic micropollutants than groundwater), but in relatively low concentrations. Rainwater can also contain feces, microorganisms and pathogens. Required conditioning of the water.
Atmosphere	Humidity	7	3	4	Potentially large extractable quantities, but unclear how much energy extraction requires. The recoverable amount is small during cold periods. Quality probably is relatively good. The extracted water contains no salts, but possibly low concentrations of organic material, micro-pollutants, and pathogens.
Atmosphere	Fog	5	1	4	Not permanently available. Quality presumably is relatively good (comparable to the humidity category). In literature, warnings are given about the formation of algae on fog nets which can also capture plants, dust and insects.
Atmosphere	Airconditioning	4	1	3	Availability per point source is limited. Perhaps interesting for very large systems or places with a large water shortage. Quality will be comparable to the humidity category. Possible leaching of metals and cleaning agents from the device itself. Water can become contaminated with bacteria.
Atmosphere	Heat pump	4	1	3	Availability per point source is limited. Quality will be comparable to the category of fog and humidity, depending on inside or outside extraction.

Category	Source	Total score	Potential availability and/or recoverability	Treatment effort	Summary
Atmosphere	Cooling and freezing	3	1	2	Very limited availability per point source. Possibly interesting quantities for very large industrial systems, with a lot of air supply. The condensate can contain contaminants from ambient air (dust particles, pathogens, organic micropollutants) and the cooling installation itself (metals).
Residual water	WWTP effluent	7	5	2	Supply in the same order of magnitude as domestic drinking water demand, can provide in a large part of demand. Is partially purified in WWTP, but requires important additional purification because of pathogens and organic micropollutants. Risk: in the case of disruption of the biological treatment process (e.g. due to drug discharge) there is a chance of leaching of substances. Acceptance is point of attention. Enables closure of the water cycle.
Residual water	Residual water from households (locally untreated)	3	2	1	Supply in the same order of magnitude as drinking water demand on local scale, but the point source supply is not very large. Quality is bad and irregular. Separation of streams (gray / black) is possible.
Residual water	Residual water from general industry	6	fluctuating	fluctuating	Strongly dependent on the type of industry. Supply can potentially be large, although much is already being reused. Recoverability is currently higher with liquid residual streams than with vapor. Quality is very dependent on the type of industry and the purification already present. Some examples below.
Residual water	Residual water from sugar industry	7	4	fluctuating	Relatively much residual water per factory, but quantity shows seasonal variation. For this reason not completely reusable. Only a few factories present. Quality can vary per stream (condensate (high pH, volatile fatty acids, ammonium and bicarbonate) versus wash water (pieces of beet, soil, root) versus water treated in a wastewater treatment plant).
Residual water	Residual water from milk powder production	6	3	3	Ample amount of available water. However, it is released in the form of vapor, so it should be condensed before use. Possibly reuse already occurring (but not certain). Condensate can contain organic matter and ammonium, but is also relatively warm (30-40 °C).
Residual water	Residual water from cheese production	7	4	fluctuating	Ample amount of available water. Possibly reuse already occurring (but not certain). Quality: lower pH, high amount of organic matter and nutrients. Residual water quality depends on the process used for thickening the whey. RO treated residual water is of relatively good quality, but may still contain some low molecular components.
Residual water	Residual water from potato processing	7	5	2	Ample amount of available water. Possibly reuse already occurring (but not certain). In general, potato residual water can contain the following parameters: particles (sand, silt), high levels of organic matter, nutrients (nitrogen and phosphate), but also microorganisms (bacteria).
Fuels	Fossil fuels: buildings	3	1	2	Limited availability per point source. Quality relatively poor (possible impurities from ambient air, organic compounds (hydrocarbons, aldehydes, PAHs, etc.), nitrogen oxides, sulfur oxides, fine dust and heavy metals). It is expected that the use of fossil fuels will decrease in the long term.
Fuels	Fossil fuels: transport	3	1	2	Limited availability per point source. Quality relatively poor (possible impurities from ambient air, organic compounds (hydrocarbons, aldehydes, PAHs, etc.), nitrogen oxides, sulfur oxides, fine dust and heavy metals). It is expected that the use of fossil fuels will decrease in the long term.
Fuels	Fossil fuels: horticulture	3	1	2	Not much available per point source. Quality relatively poor (heavy metals, low pH and acids). It is expected that the use of fossil fuels will decrease in the long term. Reuse within greenhouse horticulture itself is more obvious than possible external applications.
Fuels	Hydrogen: heating of households and buildings	5	1	4	Limited availability per point source. Quality is probably relatively good, but dissolved metals are the focus of attention. Requires softening.
Fuels	Hydrogen: industry	8	4	4	Relatively large quantities may constantly be available, more research is desirable. Quality is probably relatively good, but dissolved metals are the focus of attention. Requires softening.
Fuels	Hydrogen: transport	5	1	4	Limited per point source. Quality is probably relatively good, but dissolved metals are the focus of attention. Requires softening.

Overzichtstabel

In de overzichtstabel op de volgende pagina's is de verkregen informatie omtrent de onderzochte bronnen kort samengevat. Ook worden beschikbaarheid en waterkwaliteit middels kleurcodering met elkaar vergeleken. Hierbij moet opgemerkt worden dat dit een globaal beeld geeft van de typen bronnen in het algemeen en dat de werkelijke beschikbaarheid en kwaliteit per individuele bron sterk van elkaar kunnen verschillen. In de pdf versie van dit document kan doorgedrukt worden naar het betreffende onderwerp.

Legenda	Kwantiteit	Kwaliteit
 1 zeer slecht	Zeer weinig beschikbaar (ordegrootte $10^0 - 10^1$ m ³ /j) of meer maar zeer lastig winbaar en/of zeer onregelmatig over de tijd of variërende locaties	Zuivering vereist veel stappen, veel energie en/of kan niet efficiënt uitgevoerd worden, bijvoorbeeld bij sterk wisselende kwaliteit.
 2 slecht	Weinig beschikbaar (ordegrootte $10^2 - 10^3$ m ³ /j) en/of relatief lastig winbaar of grotere beschikbaarheid met grote ruimtelijke verspreiding en/of onregelmatig over de tijd	Veel of meervoudige verontreiniging.
 3 neutraal	Relatief goede beschikbaarheid (ordegrootte 10^4 m ³ /j) of grotere volumes maar minder goed winbaar, ruimtelijk zeer verspreid en/of zeer onregelmatig over de tijd.	Middelmatige verontreiniging.
 4 goed	Veel beschikbaar of winbaar (ordegrootte 10^5 m ³ /j) of grotere volumes met relatief onregelmatige beschikbaarheid of minder goede winbaarheid	Verontreinigingen zijn relatief sterk verdund. Eenvoudige zuivering noodzakelijk.
 5 zeer goed	Zeer veel beschikbaar of winbaar per puntbron (ordegrootte 10^5 m ³ /j), relatief constant over de tijd	Weinig zuivering nodig, bijvoorbeeld alleen beluchting, correctie hardheid en/of desinfectie
 wisselend	Te sterk afhankelijk van locatie om een goede classificatie te kunnen maken, kan zowel goed of slecht zijn.	Te sterk afhankelijk van locatie om een goede classificatie te kunnen maken, kan zowel goed of slecht zijn.

Categorie	Bron	Totaalscore	Potentiele beschikbaarheid en/of winbaarheid	Zuiverings-inspanning	Samenvatting
Oppervlaktewater	Zeewater	7	5	2	Zeer grote hoeveelheden beschikbaar langs de kust. Ontzilting duurder en problematischer dan bijvoorbeeld brak grondwater door hoger zoutgehalte en zwevende deeltjes. Ontzilting kost veel energie en levert een reststroom op.
Oppervlaktewater	Brak oppervlaktewater	6	4	2	In grote hoeveelheden beschikbaar, maar volume en locatie hangen af van dynamiek zee en rivierafvoer, daarnaast ook van mogelijke kwaliteitsfluctuaties. Ontzilting kost veel energie en levert reststroom op.
Oppervlaktewater	Zoet oppervlaktewater	9	5	4	In grote hoeveelheden beschikbaar via grote rivieren. Mogelijke inname kan beperkt worden door (antropogene) verontreinigingen waardoor innamestops plaatsvinden. Kwaliteit afhankelijk van debiet rivier, aandeel gezuiverd afvalwater, type rivier (regenwaterrivier of gemengde rivier) en waterstand.
Oppervlaktewater	Ijsbergen	6	1	5	Potentieel grote hoeveelheden beschikbaar, maar winbaarheid is technisch nog niet bewezen. Vermoedelijk niet duurzaam.
Oppervlaktewater	Polderbemalingen	6	4	2	Relatief grote totale hoeveelheid winbaar, maar zeer onregelmatig wegens neerslagpatronen. Kwaliteit is sterk wisselend en in veel gevallen relatief slecht.
Ondergrond	Zout en brak grondwater	8	5	3	In relatief grote hoeveelheden beschikbaar nabij de kust. Ontzilting van brak grondwater is minder problematisch en duur dan van zout grondwater, maar kost energie en levert reststroom op. Mogelijke verzoeting of juist verzilting (afhankelijk van winlocatie en debiet). Ook beluchting van het water is nodig.
Ondergrond	Zoet grondwater	10	5	5	In grote hoeveelheden beschikbaar, vaak van goede kwaliteit, hoewel dit van winlocatie afhangt. Winning kan leiden tot verdroging en/of verzilting (afhankelijk van winlocatie en debiet). Freatisch pakket kan mogelijk organische microverontreinigingen bevatten, diepere lagen zullen minder van deze verontreinigingen bevatten.
Ondergrond	Zoet water van onder zeebodem	6	1	5	Te weinig van bekend om winbaarheid in te schatten, tot op heden niet bereikbaar. Vermoedelijk van goede kwaliteit gezien de ouderdom van het water.
Ondergrond	Bemalingen en drainage	6	wisselend	wisselend	Permanente bemalingen kunnen interessant zijn indien ze voldoende groot zijn en niet te zout grondwater oppompen. Waarschijnlijk slechts enkele van deze bemalingen aanwezig. Drainagewater is niet kansrijk, gezien wisselende beschikbaarheid en vaak slechte kwaliteit.
Ondergrond	Onverzadigde zone	4	1	3	Weinig en onregelmatig beschikbaar, moeilijk winbaar en sterk concurrerend met ander gebruik. Kwaliteit afhankelijk van locatie, maar in veel gevallen niet goed. Kan vervuild zijn met organische microverontreinigingen, fecaliën, zware metalen, nutriënten, micro-organismen en pathogenen.
Neerslag	Neerslag op verharding	7	3	4	Onregelmatig beschikbaar, afhankelijk van neerslagpatronen. Bevat verschillende verontreinigingen (meer organische microverontreinigingen dan grondwater), maar in relatief lage concentraties. Ook regenwater kan fecaliën, micro-organismen en pathogenen bevatten. Dient wel opgehard te worden.
Atmosfeer	Luchtvochtigheid	7	3	4	Potentieel wellicht grote hoeveelheden winbaar, maar nog niet duidelijk hoeveel energie het kost om deze te winnen. Tijdens koude perioden is de winbare hoeveelheid klein. Kwaliteit vermoedelijk relatief goed. Het gewonnen water bevat geen zouten, mogelijk wel lage concentraties organisch materiaal, microverontreinigingen, evt. pathogenen.
Atmosfeer	Mist	5	1	4	Op weinig momenten beschikbaar. Kwaliteit vermoedelijk relatief goed vergelijkbaar met categorie luchtvochtigheid. In literatuur wordt er gewaarschuwd voor de vorming van algen op mistnetten welke ook weer planten, stof en insecten kunnen invangen.
Atmosfeer	Airconditioning	4	1	3	Weinig beschikbaar per puntbron. Wellicht interessant bij zeer grote systemen of plekken met groot watertekort. Kwaliteit zal vergelijkbaar zijn met categorie luchtvochtigheid. Mogelijk uitloging van metalen in en schoonmaakmiddelen van het apparaat zelf. Wel kan er gemakkelijker besmetting van het water met bacteriën plaatsvinden.
Atmosfeer	Warmtepomp	4	1	3	Zeer weinig beschikbaar per puntbron. Kwaliteit zal vergelijkbaar zijn met categorie mist en luchtvochtigheid., afhankelijk van binnen- of buitenwinning.

Categorie	Bron	Totaalscore	Potentiële beschikbaarheid en/of winbaarheid	Zuiveringsinspanning	Samenvatting
Atmosfeer	Koelen en vriezen	3	1	2	Per puntbron zeer weinig beschikbaar. Wellicht interessante hoeveelheden bij zeer grote industriële systemen, met veel luchtaanvoer. Het condensaat kan verontreinigingen uit omgevingslucht bevatten (stofdeeltjes, pathogenen, organische microverontreinigingen) en de koelinstallatie zelf (metalen).
Restwater	RWZI effluent	7	5	2	Aanvoer van zelfde ordegrootte als huishoudelijke drinkwatervraag, kan in groot deel van vraag voorzien. Is in RWZI deels gezuiverd, maar heeft belangrijke aanvullende zuivering nodig wegens o.a. pathogenen en organische microverontreinigingen. Risico: bij verstoring zuivering (bijv. door drugslozing) is er kans op uitspoelen stoffen. Acceptatie is aandachtspunt. Maakt kringloopsluiting mogelijk.
Restwater	Restwater huishoudelijk (lokaal ongezuiverd)	3	2	1	Aanvoer van zelfde ordegrootte als drinkwatervraag op de lokale schaal, maar per puntbron is het aanbod niet heel groot. Kwaliteit slecht en onregelmatig. Scheiding van stromen (grijs/zwart) is mogelijk.
Restwater	Restwater industrie algemeen	6	wisselend	wisselend	Sterk afhankelijk van type industrie. Aanbod kan in potentie groot zijn, hoewel er al veel wordt hergebruikt. Winbaarheid is momenteel groter bij vloeibare reststromen dan bij damp. Kwaliteit is erg afhankelijk van type industrie en reeds aanwezige zuivering. Enkele voorbeelden hieronder.
Restwater	Restwater suikerindustrie	7	4	wisselend	Per fabriek relatief veel restwater, maar wel seizoensafhankelijk beschikbaar. Om deze reden niet volledig hergebruik mogelijk. Slechts enkele fabrieken aanwezig. Kwaliteit kan variëren per stroom (condensaat (hoge pH, vluchtige vetzuren, ammonium en bicarbonaat) versus waswater (stukje biet, grond, wortel) versus water behandeld met AWZI).
Restwater	Restwater melkpoeder	6	3	3	Ruime hoeveelheid beschikbaar water, komt echter vrij in de vorm van damp dus zou gecondenseerd moeten worden voor gebruik. Eventueel reeds plaatsvindend hergebruik is waarschijnlijk (maar niet zeker). Condensaat kan organische stof en ammonium bevatten, maar is daarnaast ook vrij warm (30-40°C).
Restwater	Restwater kaas	7	4	wisselend	Ruime hoeveelheid beschikbaar water. Eventueel reeds plaatsvindend hergebruik is waarschijnlijk (maar niet zeker). Kwaliteit: lagere pH, hoge hoeveelheid organische stof en nutriënten. De kwaliteit van het restwater is afhankelijk van het gebruikte proces voor indikking van de wei. RO behandeld restwater is van relatief goede kwaliteit, kan mogelijk nog wel wat laag moleculaire componenten bevatten.
Restwater	Restwater aardappelverwerking	7	5	2	Ruime hoeveelheid beschikbaar water. Eventueel reeds plaatsvindend hergebruik is waarschijnlijk (maar niet zeker). In het algemeen kan aardappelrestwater de volgende parameters bevatten: deeltjes (zand, silt), hoge gehalten organische stof, nutriënten (stikstof en fosfaat), maar ook micro-organismen (bacteriën).
Brandstoffen	Fossiele brandstoffen: gebouwen	3	1	2	Weinig beschikbaar per puntbron. Kwaliteit relatief slecht (mogelijk verontreinigingen uit omgevingslucht, organische verbindingen (koolwaterstoffen, aldehyden, PAK's, etc.), stikstofoxiden, zwaveloxiden, fijnstof en zware metalen). Verwacht wordt dat op lange termijn fossiele brandstoffen minder ingezet gaan worden.
Brandstoffen	Fossiele brandstoffen: vervoer en transport	3	1	2	Weinig beschikbaar per puntbron. Kwaliteit relatief slecht (mogelijk verontreinigingen uit omgevingslucht, organische verbindingen (koolwaterstoffen, aldehyden, PAK's, etc.), stikstofoxiden, zwaveloxiden, fijnstof en zware metalen). Verwacht wordt dat op lange termijn fossiele brandstoffen minder ingezet gaan worden.
Brandstoffen	Fossiele brandstoffen: tuinbouw	3	1	2	Niet veel beschikbaar per puntbron. Kwaliteit relatief slecht (zware metalen, lage pH en zuren). Verwacht wordt dat op lange termijn fossiele brandstoffen minder ingezet gaan worden. Hergebruik binnen glastuinbouw zelf ligt meer voor de hand dan eventuele externe inzet.
Brandstoffen	Waterstof: verwarming van huishoudens en gebouwen	5	1	4	Weinig beschikbaar per puntbron. Kwaliteit waarschijnlijk relatief goed, maar opgeloste metalen zijn aandachtspunt. Vereist opharding
Brandstoffen	Waterstof: Industrie	8	4	4	Mogelijk relatief grote hoeveelheden constant beschikbaar, meer onderzoek gewenst. Kwaliteit waarschijnlijk relatief goed, maar opgeloste metalen zijn aandachtspunt. Vereist opharding
Brandstoffen	Waterstof: vervoer en transport	5	1	4	Weinig beschikbaar per puntbron. Kwaliteit waarschijnlijk relatief goed, maar opgeloste metalen zijn aandachtspunt. Vereist opharding

Inhoud

Overview table	1
Overzichtstabel	4
Inhoud	7
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Verkennend onderzoek naar alternatieve bronnen	9
1.3 Leeswijzer	9
2 Methoden	10
2.1 Potentiële bronnen	10
2.2 Onderzochte criteria	11
3 Oppervlaktewater	12
3.1 Zeewater	12
3.2 Brak oppervlaktewater	15
3.3 Zoet oppervlaktewater	16
3.4 Ijsbergen	18
3.5 Polderbemalingen	19
4 Water uit de ondergrond	23
4.1 Zout en brak grondwater	23
4.2 Zoet grondwater	26
4.3 Zoet grondwater van onder de zeebodem	28
4.4 Permanente bemalingen en drainage	29
4.5 De onverzadigde zone	32
5 Neerslag	33
5.1 Neerslag van verharde oppervlakken	33
6 Water uit de atmosfeer	38
6.1 Luchtvochtigheid	38
6.2 Mist	48
6.3 Luchtvochtigheid: airconditioning	50
6.4 Luchtvochtigheid: huishoudelijke warmtepompen	52
6.5 Koelen en vriezen	53
7 Restwaterstromen	54
7.1 Restwater uit huishoudens, bedrijven en overheidsgebouwen: RWZI's of lokaal verzameld	54
7.2 Restwater uit industrie: vloeibaar water en damp	59
7.3 Voedselindustrie: Suiker	64
7.4 Zuivelindustrie: Melkpoeder	66
7.5 Voedselindustrie: Kaas	68
7.6 Aardappelverwerking	70

8	Water uit verbrandingsproducten	73
8.1	Verbranding van fossiele brandstoffen in gebouwen	73
8.2	Verbranding van fossiele brandstoffen voor vervoer en transport	76
8.3	Verbranding van fossiele brandstoffen in de tuinbouw	79
8.4	Waterstof als aardgasvervanger in huishoudens en gebouwen	81
8.5	Waterstof in de industrie	83
8.6	Waterstofauto	85
9	Discussie	87
10	Conclusies en aanbevelingen	90
10.1	Conclusies	90
10.2	Aanbevelingen	90
11	Referenties	91

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De huidige bronnen voor het Nederlandse en Belgische drinkwater zijn voornamelijk zoet grondwater en rivierwater. Op dit moment bieden deze bronnen voldoende water voor een betrouwbare drinkwatervoorziening voor huishoudens en bedrijven.

Trends zoals klimaatverandering en verontreiniging kunnen echter de beschikbaarheid van deze bronnen tijdelijk of permanent verkleinen of meer eisen stellen aan de zuivering. Huidige maatschappelijke trends vragen daarnaast om meer oog voor duurzaamheid en circulariteit. Ook ontstaan initiatieven waarmee huishoudens in hun eigen watervraag kunnen voorzien, bijvoorbeeld door regenwater te gebruiken voor de wasmachine of het toilet of zelfs als drinkwater (Installatie.nl, 2018; Mijn Waterfabriek, 2018; Vereniging Eigen Huis, 2018). Bovendien staat de techniek niet stil. Nieuwe of verbeterde zuiveringstechnieken kunnen er voor zorgen dat bronnen die voorheen niet gebruikt konden worden voor drinkwater, wegens onvoldoende zuiveringsmogelijkheden of te hoge kosten, nu of in de nabije toekomst wel een veilige en kostenefficiënte bron van drinkwater kunnen vormen.

In verband met bovenstaande trends is het wenselijk dat de Nederlandse en Belgische drinkwatersector zich tijdig oriënteert op mogelijk kansrijke nieuwe bronnen voor drinkwater. In andere landen, zoals Australië, zijn drinkwaterbedrijven al bezig met het verkennen van alternatieve waterbronnen (Melbourne Water, 2018).

1.2 Verkennend onderzoek naar alternatieve bronnen

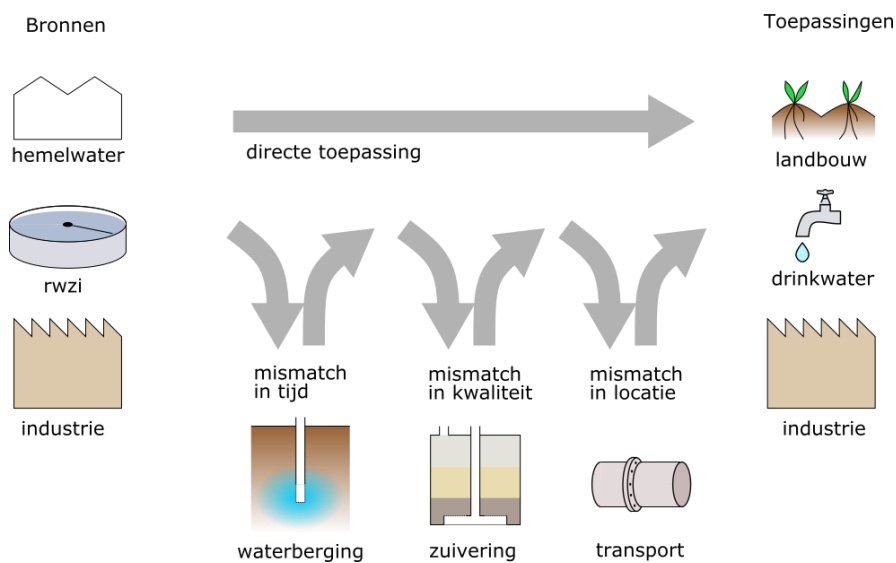
Binnen het BTO wordt in opdracht van de BTO participanten verkennend onderzoek verricht naar mogelijke alternatieve bronnen voor drinkwater. De eerste stap van dit onderzoek bestaat uit een inventarisatie van zoveel mogelijk denkbare bronnen van water. Voor deze bronnen is kort onderzocht hoe kansrijk ze zijn voor het gebruik als drinkwater, op basis van de beschikbaarheid of winbaarheid, kwaliteit en de perceptie, voor zover hier gegevens van bekend zijn.

1.3 Leeswijzer

Dit achtergronddocument biedt nadere informatie over de bronnen die genoemd zijn in de overzichtstabel (aan het begin van dit document). In Hoofdstuk 2 is nader uiteengezet welke gegevens voor iedere bron verzameld zijn en in de daaropvolgende hoofdstukken zijn deze gegevens per bron beschreven.

2 Methoden

Bronnen van water kunnen sterk van elkaar verschillen in (onder andere) beschikbaarheid en kwaliteit. Drinkwater moet voldoende beschikbaar zijn op de juiste plaats en tijd en moet van zeer hoge kwaliteit zijn (zowel feitelijk als gepercipieerd). Bronnen die kansrijk zijn voor de productie van drinkwater hebben deze eigenschappen reeds, of kunnen deze eigenschappen middels maatregelen op een kosteneffectieve en duurzame wijze bereiken (Figuur 2-1). Voorbeelden van deze maatregelen zijn tijdelijke opslag, transport en zuivering.



FIGUUR 2-1. AFHANKELIJK VAN BRON EN TOEPASSING KAN WATER DIRECT GEBRUIKT WORDEN, OF IS HET NODIG OM HET TIJDELIJK TE BERGEN, TE ZUIVEREN EN/OF TE TRANSPORTEREN VOORDAT HET GEBRUIKT KAN WORDEN. AANGEPAST NAAR ROEX ET AL. (2017).

Om tot een eerste overzicht te komen van verschillende mogelijke bronnen is een overzichtstabel samengesteld. In deze tabel zijn zoveel mogelijk denkbare bronnen ingedeeld in categorieën. Vervolgens is literatuuronderzoek verricht naar de beschikbaarheid, kwaliteit en perceptie van deze bronnen. Hoewel deze informatie niet van alle bronnen (volledig) beschikbaar is, biedt deze overzichtstabel een startpunt voor de identificatie van bronnen die mogelijk kansrijk zijn voor de productie van drinkwater.

2.1 Potentiële bronnen

De lijst van potentiële bronnen is samengesteld uit veel denkbare bronnen van water in de natuurlijke leefomgeving en waterstromen die betrokken zijn bij menselijke activiteiten. Vergelijkbare bronnen kunnen van elkaar verschillen op het gebied van kwaliteit, locatie, winmethode en/of schaal. Om deze reden is er soms sprake van overlap tussen verschillende bronnen. Voorbeelden van overlap tussen verschillende bronnen:

- Kwaliteit: zoet of zout grondwater

- Locatie: water uit de verbranding van waterstof in een waterstofauto of in een ketel ter verwarming van een huishouden
- Winmethode: winning van water uit de atmosfeer door een airco, een koelkast of een speciaal aangelegde installatie
- Schaal: restwater van individuele huishoudens of een RWZI

Waar relevant geacht zijn overlappende bronnen apart behandeld. De potentiële bronnen zijn ingedeeld naar herkomst:

- Oppervlaktewater
- Water uit de ondergrond
- Neerslag
- Water uit de atmosfeer
- Restwaterstromen
- Water uit verbrandingsproducten

2.2 Onderzochte criteria

Voor iedere bron is bekeken hoeveel water er beschikbaar en/of winbaar zou kunnen zijn en van welke kwaliteit dit is. De getallen zijn zoveel mogelijk uit literatuur verkregen, maar kunnen ook geschat of berekend zijn op basis van beschikbare data.

2.2.1 Beschikbaarheid en/of winbaarheid

De hoeveelheid water die kan worden verkregen uit een bron is een belangrijk criterium bij de inschatting van de slaagkans van een bron. Hierbij is gekeken naar (indien van toepassing):

- De absolute beschikbaarheid:
- De winbare hoeveelheid. Afhankelijk van de gebruikte winmethode kan de winbare hoeveelheid sterk verschillen van de absolute beschikbaarheid.
- De beschikbaarheid over de tijd. Bronnen van water kunnen constant beschikbaar zijn of variëren in de tijd. Hierbij kan gedacht worden aan de variatie van neerslag over de tijd of de seizoensafhankelijkheid van water dat bijvoorbeeld afkomstig is uit landbouwproducten.
- De beschikbaarheid over de ruimte en de schaal (diffuus of puntbron).
- Het aantal puntbronnen
- De beschikbaarheid van water per puntbron. In het geval van puntbronnen kan het bij een zelfde beschikbaarheid voor zuiverings- en distributiemogelijkheden sterk uitmaken of er op één plek veel water beschikbaar is of op veel plekken weinig water.

2.2.2 Kwaliteit

De kwaliteit van het water bepaalt hoeveel en welk type zuivering nodig is om er drinkwater van te maken. Voor deze eerste inventarisatie is voornamelijk gekeken naar microbiologische parameters (bacteriën, virussen), deeltjes, organisch materiaal, pH, redox condities (aeroob/anaeroob), saliniteit en antropogene verontreinigingen (stoffen zoals medicijnresten, gewasbeschermingsmiddelen en industriële afvalproducten).

2.2.3 Perceptie

Perceptie kan een aandachtspunt zijn wanneer het gaat om alternatieve bronnen voor drinkwater. Hoewel dit punt voor alle bronnen is onderzocht, zijn slechts voor enkele bronnen resultaten gevonden.

3 Oppervlaktewater

3.1 Zeewater

In Nederland en België wordt zeewater voor zover bekend niet gebruikt voor de productie van drinkwater. In gebieden met beperkte hoeveelheden beschikbaar zoetwater, bijvoorbeeld eilanden of woestijngebieden aan de kust, wordt zeewater echter wel gebruikt om drinkwater van te maken. De belangrijkste stap hierbij is de ontzilting van het zeewater. Er bestaan verschillende methoden om zeewater te ontzilten, waarvan omgekeerde osmose (sea water reverse osmosis, SWRO) de populairste is (Greenlee et al., 2009). Hoewel deze technologie de laatste jaren een sterke ontwikkeling heeft ondergaan, is het energieverbruik (vergeleken met zoetwaterbehandeling) nog steeds een belangrijk nadeel (Elimelech & Phillip, 2011).

3.1.1 Potentieel beschikbaar water

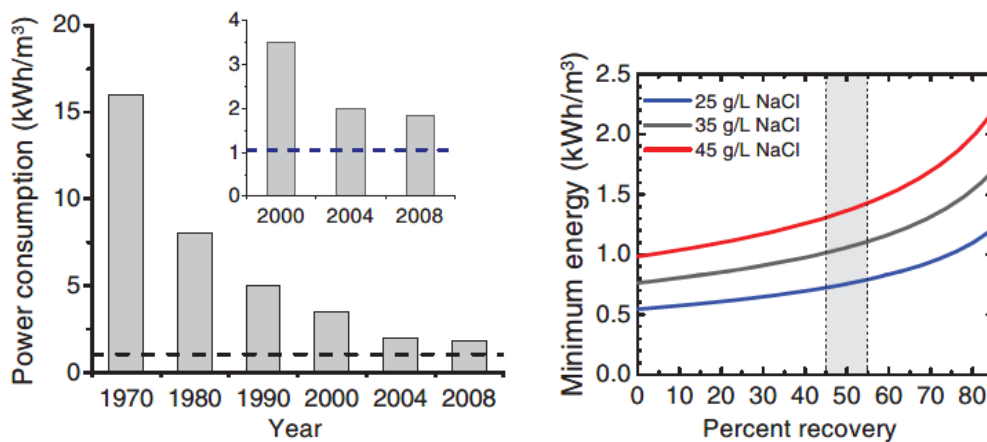
Zeewater is in zeer grote hoeveelheden beschikbaar aan de kustlijn van Nederland en België en kent geen beperkingen in de beschikbaarheid over de tijd. Winning zou qua kwantiteit geen problemen moeten opleveren, gezien het zeer grote aanwezige volume en omdat het gebruikte water weer relatief snel de zee in stroomt (afvoer van effluent via boezems en rivieren naar zee).

3.1.2 Kwaliteit

De belangrijkste kwaliteitsparameter voor zeewater is de saliniteit van ongeveer 35 g/L, waardoor het noodzakelijk is om het water te ontzilten voordat het gebruikt kan worden als drinkwater. Ontzilting middels SWRO kent een relatief hoog energieverbruik. Hoewel dit verbruik over de jaren heen steeds gedaald is, zal er altijd een significante hoeveelheid energie nodig blijven om zeewater te ontzilten (Figuur 3-1.).

Afhankelijk van de ligging (nabij estuarium of niet) en menselijke activiteiten (lozing en vervuiling vanaf land of schepen) kan zeewater daarnaast antropogene verontreinigingen bevatten. Sommige verontreinigende stoffen (waarvan de moleculen kleiner zijn van water) worden niet (volledig) door omgekeerde osmose uit het water gefilterd. Daarnaast moet er rekening mee gehouden worden dat aanwezige zwevende deeltjes (zoals sediment en organisch materiaal) problemen kunnen opleveren bij de toepassing van RO. Voordat het water behandeld kan worden met RO is er daarom vaak een voorzuivering nodig.

Als restproduct van SWRO ontstaat een concentraatstroom van ingedikt zeewater. In de meeste gevallen wordt deze reststroom in zee geloosd (Greenlee et al., 2009) indien dit door lokale wet- en regelgeving wordt toegestaan.



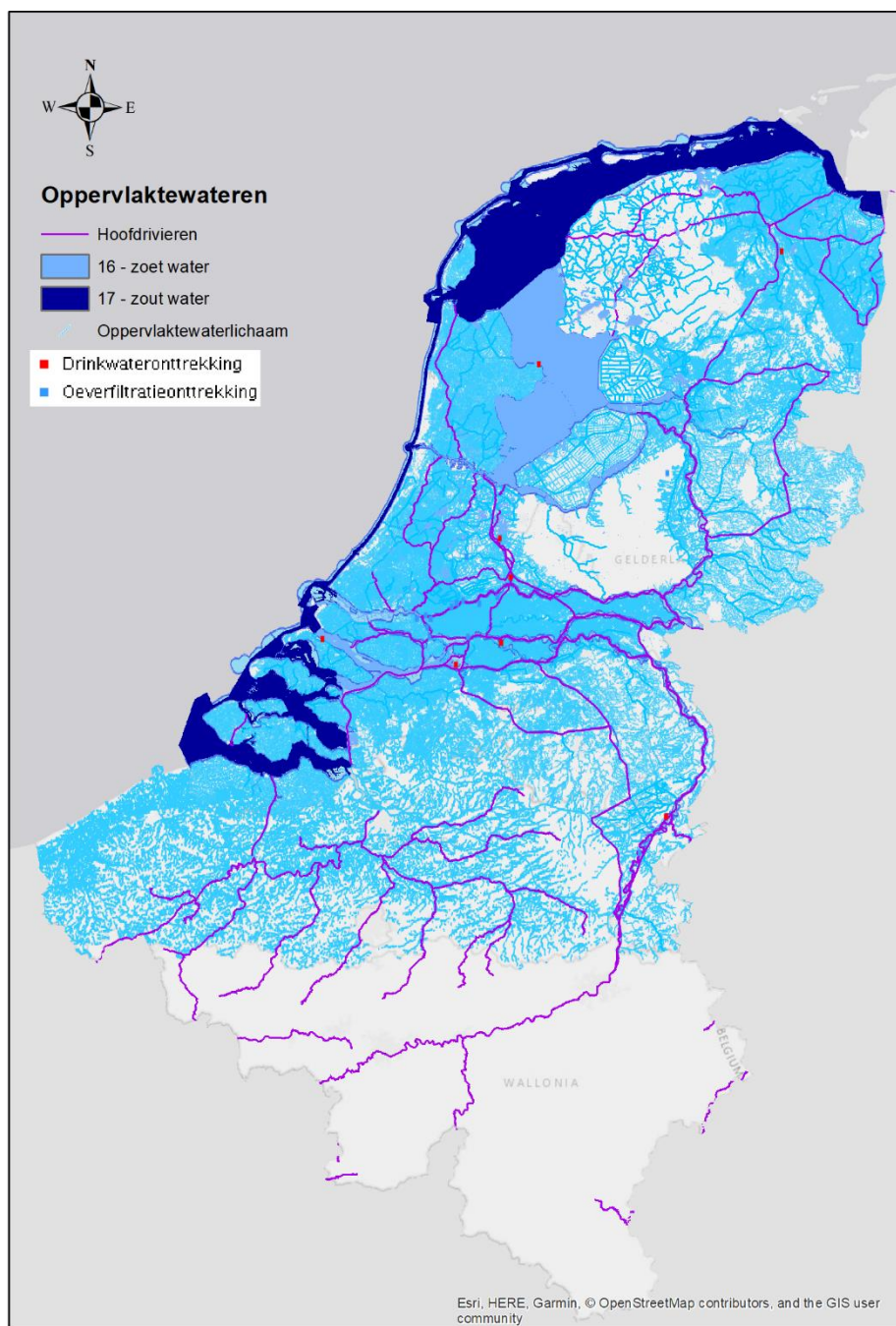
FIGUUR 3-1. ENERGIEVERBRUIK VAN SWRO VANAF 1970 (LINKS) EN DE THEORETISCHE MINIMALE HOEVELHEID BENODIGDE ENERGIE OM WATER VAN VERSCHILLENDE ZOUTGEHALTEN TE ONTZILTEN (RECHTS) (BRON: ELIMELECH & PHILLIP (2011)).

3.1.3 Perceptie

Er is geen literatuur gevonden met betrekking tot de perceptie van zeewater als drinkwater onder Nederlanders of Belgen. In Australië is dit wel onderzocht (Dolnicar & Schäfer, 2009). Hier werd ontzilt zeewater initieel vooral gezien als een niet-duurzame bron van drinkwater. Na jaren van intense droogte en bijbehorende beperkingen in het waterverbruik is de weerstand voor het gebruik van alternatieve waterbronnen (waaronder zeewater en restwater) voor niet-drinkwatergebruik afgenomen. In een andere studie geven respondenten aan dat zij drinkwater uit alternatieve bronnen, zoals zeewater, zouden drinken als de schaarste verder zou toenemen (Dolnicar & Hurlimann, 2009).

3.1.4 Samengevat

Zeewater is op zeer grote schaal beschikbaar. Het hoge energieverbruik van ontziltingsinstallaties vormt barrière, hoewel het energieverbruik de afgelopen jaren sterk daalt.



FIGUUR 3-2. OVERZICHT VAN OPPERVLAKTEWATEREN IN NEDERLAND EN VLAANDEREN (N.B. KAART IS NIET COMPLEET VOOR FRIESLAND) EN DRINKWATERONTTREKKINGEN UIT OPPERVLAKTEWATER. BRONNEN: LGN6, GEOPUNT.BE, NATIONAAL GEOREGISTER.

3.2 Brak oppervlaktewater

3.2.1 Potentieel beschikbaar water

Brak oppervlaktewater is beschikbaar rondom de estuaria, daar waar de rivieren in de zee uitmonden. De afstand en locatie waarover het rivierwater brak is, hangen af van de (seizoensafhankelijke) rivierafvoer en de getijdeniveaus van de zee. Als er op één bepaalde plek gewonnen zou worden, zou de kwaliteit (zoutgehalte) over de tijd verschillen. De totale beschikbare hoeveelheid brakwater zou grofweg van dezelfde ordegrootte of iets meer moeten zijn als de afvoer van de rivieren (3.3.1).

3.2.2 Kwaliteit

Brak oppervlaktewater uit de estuaria kenmerkt zich door verhoogde chlorideconcentraties (afhankelijk van de invloed tot de zee kunnen deze variëren van 500 mg/l tot vrijwel volledig zeewaterkwaliteit. Daarnaast bevat dit water antropogene verontreinigingen, zoals deze ook te vinden zijn in zoet rivierwater (3.3.2).

Aangezien de zoutconcentratie van brakwater lager ligt dan van zeewater, kost ontzilten middels brakwater RO (BWRO) minder energie dan bij zeewater het geval is. Wel moet er rekening mee worden gehouden dat er momenten kunnen zijn waarop puur zeewater wordt ingenomen (afhankelijk van de locatie van het innamepunt). Het membraan moet hierop ontworpen zijn. Sommige verontreinigingen (waarvan de moleculen kleiner zijn dan water) worden echter niet (volledig) door omgekeerde osmose uit het water gefilterd. Daarnaast moet er rekening mee gehouden worden dat aanwezige zwevende deeltjes (zoals sediment en organisch materiaal) problemen kunnen opleveren bij de toepassing van RO. Bij de winning van brak oppervlaktewater kunnen fluctuerende zoutgehalten van toepassing zijn, waardoor de zuivering waarschijnlijk minder efficiënt verloopt.

3.2.3 Perceptie

Er zijn geen gegevens beschikbaar omtrent de perceptie van het bereiden van drinkwater uit brak oppervlaktewater. Verwacht wordt dat de perceptie weinig zal afwijken van het gebruik van zoet oppervlaktewater.

3.2.4 Samengevat

Brak grondwater is relatief ruim beschikbaar, maar winbaarheid/kwaliteit variëren over de tijd.

3.3 Zoet oppervlaktewater

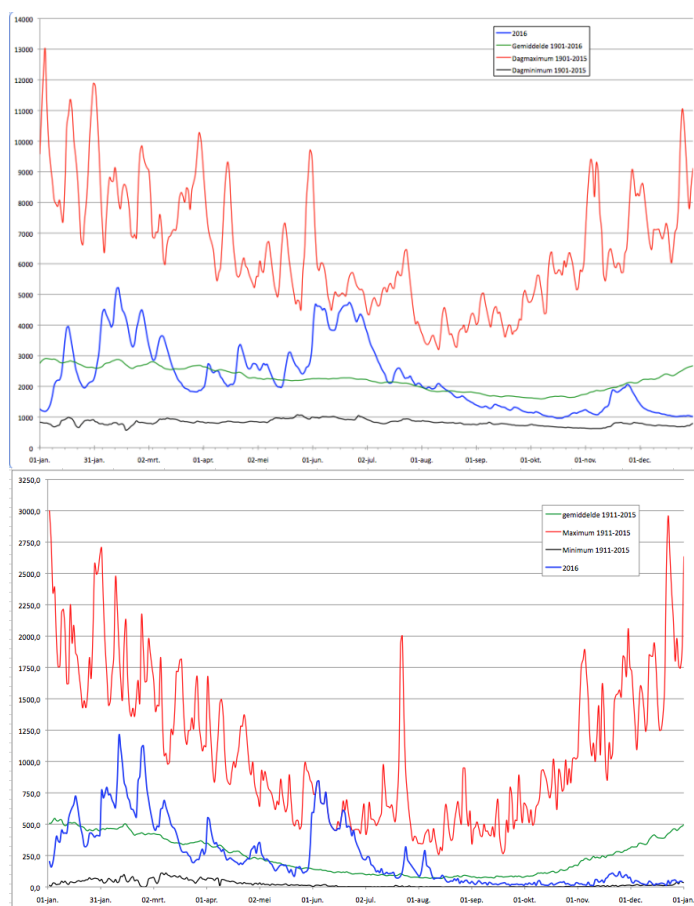
Hoewel zoet oppervlaktewater in Nederland en België reeds gebruikt wordt als bron voor drinkwater, wordt deze bron in dit document toch besproken. In gebieden waar op dit moment grondwater de belangrijkste bron van drinkwater vormt, zou oppervlaktewater namelijk een mogelijke aanvullende/alternatieve bron zijn.

Voor de winning van drinkwater wordt water uit de grote rivieren of het IJsselmeer gewonnen. In veel gevallen wordt het eerst tijdelijk opgeslagen in spaarbekkens of vindt er duinpassage plaats voordat er drinkwater van wordt gemaakt.

3.3.1 Potentieel beschikbaar water

De grote rivieren (Maas en Rijn en Schelde) voeren het neerslagoverschot af van hun stroomgebieden die zich uitstrekken over delen van Duitsland, België, Zwitserland en Frankrijk (Figuur 3-2). Via de Rijn en de Maas wordt jaarlijks zo'n 70 km³ afgevoerd (<https://www.waterpeilen.nl/extremen/jaaroverzicht-rijn-en-maas-2016>). De Maas en de Rijn kennen seizoensafhankelijke afvoerpatronen die vaak hoger zijn in de winter en het voorjaar in verband met neerslagoverschot en smeltwater (Figuur 3-3).

De afvoer van de Schelde kenmerkt zich ook door patronen van neerslagtekort/overschot en bedraagt ongeveer 3.6 km³/jaar (Internationale Scheldec commissie, 2018).



FIGUUR 3-3. AFVOER VAN DE RIJN (BOVEN) EN DE MAAS ONDER IN 2016 (BLAUW), MET DE GEMIDDELDE (GROEN), MAXIMALE (ROOD) EN MINIMALE (GRIJS) AFVOEREN OVER DE PERIODE 1911-2015 (BRON: WWW.WATERPEILEN.NL).

Naast drinkwater kan rivierwater uiteraard ook voor andere doelen ingezet worden, waardoor slechts een beperkt deel van het rivierwater gebruikt zou kunnen worden voor drinkwaterproductie. Figuur 3-4 geeft de prioritering van het gebruik van zoetwater weer in tijden van droogte. De hoeveelheid drinkwater die uit rivierwater gewonnen kan worden, wordt in de praktijk echter meer beperkt door de kwaliteit dan door het beschikbare volume (zie sectie 3.3.2).



FIGUUR 3-4. DE VERDRINGINGSREEKS VOOR DE VERDELING VAN ZOETWATER IN GEVAL VAN WATERTEKORT (INFOMIL, 2018B).

3.3.2 Kwaliteit

De kwaliteit van het rivierwater kan sterk variëren over de tijd, door onder andere:

- Debiet van de rivier
- Type rivier (regenwaterrivier of gemengde rivier)
- Waterstand rivier
- Neerslagpatronen (regenrivier, gemengde rivier)
- Temperatuur (smeltwater gletsjers, seizoenen, gebruik koelwater)
- Landbouwactiviteiten (nutriënten, gewasbeschermingsmiddelen)
- Industrie (lozingen)
- Steden en dorpen: lozingen van restwater zoals gezuiverd afvalwatereffluent (en het aandeel hiervan ten opzichte van het debiet van de rivier) en overstorten.

Hoewel men bij het gebruik van rivierwater rekening moet houden met stoffen die van nature in het water voorkomen (organisch materiaal, hardheid, slib, etc.), zijn vooral antropogene stoffen (zoals resten van geneesmiddelen, industriële chemicaliën) en pathogenen/virussen/bacteriën die in het water kunnen voorkomen een punt van zorg. Rivierwater wordt zeer regelmatig gemonitord op verschillende verontreinigingen. Indien er sprake is van overschrijdingen, bijvoorbeeld door lozingen, kunnen er innamestops plaatsvinden.

3.3.3 Perceptie

Er is geen literatuur gezocht over de perceptie van het gebruik van rivierwater als drinkwater aangezien dit reeds in de praktijk wordt gebracht en dus algemeen geaccepteerd is.

3.3.4 Samengevat

Deze bron wordt reeds benut. Door wisselende kwaliteit kan deze bron echter onder druk komen te staan, waardoor innamestops plaatsvinden.

3.4 Ijsbergen

Een groot deel van de zoetwatervoorraden op aarde bevindt zich in landijs en ijsbergen en –plateaus op zee. Ijsbergen ontstaan wanneer een grote brok ijs van een gletsjer op het land afbreekt en in zee valt. Een bekend gebied voor het ontstaan van ijsbergen is de westkust van Groenland. Een deel van de ijsbergen die daar in zee terecht komen, stroomt met de zeestroming zuidwaarts. In de media is de afgelopen jaren aandacht besteed aan ideeën om water uit ijsbergen als drinkwater te gebruiken, zowel voor Nederland (Het Parool, 2008) als voor het buitenland (Business Insider, 2018; VRT, 2017). De ijsbergen worden vanuit de poolregio met sleepboten naar het land van gebruik verslept of los ijs wordt op boten geladen. Uit het smeltwater wordt drinkwater geproduceerd, waar men bijvoorbeeld flessen mee vult om te verkopen als ‘zeer zuiver’ water.

3.4.1 Potentieel beschikbaar water

Het is niet bekend hoeveel ijsbergen er zijn die potentieel geschikt zouden kunnen zijn om te transporteren en drinkwater uit te bereiden. Geschat wordt dat de volumes relatief groot zijn, in de orde van grootte van miljoenen kubieke meters per ijsberg. Hoeveel water hieruit (in totaal en per jaar) in potentie gewonnen zou kunnen worden is niet bekend. Het water zou uit deze puntbron over het gehele jaar beschikbaar zijn, hoewel er meer water zal smelten wanneer er sprake is van hogere temperaturen.

Het transport en de winning van dit water zou zeer grote technische uitdagingen vormen (speciale schepen en kabels) en dit zou zeer hoge kosten inhouden, waardoor de prijs per liter zeer hoog zou zijn. Daarnaast zou onderzocht moeten worden hoe duurzaam een dergelijke wijze van waterwinning is, bijvoorbeeld op het gebied van energie en klimaat.

3.4.2 Kwaliteit

Ijsbergen zijn oorspronkelijk gevormd uit samengeperste sneeuw en bevatten zoet water. De meeste ijsbergen zijn duizenden jaren geleden gevormd en bevatten daarom geen antropogene verontreinigingen. Wel moet er rekening mee worden gehouden dat het ijs en het smeltwater blootgesteld zijn aan de atmosfeer en eventueel ook aan zeewater, waarbij mogelijk verontreiniging optreedt.

3.4.3 Perceptie

Er is geen literatuur bekend over de perceptie van het gebruik van ijsbergen voor de productie van drinkwater. Wel kan verondersteld worden dat de duurzaamheid van deze oplossing ter discussie gesteld zal worden.

3.4.4 Samengevat

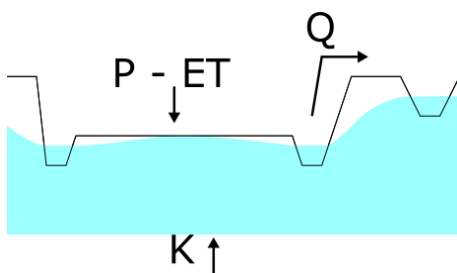
Vraagstukken rondom technische haalbaarheid en duurzaamheid zijn niet beantwoord, waardoor de kansrijkheid op dit moment wordt ingeschat als laag.

3.5 Polderbemalingen

Het landschap van laag Nederland staat bekend om haar polders en droogmakerijen. Ook in België is deze landschapsvorm in laaggelegen gebieden te vinden. In deze gebieden wordt het waterniveau constant gehouden door water uit te malen of (tijdens droge perioden) aan te voeren. Via het boezemsysteem wordt het uitgemalen water relatief snel afgevoerd naar zee. Op dit moment wordt uitgemalen polderwater voor zover bekend niet direct gebruikt voor de productie van drinkwater.

3.5.1 Potentieel beschikbaar water

De hoeveelheid water die over de tijd uit een polder gemalen wordt, hangt af van de waterbalans van de polder. Grofweg bestaat deze uit neerslag, verdamping, kwel (of wegzijging) en aan- of afvoer (Figuur 3-5). Daarnaast kunnen er additionele (vaak kleinere) fluxen zijn zoals lozingen of onttrekkingen van het slotwater.

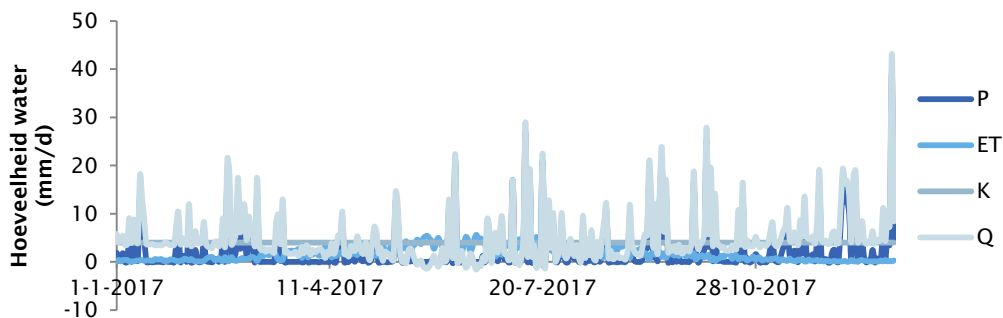


FIGUUR 3-5. GROVE SCHEMATISATIE VAN DE WATERBALANS VAN EEN POLDER. P: NEERSLAG, ET: EVAPOTRANSPIRATIE, K: KWEL (NEGATIEF = WEGZIJGING) EN Q: AFVOER (OF AANVOER).

Met behulp van dagmetingen van neerslag en potentiële evapotranspiratie kan geschat worden hoeveel water uit een polder wordt gemalen (Figuur 3-6). Afhankelijk van de kwelflux kan deze stroom een aantal duizend kubieke meters per jaar betekenen (Tabel 3-1). De grootte van deze stroom is sterk afhankelijk van de tijd; tijdens droge perioden is het mogelijk dat er voor langere tijd geen water uit de polders wordt gemalen, of dat er juist water aangevoerd moet worden (Figuur 3-7).

De polders in Nederland en België liggen verspreid over de laaggelegen gebieden nabij de kust en de grote rivieren (Figuur 3-8). Nederland bestaat voor zo'n 55% uit ingedijkt gebied, verdeeld over 132 grote en kleine dijkkringen (Rijkswaterstaat, 2018). Een zoekopdracht in de inventarisatie van de Nederlandse Gemalen Stichting (De Nederlandse Gemalen Stichting, 2018) resulteerde in een overzicht van 1802 grote en (zeer) kleine gemalen die in bedrijf zijn in Nederland. Deze gemalen bevinden zich verspreid over de polders in een getrapte of geneste configuratie. Bij een gelijke verdeling van gemalen over de polders zou een afvoer in de orde grootte van enkele tot enkele tientallen Mm^3/jaar per gemaal te verwachten zijn. Door ruimtelijke variatie en geneste systemen zijn er echter veel grotere variaties in afvoer te verwachten.

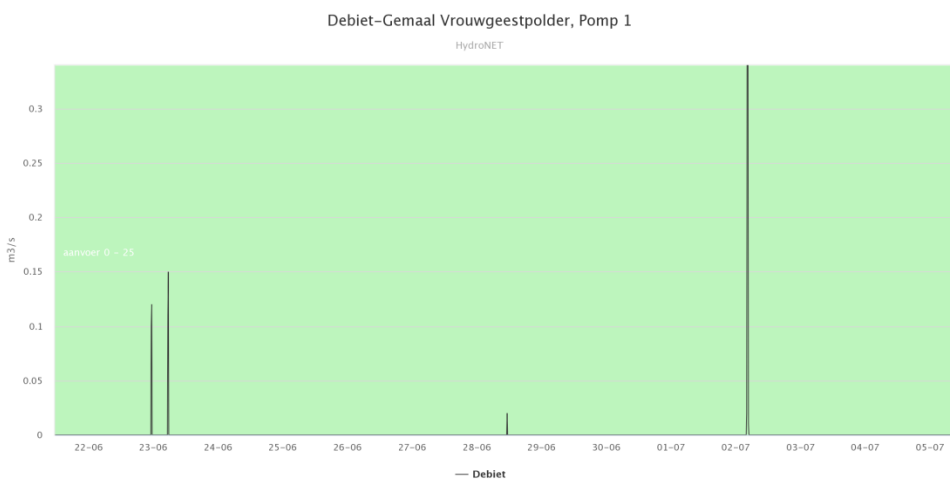
Of het grootschalig winnen van uitgemalen polderwater problemen zou veroorzaken hangt af van eventueel ander gebruik van dit water. In gebieden waar polderwater snel via het boezemsysteem op de zee wordt geloosd, zouden er weinig problemen te verwachten zijn. De totale afvoer zal op termijn namelijk weinig veranderen, omdat het gebruikte drinkwater grotendeels weer via de RWZI en het oppervlaktewater naar zee zal stromen.



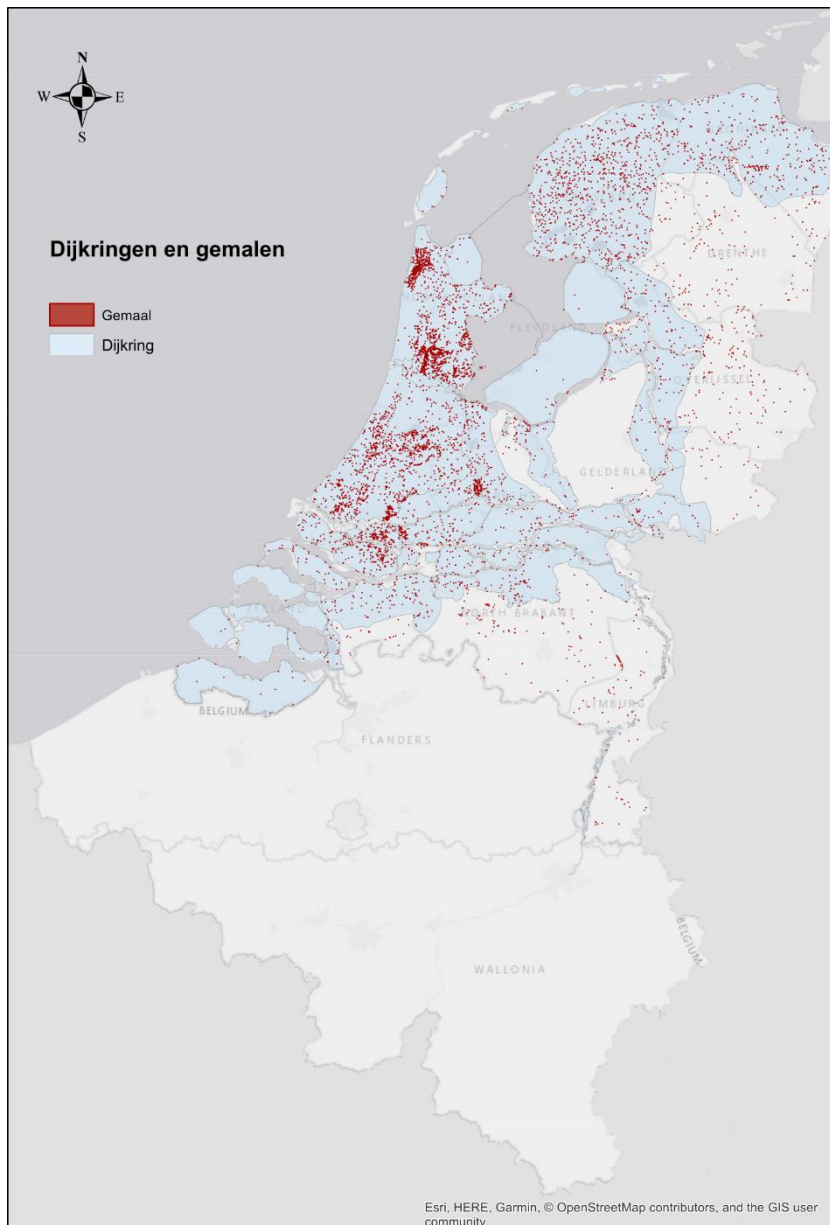
FIGUUR 3-6. SCHATTING VAN DE AFVOER (POSITIEF) EN AANVOER (NEGATIEF) VAN WATER IN EEN FICTIEVE POLDER OP BASIS VAN DAGMETINGEN VAN NEERSLAG (P), POTENTIELE EVAPOTRANSPIRATIE (ET) (KNMI) EN EEN GEMIDDELDE KWELFUX VAN 2 MM DAG.

TABEL 3-1. SCHATTING VAN DE JAARLIJKSE AFVOER UIT POLDERS MET VERSCHILLENDE KWELFLUXEN. IN DEZE BEREKENING IS AANVOER VAN WATER (UIT HET BOEZEMSTELSE NAAR DE POLDER) NIET MEEGEREKEND.

Kwel (mm/d)	Bemaling mm/d	m ³ /j per ha
2	2.8	11590
0	0.8	7312
-2 (wegzijging)	-1.2	5139



FIGUUR 3-7. GEMETEN AANVOER VAN WATER IN VROUWGEESTPOLDER TIJDENS EEN DROGE PERIODE (JUNI - JULI 2018) (BRON: (HOOGHEEMRAADSCHAP VAN RIJNLAND, 2018)).



FIGUUR 3-8 GEMALLEN EN DIJKRINGEN IN NEDERLAND (BRONNEN: RWS VIA NATIONAAL GEOREGISTER EN BGT). VOOR BELGIE ZIJN GEEN GEGEVENS GEVONDEN.

3.5.2 Kwaliteit

De kwaliteit van het polderwater verschilt sterk per locatie en kan ook over de tijd variëren, wegens een wisselende samenstelling. Polderwater is doorgaans een combinatie van:

- Neerslag
- Afvoer van percelen. Afhankelijk van de aanwezige activiteiten kan dit water verontreinigd zijn met nutriënten, gewasbeschermingsmiddelen en andere antropogene verontreinigingen.
- Kwelwater. Afhankelijk van de locatie kan het kwelwater zoet, brak of zout zijn.
- Effluent uit RWZI's of eventuele directe lozingen door huishoudens of bedrijven.

Hoewel de kwaliteit van het polderwater per polder zeer sterk kan verschillen, kan over het algemeen gesteld worden dat er in polders vaak sprake is van verontreiniging met nutriënten of andere verontreinigende (zoals antropogene) stoffen. Hierdoor voldoet het water in

polders in veel gevallen niet aan de chemische eisen voor de Kaderrichtlijn Water (Waterkwaliteitsportaal, 2015). In polders met brakke of zoute kwel kan het oppervlaktewater daarnaast relatief veel zouten bevatten.

Afhankelijk van de seizoenen, maar ook weersomstandigheden en dag/nachtritmes kan de samenstelling van het polderwater, en daarom ook de kwaliteit, sterk over de tijd variëren (van der Grift et al., 2016).

3.5.3 Perceptie

Er is geen informatie bekend omtrent de perceptie rondom het gebruik van polderwater voor de bereiding van drinkwater.

3.5.4 Samengevat

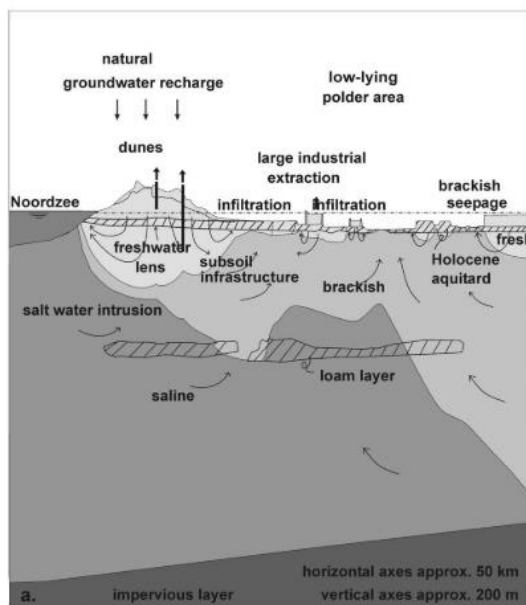
Sterk wisselende beschikbaarheid en kwaliteit. Vooral tijdens het zomerseizoen (grote drinkwatervraag) staat deze bron onder druk, waardoor de kansrijkheid relatief laag wordt geacht.

4 Water uit de ondergrond

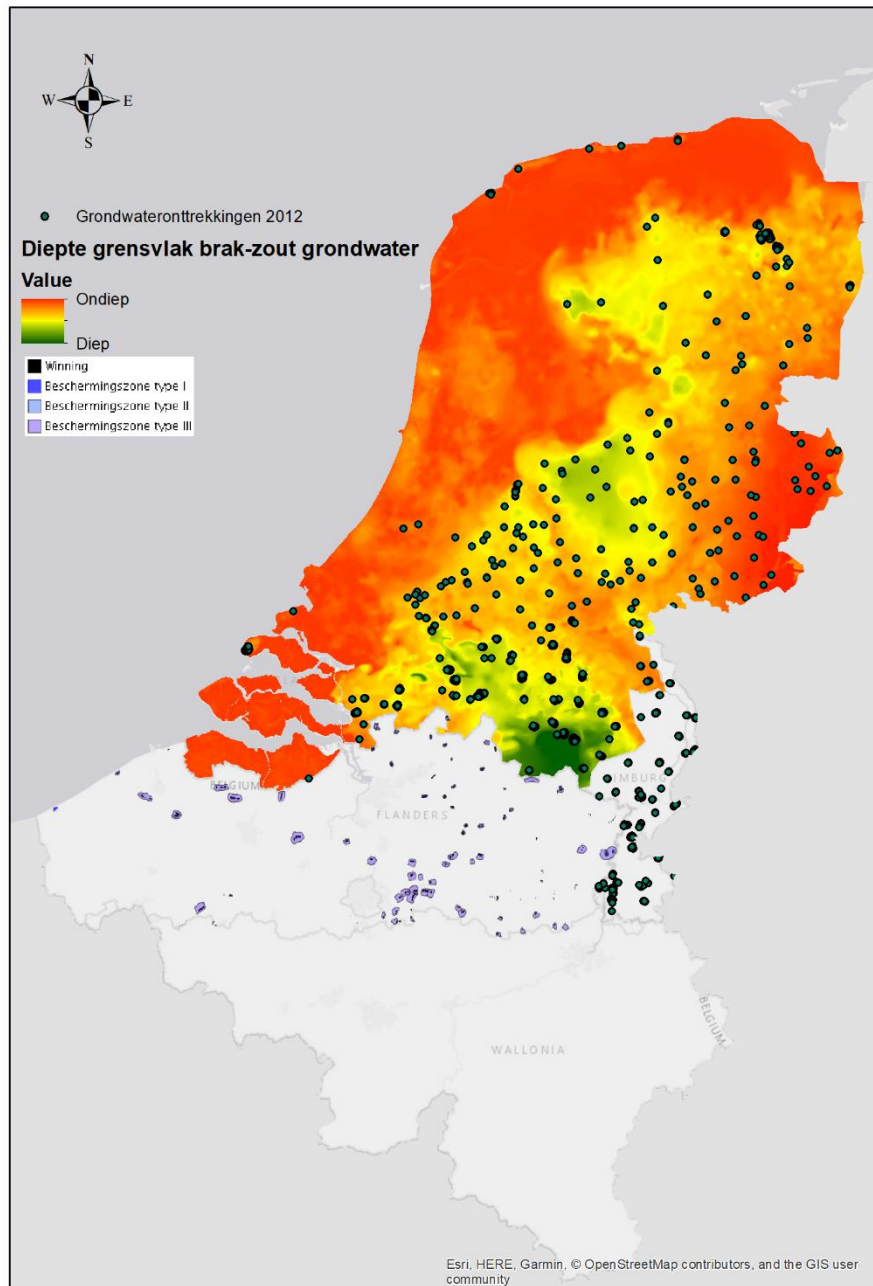
4.1 Zout en brak grondwater

In grote delen van het Nederlandse kustgebied is het diepere grondwater brak tot zout als gevolg van overstromingen door een veranderende zeespiegel tijdens het Holoceen. Op veel plaatsen ligt dit water in de diepere ondergrond en blijft het daar ook, mede dankzij de dichtheidsverschillen tussen zoet en zout water (Figuur 4-1). In diepe polders en droogmakerijen waar kwel (opwaartse grondwaterstroming) plaatsvindt kan het brakke of zoute water naar het oppervlak komen, waar het via sloten wordt afgevoerd. Brakke of zoute kwel kan een probleem vormen voor de landbouw, omdat blootstelling hieraan de groei van veel gewassen belemmert of zelfs schade aanricht. Verwacht wordt dat door trends zoals klimaatverandering, bodemdaling en zeespiegelstijging deze problematiek zal toenemen (Oude Essink et al., 2010).

Zout en brak grondwater wordt van oudsher niet gebruikt voor de bereiding van drinkwater, omdat hiervoor ontzilting nodig is en de benodigde technologie tot een aantal jaar geleden relatief duur was. Recentelijk zijn onderzoeksinitiatieven ontstaan om brakwater te winnen onder polders om verzilting tegen te gaan en dit water na ontzilting in te zetten als drinkwater, zoals 'Temmen van brakke kwel' (Waternet, 2017) en COASTAR (Stofberg et al., 2018).



FIGUUR 4-1. CONCEPTUELE DOORSNEDEN VAN HET NEDERLANDSE KUSTGEBIED MET ZOET (LICHTGRIJS), BRAK (MIDDELGRIJS) EN ZOUT (DONKERGRIJS) GRONDWATER. BRON: (OUDE ESSINK ET AL., 2010).



FIGUUR 4-2 GRONDWATERONTTREKKINGEN IN NEDERLAND EN VLAANDEREN EN INDICATIEVE KAART VAN DE DIEPTE VAN HET GRENsvlak TUSSEN BRAK EN ZOUT GRONDWATER. BRONNEN: KWR, GEOPUNT.BE EN DELTARES VIA REGIS.

4.1.1 Potentieel beschikbaar water

De voorraden van brak en zout grondwater zijn relatief groot, hoewel het lastig te zeggen is hoeveel er precies beschikbaar is. Wanneer grondwater gewonnen wordt, ontstaat er ruimte voor extra aanvulling van bovenaf. Afhankelijk van de winlocatie en hydrogeologie is de aanvulling afkomstig uit de zee (zout) of vanaf het landoppervlak (doorgaans zoet).

Brakke en zoute grondwatervoorraden zijn beschikbaar onder een groot deel van Nederland, maar hoe verder landinwaarts, hoe dieper de voorraden zich bevinden (Figuur 4-2). De

voorraden zouden jaarrond gewonnen kunnen worden middels grondwaterbronnen, waarbij het gunstiger is om uit minder grote diepten te winnen op locaties waarbij de winning kan bijdragen aan een vermindering van de verzilting. Hierbij moet ook rekening gehouden worden met de concentraatstroom die vrijkomt bij de ontzilting van het brakke of zoute grondwater.

4.1.2 Kwaliteit

De belangrijkste kwaliteitsparameter voor brak en zout grondwater is het zoutgehalte. Om brak of zout grondwater te kunnen gebruiken voor de bereiding van drinkwater zal het ontzilt moeten worden. In secties 3.1 en 3.2 is dieper ingegaan op de ontzilting van brak en zout water. Belangrijk hierbij is dat het meer energie en geld kost om zout (zee)water te ontzilten dan om brakwater te ontzilten.

Naast zout kan het grondwater andere verontreinigingen bevatten die van nature in grondwater voorkomen, zoals bijvoorbeeld arseen of ammonium. De kans op aanwezigheid van antropogene verontreinigingen (medicijnresten en beschermingsmiddelen) is klein, omdat veel van de voorraden brak en zout grondwater zich al duizenden jaren in de ondergrond bevinden en niet blootgesteld zijn aan menselijke activiteiten. Tevens is beluchting van het grondwater nodig om eventueel aanwezig ijzer/mangaan uit het water te verwijderen (afhankelijk van hoe gereduceerd de condities zijn).

Veel van nature aanwezige stoffen in het grondwater zouden middels omgekeerde osmose (de gangbare ontziltingsmethode) uit het water verwijderd kunnen worden. Afhankelijk van de locatie kunnen echter verhoogde concentraties van stoffen aanwezig zijn waarbij dit niet goed mogelijk is, zoals bijvoorbeeld ammonium. In zo'n geval is aanvullende zuivering nodig.

4.1.3 Perceptie

Er is geen literatuur bekend over de perceptie van het gebruik van brak of zout grondwater als drinkwater.

4.1.4 Samengevat

Brak grondwater is als bron kansrijker dan zout grondwater in verband met de lagere energiekosten van het ontzilten. Vergeleken met oppervlaktewater is de te verwachten waterkwaliteit hoger en stabiel. Afhankelijk van de kosten (die afhangen van lokale omstandigheden) kan deze bron kansrijk zijn, vooral als deze ook andere voordelen heeft, zoals het verminderen van brakke kwel. Belangrijk knelpunt is de concentraatstroom die vrijkomt bij behandeling, waar een duurzame oplossing voor gevonden moet worden.

4.2 Zoet grondwater

Zoet grondwater wordt in grote delen van Nederland en België reeds gebruikt als drinkwater. Verondersteld wordt dat bij de doelgroep van dit document (BTO participanten) voldoende bekend is omtrent dit onderwerp, omdat deze bron ofwel op grote schaal gebruikt wordt, ofwel kunstmatig aangevuld wordt (duinwater), of doordat het reeds bekend is dat deze bron in het betreffende gebied onvoldoende gebruikt kan worden (brak grondwater). Om deze redenen wordt dit onderwerp niet diepgaand behandeld.

4.2.1 Potentieel beschikbaar water

Zoet grondwater wordt reeds op veel plekken in Nederland en België gewonnen (Figuur 4-2). Op veel plaatsen is grondwater relatief dicht bij het oppervlak aanwezig.

Grondwater wordt aangevuld door:

- Grondwateraanvulling door neerslagoverschotten
- Wegzijging vanuit oppervlaktewateren
- Grondwaterstroming vanuit het buitenland (door grondwateraanvulling elders)
- Kunstmatige infiltratie, bijvoorbeeld ten behoeve van drinkwater of land- en tuinbouw. Dit kan ook onbedoeld plaatsvinden, bijvoorbeeld door lekkende riolering.

En grondwater stroomt weg via:

- Kwel naar oppervlaktewateren
- Kwel naar het landoppervlak
- Stroming naar zee
- Onttrekkingen voor o.a. drinkwater, industrie, land- of tuinbouw
- Drainage en bemalingen in steden, landbouwgebieden en op bouwplaatsen. Dit kan ook onbedoeld plaatsvinden, bijvoorbeeld door lekkende riolering.

Voor Nederland zijn de belangrijkste fluxen als volgt ingeschat (De Vries, 2007):

- Neerslagoverschot: ongeveer 300 mm/jaar, wordt grotendeels afgevoerd via drainagenetwerken (sloten, beken, etc)
- Onttrekkingen: ongeveer 1700 Mm³/jaar

Of onttrekking van grondwater op een locatie wenselijk en duurzaam is, hangt onder andere af van:

- Hernieuwbaarheid van het grondwater: wordt de onttrekking gecompenseerd door meer aanvulling?
- Verandering in grondwaterstand of -dynamiek die direct (verdroging, paalrot, verminderde kwel) of indirect (zoals zetting) effect heeft op landbouw, natuur of bijvoorbeeld gebouwen
- Kwaliteit en de eventuele effecten op de chemische gesteldheid van het grondwater elders, zoals de eventuele verspreiding van verontreinigingen of het infiltreren van minder schoon water

4.2.2 Kwaliteit

Afhankelijk van de locatie van het grondwater kunnen verschillende verontreinigingen aangetroffen worden (Van Vliet et al., 2010). In ondiepe winningen (freatisch/eerste watervoerende pakket) kunnen antropogene verontreinigingen voorkomen, die afkomstig zijn van het landoppervlak. Het kan bijvoorbeeld gaan om stoffen uit de landbouw (nutriënten of bestrijdingsmiddelen) of stoffen uit restwater (zoals medicijnresten en andere organische micro's) of bodemvervuiling. Afhankelijk van de materialen in de ondergrond

kunnen ook natuurlijke verontreinigingen voorkomen, zoals zouten, arseen en/of andere zware metalen of een verhoogde hardheid. Daarnaast zal het water ook belucht moeten worden, niet alleen om zuurstof in te brengen, maar ook om vluchtige componenten als methaan, CO₂ en H₂S te verwijderen. In sommige gevallen wordt uit voorzorg ook desinfectie toegepast.

4.2.3 Perceptie

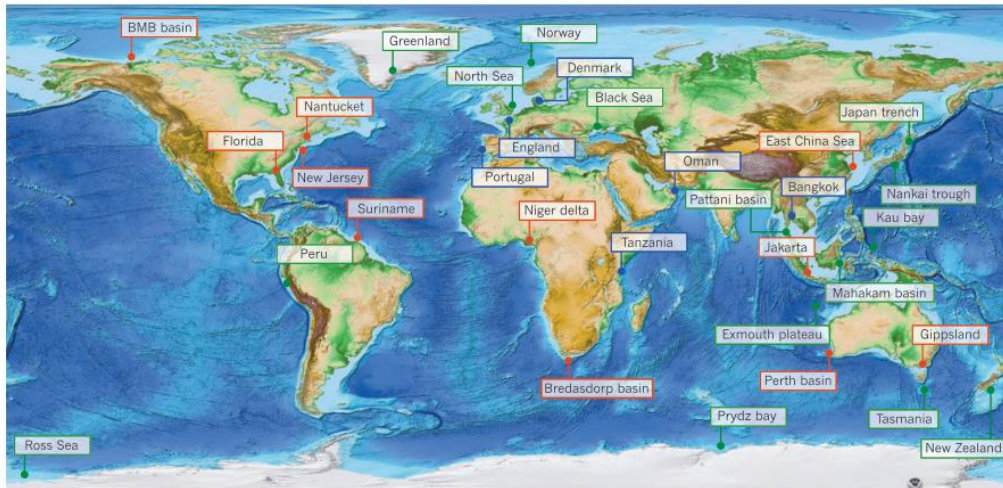
Grondwater is reeds een gangbare bron voor drinkwater en wordt gezien als een schone en betrouwbare bron.

4.2.4 Samenvatting

Grondwater is een gangbare bron voor drinkwater. Het is winbaar in relatief grote hoeveelheden (ordegrootte miljoenen m³/jaar) en kan, afhankelijk van de locatie, van goede kwaliteit zijn.

4.3 Zoet grondwater van onder de zeebodem

Uit relatief recent onderzoek blijkt dat er wereldwijd onder de zee- en oceaانبodems grote voorraden zoet- en brakwater aanwezig kunnen zijn (Post et al., 2013) (Figuur 4-3). Dit water bevindt zich in de randen van de continentale platen, die over geologische tijdsschalen onder de zee zijn komen te liggen. Ander onderzoek heeft laten zien dat grote hoeveelheden zoet grondwater vanuit de zeebodem de zee in stromen (Wang et al., 2015b). Voor zover bekend worden deze voorraden niet gewonnen, maar er wordt wel op gewezen dat deze in de toekomst een bron voor (drink)water kunnen vormen (Post et al., 2013).



FIGUUR 4-3. LOCATIES MET AANWIJZINGEN DAT ER BUITEN DE KUST ZOET OF BRAK GRONDWATER VOORKOMT (BRON: POST ET AL. (2013)).

4.3.1 Potentieel beschikbaar water

Post et al. (2013) geven aan dat er enkele (indirecte) aanwijzingen zijn dat er zich brak en/of zoetwatervoorraden bevinden onder de Noordzee (nabij Engeland en Denemarken). Het is niet duidelijk of er zich bruikbare voorraden zoetwater onder de zeebodem nabij Nederland of België bevinden.

4.3.2 Kwaliteit

De watervoorraden onder de zee, die beschreven zijn door Post et al. (2013), kunnen zoet of brak zijn. Er is onvoldoende bekend over de eventuele aanwezigheid of kwaliteit van dergelijke voorraden nabij Nederland of België. Wel mag aangenomen worden dat als deze voorraden aanwezig zijn, deze geen antropogene verontreinigingen bevatten, omdat het water al zeer lange tijd geïsoleerd heeft gelegen.

4.3.3 Perceptie

Er is niets bekend over de eventuele perceptie van het gebruik van onderzeese watervoorraden.

4.3.4 Samengevat

Over deze bron is slechts zeer weinig bekend, waardoor deze bron op dit moment niet kansrijk wordt geacht.

4.4 Permanente bemalingen en drainage

Grondwater kan onttrokken worden voor diverse doeleinden. Het doel van bemaling is de verlaging van het grondwaterniveau, bijvoorbeeld om bij bouwprojecten of in kelders de voeten droog te houden. Het onttrokken grondwater wordt vaak in nabij oppervlaktewater geloosd. Veel grondwaterbemalingen zijn tijdelijk, zoals bij bouwprojecten, maar er zijn ook bemalingen die (semi)permanent actief zijn. Deze zijn vaak bedoeld om bebouwd gebied te beschermen tegen hoge grondwaterstanden of om verontreinigd grondwater te onttrekken. Daarnaast bestaan er situaties waarbij een pomp permanent aanwezig is onder een constructie, maar alleen actief wordt bij hoge grondwaterstanden.

Ook wordt er drainage toegepast om grondwateroverlast te voorkomen op landbouwgronden en in stedelijk gebied. Drainagebuizen kunnen uitkomen op oppervlaktewateren of in putten (natte kelders) waar middels een pomp afvoer plaatsvindt.

4.4.1 Potentieel beschikbaar water

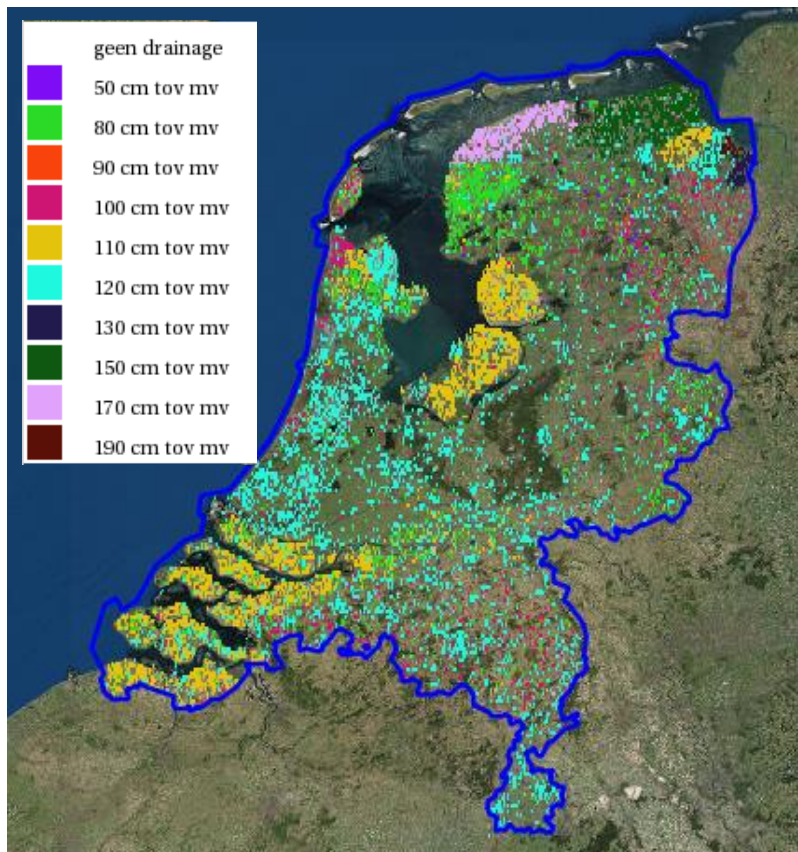
Er bestaan zeer kleine tot zeer grote permanente bemalingen. Deze puntbronnen liggen verspreid over het land. Inventarisatie van bemalingen is relatief lastig:

- Voor kleine bemalingen (bijvoorbeeld onder woonhuizen) is vaak geen vergunning of melding bij het waterschap nodig, waardoor deze niet zichtbaar worden in overzichten.
- Informatie omtrent onttrekkingen van grondwater geeft vaak niet duidelijk aan of het gaat om een winning voor gebruik (bijvoorbeeld als drinkwater of voor de industrie) of om een bemaling.

Enkele grote bemalingen waarvan wel gegevens bekend zijn:

- **DSM Delft.** Sinds 1916 wordt hier grondwater onttrokken als koelwater voor de DSM fabriek. Na het stopzetten van de industriële activiteiten van DSM in Delft in 2009 heeft men de bijbehorende grondwateronttrekking niet stopgezet maar wordt het afgevoerd naar de Noordzee. De reden hiervoor is dat stopzetten een plotselinge stijging van de grondwaterstanden tot gevolg kan hebben, wat nadelige gevolgen kan hebben voor o.a. gebouwen en infrastructuur (Roelofsen et al., 2007). In 2017 heeft men besloten om deze onttrekking langzaam (in minimaal 10 jaar) af te bouwen. Sinds juli 2017 wordt zo'n 1080 m³ per uur onttrokken (Gemeente Delft, 2018). Dit komt neer op meer dan 9 Mm³/jaar. Op basis van de plannen wordt verwacht dat deze onttrekkingshoeveelheid de komende jaren geleidelijk verminderd zal worden, waarna de winning stopgezet wordt.
- **Enschede.** In Enschede wordt jaarlijks 0.27 Mm³/jaar aan grondwater onttrokken om grondwateroverlast te voorkomen. De reden hiervoor is de teloorgang van de textielindustrie in deze regio, die voorheen grondwater gebruikte (Spijker & Bouma, 2015).

Drainage wordt in grote delen van Nederland toegepast om grondwater op het gewenste niveau te houden (Figuur 4-4). Middels drainagebuizen wordt een deel van het freatische grondwater afgevoerd naar het oppervlaktewater. De hoeveelheid water die afgevoerd wordt, hangt onder andere af van de neerslag, het landgebruik (verharding of gewas dat infiltratie en evapotranspiratie bepaalt) en de lokale hydrologische omstandigheden. De afvoerpatronen kunnen daarom vergeleken worden met de polderbemalingen uit sectie 3.5.



FIGUUR 4-4. LIGGING EN DIEPTE VAN BUISDRAINAGE IN NEDERLAND (BRON: NHI)

4.4.2 Kwaliteit

Afhankelijk van de locatie en diepte van de bemaling wordt zoet, brak of zout grondwater opgepompt. Voor de kwaliteit van grondwater in het algemeen wordt verwezen naar secties 4.1 en 4.2.

Het grondwater van de onttrekking van DSM Delft bevat veel ijzer en zouten (>2000 mg/l Cl⁻). Voor het gebruik van dit water als drinkwater zou ontziltning noodzakelijk zijn. Ook zou het concentraat dat daarbij vrijkomt ergens geloosd moeten worden. Enkele jaren geleden is onderzocht of water uit deze onttrekking ingezet zou kunnen worden voor bijvoorbeeld gietwater voor de glastuinbouw. In verband met relatief hoge kosten werd deze optie niet als kansrijk beschouwd (Agrimaco, 2011).

Voor drainagewater wordt aanvullend opgemerkt dat dit freatisch grondwater betreft wat meestal zoet is (behalve mogelijk in verziltende polders tijdens droge perioden). In stedelijke omgevingen en landbouwgebieden is dit grondwater vaak verontreinigd, bijvoorbeeld met hoge concentraties nutriënten (vooral in landbouwgebieden), zware metalen of organische stoffen.

4.4.3 Perceptie

Er is geen informatie beschikbaar omtrent de perceptie van het gebruik van grondwater uit bemalingen of drainagesystemen voor de bereiding van drinkwater.

4.4.4 Samengevat

Grootschalige permanente bemalingen zouden een kansrijke bron kunnen vormen wanneer deze voor langere perioden water leveren en de zuiveringskosten niet te hoog zijn, in

tegenstelling tot wat bijvoorbeeld het geval is bij de DSM bemaling in Delft, waarvan het water zeer zout is.

4.5 De onverzadigde zone

Het bovenste deel van de ondergrond boven de grondwaterspiegel wordt de onverzadigde zone genoemd, omdat deze naast bodemdeeltjes en water ook lucht bevat. Het water in deze zone wordt ook wel bodemwater genoemd.

4.5.1 Potentieel beschikbaar water

Ten opzichte van de bodemlagen die grondwater bevatten is de onverzadigde zone relatief dun (vaak in de orde van grootte van enkele decimeters of enkele meters). Het watergehalte kan sterk variëren over de diepte en de tijd (tussen enkele en enkele tientallen volumeprocenten) en wordt beïnvloed door infiltratie van neerslag, verdamping, wateropname door planten en capillaire navulling vanuit het grondwater. Door de (o.a. capillaire) binding van het water aan de bodemdeeltjes is water uit deze zone moeilijker te onttrekken dan bijvoorbeeld grondwater. Om bodemwater te onttrekken is een (sterk) negatieve druk (vacuüm) nodig. Ook kunnen slechts kleine hoeveelheden tegelijkertijd worden onttrokken, omdat er door de beperkte connectie tussen de waterdruppels in de bodem slechts weinig stroming plaatsvindt.

Onttrekking van bodemwater zou concurreren met de onttrekking van water door planten (natuur of landbouw), waardoor gebruik van dit water in de meeste gevallen sowieso niet gewenst of duurzaam zou zijn.

4.5.2 Kwaliteit

Bodemwater is doorgaans zoet aangezien het voornamelijk uit geïnfiltreerd regenwater bestaat. Het kan brak worden wanneer het bovenste grondwater verzilt is en er sprake is van capillaire nalevering tijdens droge perioden.

Bodemwater kan verontreinigingen bevatten zoals nutriënten, fecaliën, pathogenen, micro-organismen, zware metalen en andere antropogene stoffen die door huidig of historisch landgebruik op het oppervlak of in de bodem terecht zijn gekomen. Relatief mobiele verontreinigingen hopen op in deze zone.

4.5.3 Perceptie

Er is geen informatie beschikbaar omtrent de perceptie van het gebruik van water uit de onverzadigde zone voor de bereiding van drinkwater.

4.5.4 Samengevat

Gezien de lage beschikbaarheid en winbaarheid en de relatief slechte kwaliteit wordt deze mogelijke alternatieve bron niet als kansrijk gezien.

5 Neerslag

5.1 Neerslag van verharde oppervlakken

Neerslag was en is nog steeds in sommige delen van de wereld een veelgebruikte bron van drinkwater. In Nederland en België is dit niet het geval. Neerslag die op daken en wegen valt komt veelal terecht in het riool of infiltreert in de ondergrond (bijvoorbeeld bij 'afgekoppelde' oppervlakken, wadi systemen of de traditionele regenton) ter voorkoming van wateroverlast of voor gebruik in de tuin. In de laatste jaren zijn nieuwe initiatieven opgekomen om regenwater van daken op te vangen, en bijvoorbeeld te gebruiken voor de wasmachine, het toilet of mogelijk zelfs als drinkwater (Installatie.nl, 2018; Mijn Waterfabriek, 2018; Vereniging Eigen Huis, 2018).

In België is het sinds 2014 verplicht om bij nieuwbouw en grote verbouwingen een opvangvat voor regenwater te installeren in huizen. Dit water kan via een tweede leidingcircuit gebruikt worden voor laagwaardige toepassingen, zoals het doorspoelen van het toilet en de wasmachine. Ook in Nederland zijn er enkele wijken waarin neerslagwater wordt opgevangen voor gebruik. In Nederland mag neerslagwater alleen voor het spoelen van het toilet of bijvoorbeeld het sproeien van de tuin worden gebruikt.

Veel van de neerslag die op verharde oppervlakken terecht komt, wordt echter via het riool afgevoerd. Het winnen van deze bron zou in dat opzicht waarschijnlijk niet problematisch zijn en mogelijk zelfs gunstig, omdat het piekafvoeren in de riolering (en daarmee wateroverlast) kan voorkomen. Wel moet opgemerkt worden dat in gebieden die gevoelig zijn voor verdroging of verzilting, lokale infiltratie van neerslagwater zeer nuttig kan zijn.

5.1.1 Potentieel beschikbaar water

In Nederland valt jaarlijks gemiddeld zo'n 725-975 mm aan neerslag (KNMI, 2018b). In grote delen van België (waaronder Vlaanderen) is de hoeveelheid neerslag vergelijkbaar met Nederland, hoewel in de Ardennen de jaarlijkse neerslag kan oplopen tot zo'n 1500 mm per jaar (KMI, 2018). De neerslag valt grotendeels verspreid over het jaar, waarbij op onregelmatige basis droge en natte perioden kunnen voorkomen.

Neerslag wordt traditioneel gewonnen vanaf daken, bijvoorbeeld middels een regenton, maar kan ook van andere verharde oppervlakken zoals straten en wegen worden opgevangen. In sommige sectoren, zoals de glastuinbouw, wordt regenwater actief gewonnen en benut, maar in de meeste gevallen komt regenwater terecht in het regenwater- of vuilwaterriool.

Niet alle neerslag die op een oppervlak valt kan gebruikt worden. Een deel van de neerslag verdampt direct vanaf het dak. Per bui kan er daarom (afhankelijk van o.a. het weer en de eigenschappen van het dak) een deel van de neerslag verdwijnen, waardoor vooral van kleine buien weinig bruikbaar water overblijft.

Aangezien het eerst afstromende deel van een bui de meeste verontreinigingen bevat, kan men er daarnaast voor kiezen om deze 'first flush' af te voeren, en alleen het overige water te gebruiken. Wanneer rekening gehouden wordt met een first flush van 2 mm wordt geschat dat in Nederland zo'n 48-60% van de neerslag effectief opgevangen kan worden (Hofman-Caris & Bertelkamp, 2017). Wanneer men de first flush ook opvangt en gebruikt kan een hoger percentage van de neerslag gebruikt worden. Voor de glastuinbouw, waar men neerslag opvangt op de kasdaken en opslaat in bassins, wordt geschat dat men zo'n 700-

800 mm/j effectief kan opvangen (Stofberg & Zuurbier, 2018). Voor Vlaanderen worden vergelijkbare hoeveelheden verwacht aangezien de meteorologische omstandigheden weinig verschillen met Nederland.

De beschikbare hoeveelheid water uit neerslag hangt af van de beschikbare oppervlakken waarvan neerslag kan worden opgevangen. Een overzicht van verharde oppervlakken in Nederland is weergegeven in Tabel 5-1. De opvang, behandeling en distributie van neerslag kan op verschillende schalen plaatsvinden, bijvoorbeeld op de schaal van een individueel huishouden, straat of wijk.

Een huishouden met een dakoppervlak van 60 m² kan bijvoorbeeld jaarlijks ongeveer 23-30 m³ neerslagwater effectief opvangen (Hofman-Caris & Bertelkamp, 2017). Voor een huishouden van 4 personen zou dan in 13-17% van de watervraag voldaan kunnen worden. Wanneer er geen rekening gehouden wordt met een first flush, zou er mogelijk voldoende regenwater opgevangen kunnen worden voor enkele doeleinden, zoals het doorspoelen van het toilet en de was.

In Nederland is er ongeveer 3560 km² aan bebouwd terrein en 1161 km² aan verkeersterrein (wegen, spoorwegen, vliegvelden), wat in totaal neerkomt op zo'n 12% van het oppervlak van Nederland. Woonterrein omvat zo'n 2300 km² en wegverkeersterrein zo'n 1050 km² (CBS, 2018) (Figuur 5-1). Wanneer er vanuit wordt gegaan dat gemiddeld 55% van de totale neerslag (850 mm) op een oppervlak opgevangen kan worden en er geen first flush wordt toegepast, zou de totale potentiële beschikbaarheid van neerslag op woonterreinen (waar het CBS ook straten en gebouwen voor voorzieningen onder verstaat) ongeveer $0,55 \cdot 0,85 \text{ [m]} \cdot 2300 \text{ [km}^2\text{]} = 1075$ miljoen m³/jaar bedragen en $0,55 \cdot 0,85 \text{ [m]} \cdot 1050 \text{ [km}^2\text{]} = 490$ miljoen m³/j op wegverkeersterreinen (waar grotere wegen onder worden verstaan).

Neerslagwater kan van verschillende (gecombineerde) oppervlakken opgevangen worden op lokale schaal, maar het zou ook mogelijk zijn om het water van verschillende opvangpunten samen te brengen om de eventuele zuivering of berging op grotere schaal te laten plaatsvinden.

5.1.2 Kwaliteit

In 2017 is er een BTO-rapport "Decentraal zuiveren: mogelijkheden voor gebruik van opgevangen regenwater" (BTO 2017.029) verschenen waarin een literatuurstudie betreffende de kwaliteit van regenwater is beschreven. Hieronder zullen alleen kort de belangrijkste verontreinigingen genoemd worden, maar voor meer achtergrondinformatie wordt verwezen naar hiervoor genoemd rapport.

Neerslag bevat verontreinigingen die in de atmosfeer voorkomen. Bhaskar & Rao (2017) rapporteerden dat meer dan 90% van de totale hoeveelheid verontreinigingen in de atmosfeer verwijderd wordt door middel van natte neerslag. Daarnaast kan regenwater de volgende ionen bevatten: SO₄²⁻, NO₃⁻, HCO₃⁻, Cl⁻, PO₄³⁻, H⁺, Ca²⁺, K⁺, Na⁺, Mg²⁺, NH₄⁺ (Hofman-Caris en Bertelkamp, 2017). Ook kan regen Fe, Cu, Cd, Mn, Pb, Zn, nitriet, bromaat en fluor bevatten (Hofman-Caris en Bertelkamp, 2017). De ionenbalans voor regenwater is in de meeste gevallen niet sluitend, wat waarschijnlijk wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van kleine organische zuren. Regenwater wordt ook gekenmerkt door een pH van meestal <7.

De hoeveelheid aanwezige stoffen kan zeer sterk variëren over zowel ruimte als tijd, waarbij de concentraties afnemen bij grotere neerslaghoeveelheden per bui (STOWA, 2007). Vergeleken met andere watertypen komen er weinig zouten in neerslag voor. Opvallend is dat er relatief vaak microverontreinigingen in voorkomen, zoals zware metalen, pesticiden en PAK's (STOWA, 2007) (Hofman-Caris en Bertelkamp, 2017). Een aanzienlijk deel van deze

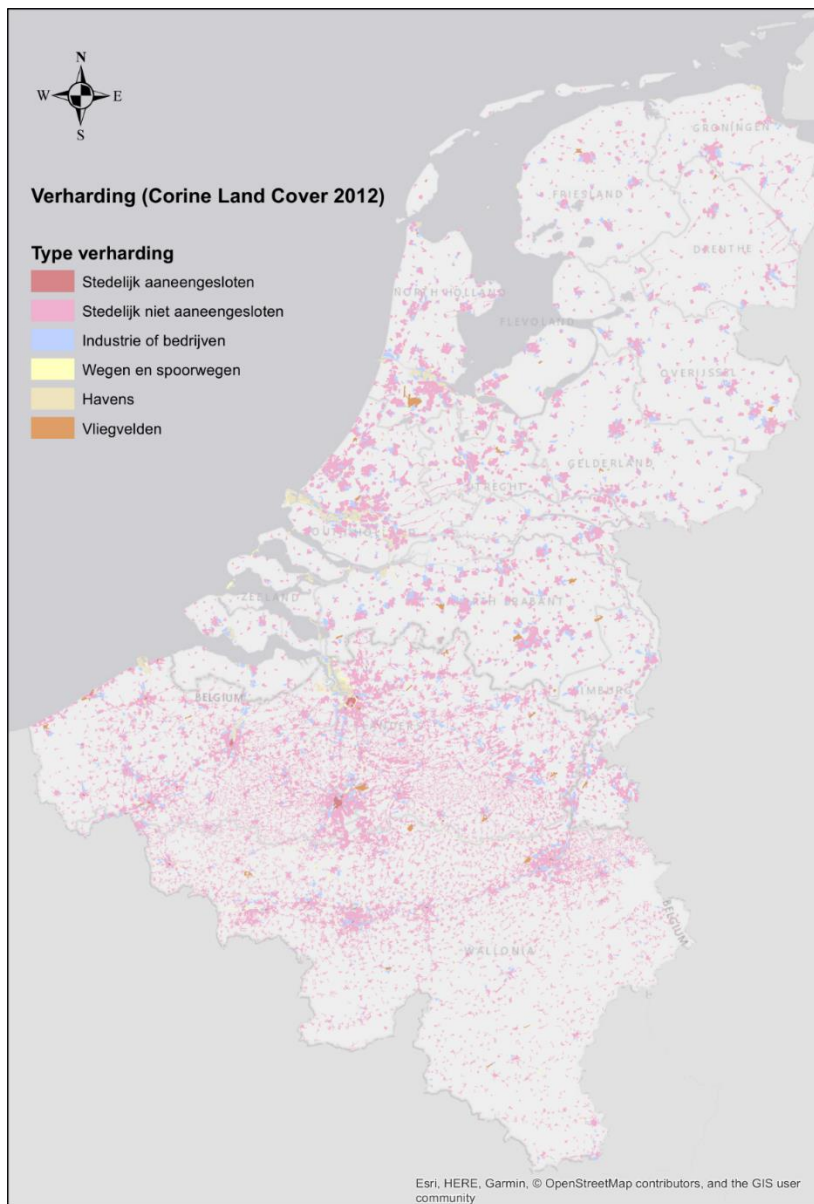
verontreinigingen is gebonden aan deeltjes die voorkomen in de neerslag, en is vaak afkomstig van verkeer en industrie.

Daarnaast kan opgevangen neerslag stoffen bevatten die afkomstig zijn van verontreinigingen op oppervlakken of uit de oppervlakken zelf waarover het heeft gestroomd, zoals daken, goten en leidingen. Regenwater dat is opgevangen middels het dakoppervlak van een kas kan bijvoorbeeld verontreinigd zijn met zink (door de gegalvaniseerde dakgoten) en pesticiden (die in de kas of door omliggende bedrijven gebruikt worden) (Zuurbier et al., 2017). Straten en wegen kunnen verontreinigd zijn met stoffen die te maken hebben met voertuigen (uitlaatgassen, banden, remmen) en straatvuil, zoals verschillende soorten koolwaterstoffen (zie ook sectie 8), zware metalen (Hjortenkrans et al., 2006) en deeltjes (Coffin, 2007).

Nadat de neerslag is opgevangen komen er anorganische, organische en microbiologische verontreinigingen in voor. Daarom moet het goed gezuiverd worden voordat het gebruikt zou kunnen worden als drinkwater (Hofman-Caris & Bertelkamp, 2017). De schaal waarop de neerslag wordt gezuiverd is een essentiële factor voor de financiële haalbaarheid. De kosten zouden het laagst zijn als de zuivering zou plaatsvinden op buurt-/wijkniveau, hiervan zouden de kosten zo'n €1,5 - €3/m³ bedragen (Hofman-Caris et al., 2018). Het zuiveren van regenwater tot drinkwater op huishoudelijk niveau is technisch mogelijk, maar er zijn momenteel nog geen sensoren beschikbaar die de waterkwaliteit zouden kunnen waarborgen. Hierdoor is het niet verantwoord om op huishouden niveau drinkwater uit regenwater te produceren. Daarnaast zijn de kosten op dit schaalniveau ook vele malen hoger, namelijk €10 - 20/m³ (Hofman-Caris en Bertelkamp, 2017).

TABEL 5-1. OPPERVLAKKEN VAN VERSCHILLENDE TYPE VERHARDING IN NEDERLAND IN 2012 (CBS, 2018) OF 2016 (GLASTUINBOUW, (AGRICULTIE, 2017)), DE GESCHATTE OPPERVLAKTEN PER OPVANGENHEID EN VERWACHTE KWALITEITSAANDACHTSPUNTEN DIE SPECIFIEK VOOR HET TYPE OPPERVLAK GELDEN.

Type oppervlak	Totale oppervlak in Nederland (km ²)	Oppervlakte per opvangeneheid (ordegrootte)	Kwaliteit
Woonterreinen (incl straten en voorzieningen)	2336	Huishouden 60 m ² Huizenblok: 600 m ² Wijk ca. 10 000 m ²	Materiaal dak en dakgoten (bitumen, zink)
Bedrijven, industrie, openbare gebouwen	1224		Materiaal dak en dakgoten (bitumen, zink), stoffen gerelateerd aan bedrijfsactiviteiten
Glaspuinbouw	93	Gemiddeld bedrijf: 24300 m ²	Materiaal dakgoten (zink), gewasbeschermings-middelen (pesticiden) (Zuurbier et al., 2017)
Wegverkeersterreinen	1049	Straatkolk voor iedere 100-120 m ²	Stoffen afkomstig uit straatvuil, autobanden en verbrandingsmotoren
Vliegvelden	23	Landingsbaan: 135000 m ²	Stoffen afkomstig uit banden, brandstoffen en andere gebruikte chemicaliën zoals brandvertragers en middelen tegen ijsvorming (Gezondheidsraad, 1999)



FIGUUR 5-1. TYPEN VERHARDING IN NEDERLAND EN BELGIE (CORINE LAND COVER 2012).

5.1.3 Perceptie

Er zijn geen gegevens bekend omtrent de perceptie van het gebruik van neerslagwater voor drinkwater. Verwacht wordt dat onder veel mensen het beeld leeft dat regenwater relatief schoon is.

5.1.4 Samengevat

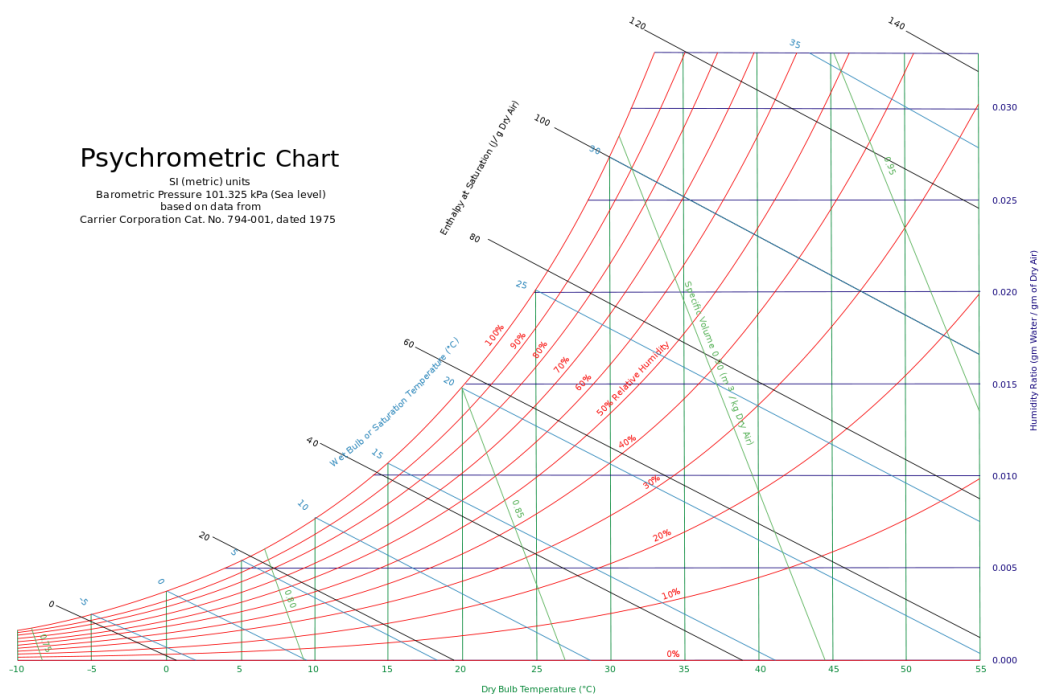
Er valt onvoldoende neerslag op daken om aan de gehele vraag aan drinkwater te voldoen, maar neerslag zou wel een aanvullende bron van drinkwater kunnen vormen. De haalbaarheid is vooral afhankelijk van de financiële haalbaarheid van de zuivering, die sterk afhangt van de schaal waarop de neerslag wordt gewonnen (efficiëntie van de zuivering en kosten van leidingwerk). Bovendien is de veiligheid van drinkwater uit regenwater alleen te garanderen indien er geschikte sensoren beschikbaar komen, en de veiligheid de verantwoordelijkheid van bv. een waterbedrijf blijft (in elk geval niet een individuele

verantwoordelijkheid). Tenslotte zou de wet- en regelgeving aangepast moeten worden, omdat in Nederland regenwater momenteel alleen gebruikt mag worden voor het spoelen van het toilet of bijvoorbeeld het sproeien van de tuin.

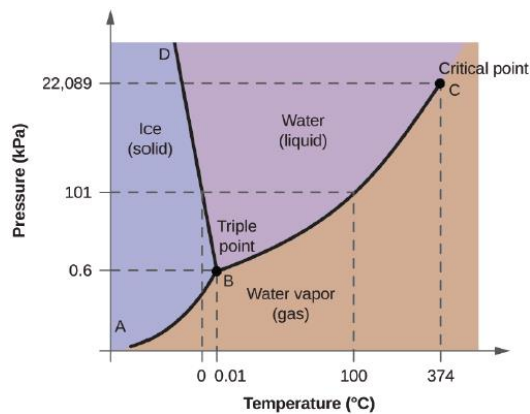
6 Water uit de atmosfeer

6.1 Luchtvochtigheid

De atmosfeer bevat naast stikstof, zuurstof en koolzuurgas ook waterdamp. De hoeveelheid water die de lucht maximaal kan bevatten hangt af van de temperatuur (Figuur 6-1), waarbij warme lucht meer vocht kan bevatten dan koude lucht. Ook hangt deze hoeveelheid water af van de luchtdruk. De relatieve luchtvochtigheid (RH%) geeft aan hoeveel procent van dit maximum aan water in de lucht aanwezig is. Bij een zelfde relatieve luchtvochtigheid bevat koude lucht daarom minder vocht dan warme lucht.



FIGUUR 6-1. RELatieve EN ABSOLUTE VOCHTIGHEID VAN DE LUCHT ALS FUNCTIE VAN DE LUCHTTEMPERATUUR (DRY BULB TEMPERATURE).BRON: OGAWA, 2009
 ([HTTPS://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/WIKI/FILE:PSYCHROMETRICCHART.SEALEVEL.SI.SVG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Psychrometricchart.sealevel.si.svg))



FIGUUR 6-2. FASENDIAGRAM VAN WATER (BRON: CHEGG.COM).

Vocht kan uit de atmosfeer gewonnen worden door condensatie, het proces waarbij waterdamp overgaat in de vloeibare fase. In het algemeen kan gesteld worden dat dit plaatsvindt wanneer de relatieve luchtvochtigheid boven de 100% komt, waardoor watermoleculen clusters vormen die uiteindelijk druppels worden. Dit treedt op wanneer (Figuur 6-2):

- De lucht afkoelt
- De luchtdruk hoger wordt

Daarnaast kan condensatie plaatsvinden middels sorptie als er oppervlakken aanwezig zijn, waardoor de evenwichtsrelatie tussen damp en sorptieoppervlak richting sorptie gaat. Geschikte oppervlakken zijn hygroscopische oppervlakken zoals:

- Een vloeistofoppervlak, zoals vloeibaar water of een andere vloeistof die goed mengt met water, waarop absorptie kan plaatsvinden.
- Een vast oppervlak waarop adsorptie kan plaatsvinden. Zo kunnen aerosolen dienst doen als condensatiekernen bij wolkvorming.

Voor de winning van water uit lucht worden voornamelijk technieken gebruikt waarbij koeling gecombineerd wordt met het gebruik van absorberende of adsorberende oppervlakken, al dan niet in combinatie met waterafstotende oppervlakken om druppels af te laten stromen (biomimicry van de Namibische woestijnkever, Figuur 6-3).

Voorbeelden van koeling:

- Koeling door natuurlijke temperatuurschommelingen (dag/nacht), waarbij bijvoorbeeld dauwvorming optreedt
- Koeling door of met behulp van natuurlijke temperatuurgradiënten, zoals bij stijgende luchtstromen bij gebergten en het temperatuurverschil tussen de atmosfeer en de ondergrond
- Koeling warmte-koudemachines (warmtepompen), zoals in koelkasten en airconditioners
- Koeling door Peltier-units

Voorbeelden van absorberende en adsorberende oppervlakken:

- Vloeibaar water
- Vloeistoffen zoals brijn of ethanol

- Vaste hygroscopische stoffen zoals suikers en zouten die goed in water oplossen
- Vezels, bijvoorbeeld bewerkte cellulose (katoen of papier) of hygroscopische synthetische vezels zoals nylon. Hiervan kunnen bijvoorbeeld netten worden gemaakt die gebruikt worden voor de winning van vocht uit de lucht.
- Poreuze materialen, zoals natuurlijke mineralen (bijvoorbeeld kleisoorten) en andere materialen zoals silica gels (droogmiddelen) en MOFs (metal organic frameworks) (James, 2003; Kim et al., 2018; Kim et al., 2017; Wogan, 2017).

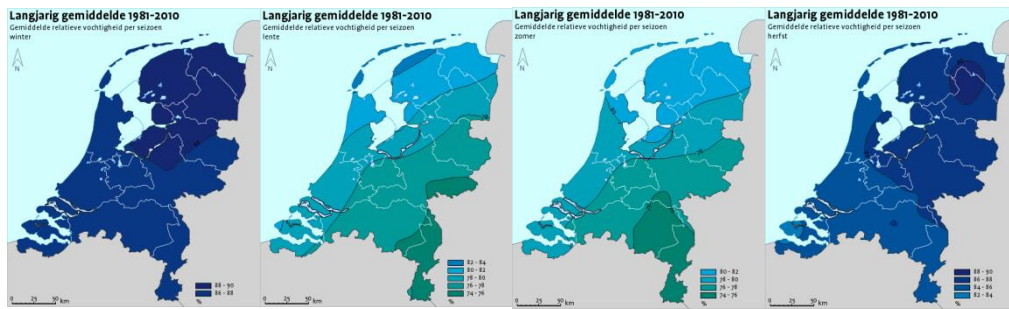
Winning van water uit de atmosfeer wordt vooral toegepast in gebieden met een gebrek aan andere bronnen van drinkwater (zoals regenwater of grondwater). Ook vindt het vooral in (sub)tropische klimaten plaats. Door de niet-lineaire relatie tussen temperatuur en luchtvochtigheid (Figuur 6-1) kan er in warmere klimaten meer water gewonnen worden bij een relatief beperkte koeling van de lucht.



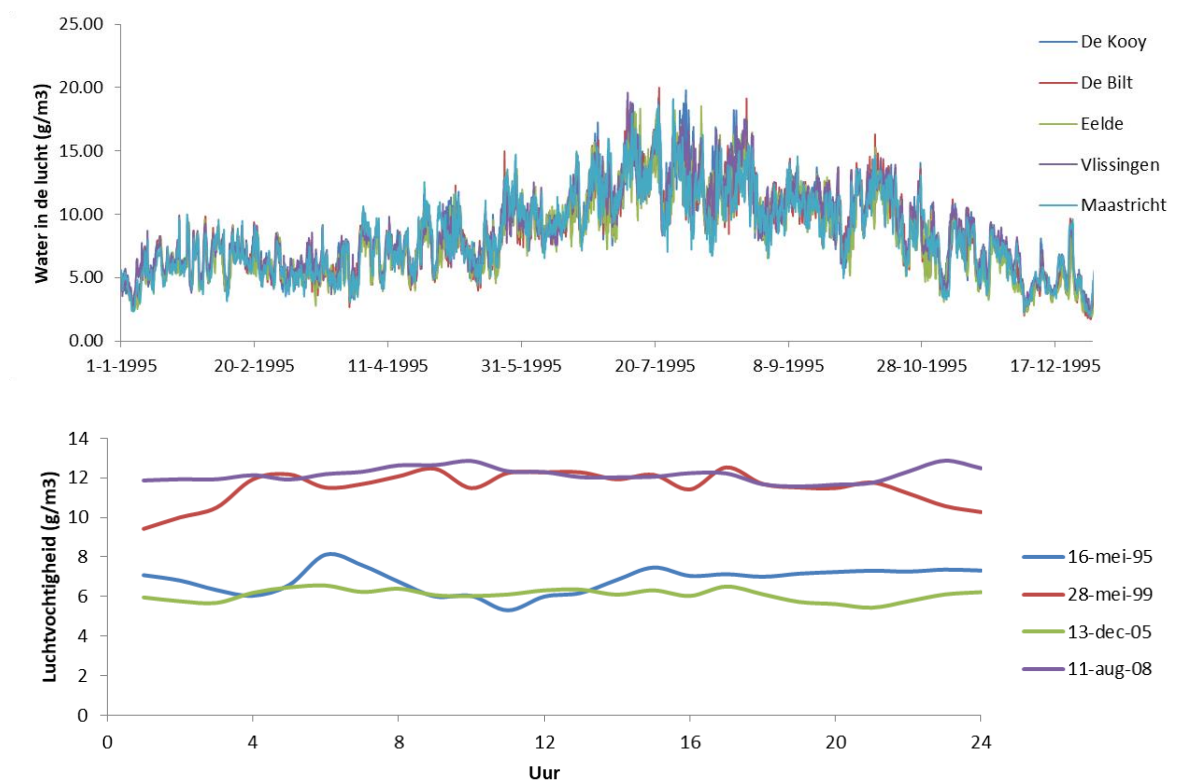
FIGUUR 6-3. DE NAMIBISCHE WOESTIJNKEVER VERKRIJGT HET VOCHT WAT HIJ NODIG HEEFT OM TE OVERLEVEN UIT DE ATMOSFEER, DOOR ZIJN VLEUGELS MET SPECIALE BULTJES IN DE LUCHT TE HOUDEN. DE BULTJES ZIJN HYGROSCOPISCH, MAAR HET OPPERVLAKE ER OMHEEN IS HYDROFOOB WAARDOOR GEVORMDE DRUPPELS NAAR BENEDEN GLIJDEN. BRON: GBBIT, CC BY-SA 3.0, [HTTPS://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/W/INDEX.PHP?CURID=60098556](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=60098556)

6.1.1 Potentieel beschikbaar water

Luchtvochtigheid kan gezien worden als een diffuse bron van water aangezien het zich verspreid over de atmosfeer bevindt. De relatieve luchtvochtigheid in Nederland ligt gemiddeld tussen de 70-90% (Figuur 6-4). De werkelijke hoeveelheid vocht die zich in de atmosfeer bevindt hangt vooral af van de temperatuur. Omrekenen vindt plaats middels het Goff-Gratch polynoom (KNMI, 2001). Voor 5 KNMI weerstations is de absolute hoeveelheid vocht in de atmosfeer berekend op basis van uurwaarden over de periode 1995-2015. Gemiddeld is de hoeveelheid water in de Nederlandse atmosfeer zo'n 8.3 gram/m³. Over heel Nederland is per luchtlag van 1 m dus zo'n 0.34 miljoen m³ water aanwezig. Over het jaar kan deze hoeveelheid vocht sterk variëren, maar de variatie over de ruimte is minder groot (Figuur 6-5).



FIGUUR 6-4. LANGJARIG GEMIDDELDE LUCHTVOCHTIGHEID IN NEDERLAND (KNMI, 2018B).



FIGUUR 6-5. BEREKENDE HOEVEELHEID WATER IN DE ATMOSFEER (G/M^3) VOOR 5 KNMI MEETSTATIONS IN EEN VOORBEELDJAAR (BOVEN) EN ENKELE VOORBEELDDATA (ONDER).

De winbare hoeveelheid water uit de atmosfeer hangt af van de gebruikte winmethode. Bij methoden die gebaseerd zijn op een verlaging van de temperatuur hangt de maximale winbare hoeveelheid af van de behaalde temperatuurverlaging ten opzichte van het dauwpunt (de temperatuur waarbij condensatie optreedt bij een bepaalde absolute luchtvochtigheid). Met verschillende aannames kan berekend worden hoeveel vocht er middels koeling gewonnen zou kunnen worden uit de Nederlandse atmosfeer wanneer er verder geen gebruik wordt gemaakt van sorptieoppervlakken.

Aangenomen wordt dat in dit geval de hoeveelheid winbaar water per kubieke meter lucht bestaat uit het verschil tussen de werkelijke hoeveelheid water in de lucht en de potentiële

maximale luchtvochtigheid bij een temperatuur waarnaar de lucht verlaagd zou worden. In de praktijk hangt de werkelijke winbare hoeveelheid mede af van de tijd en van beschikbare absorptie/adsorptie-oppervlakken, waardoor lagere luchtvochtigheden dan 100% behaald zouden kunnen worden. De in totaal gewonnen hoeveelheid water hangt daarnaast uiteraard af van de verversing van de lucht waaruit vocht gewonnen wordt.

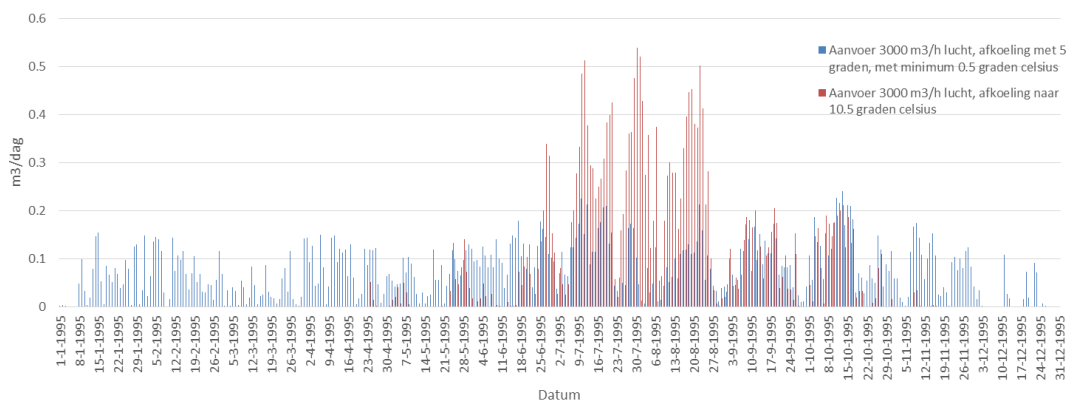
Voor de periode tussen 1995 en 2015 is met behulp van uurdata van De Bilt (KNMI, 2018c) berekend hoeveel water gewonnen zou kunnen worden bij verschillende koelmethoden (Tabel 6-1). Qua koelmethoden kan gedacht worden aan actieve koeling van volumes lucht, bijvoorbeeld middels een compressor. In het voorbeeld is uitgegaan van 5 °C koeling, met een minimum van 0.5 °C om bevriezing te voorkomen. Daarnaast kan gebruik worden gemaakt van natuurlijke temperatuurgradiënten (in ruimte en tijd). In het voorbeeld is aangenomen dat de gewonnen buitenlucht afgekoeld wordt naar de temperatuur van de ondergrond (10.5 °C). Wat betreft de aanvoer van lucht is gerekend met een klein systeem dat zo'n 1 m³ lucht per minuut aanvoert, en een groot systeem dat 50 m³ per minuut (3000 m³ per uur) aanvoert. Ook is gerekend met aanvoer middels de natuurlijke windsnelheid. Bij deze berekeningen moet de kanttekening geplaatst worden dat dit om theoretische hoeveelheden gaat en dat niet bekend is of dergelijke koelvolumes in werkelijkheid behaald zouden kunnen worden. De resultaten uit Tabel 6-1 geven winbare hoeveelheden van enkele tot tientallen liters per dag aan bij actieve luchtaanvoer.

Een belangrijk verschil tussen actieve en passieve koelingsmethoden is de temporele variatie van waterproductie (Figuur 6-6). Bij actieve koeling verschilt de hoeveelheid gewonnen water per dag, waarbij bij koude dagen soms niets gewonnen kan worden. Per maand verschilt de productie echter niet veel. Bij passieve koeling naar de temperatuur van de ondergrond is er veel duidelijker sprake van seizoensvariatie, waarbij water gewonnen kan worden wanneer de omgevingstemperatuur hoger ligt in de zomer en er in de overige seizoenen niet of nauwelijks sprake is van waterproductie.

Voor Vlaanderen zullen deze getallen niet veel afwijken of mogelijk iets lager zijn, omdat de luchtvochtigheid en de temperatuur vergelijkbaar zijn met Nederland (KMI, 2018). In hoger gelegen delen van België (Ardennen) zullen iets andere waarden van toepassing zijn door de afwijkende weersomstandigheden.

TABEL 6-1. WINBAAR WATER (ZONDER GEBRUIK VAN HYGROSCOPISCHE OPPERVLAKKEN) UIT LUCHTVOCHTIGHEID BIJ VERSCHILLENDE METHODEN VOOR KOELING EN LUCHTAANVOER.

Koeling	Luchtaanvoer	Liter per dag	m ³ per jaar
Actief -5 °C (min. 0.5 °C)	Windsnelheid * 1 m ²	450	164
Actief -5 °C (min. 0.5 °C)	1 m ³ /min	1.4	0.5
Actief -5 °C (min. 0.5 °C)	50 m ³ /min	70	26
Ondergrond 10.5 °C	Windsnelheid * 1 m ²	284	104
Ondergrond 10.5 °C	1 m ³ /min	0.98	0.36
Ondergrond 10.5 °C	50 m ³ /min	49	18



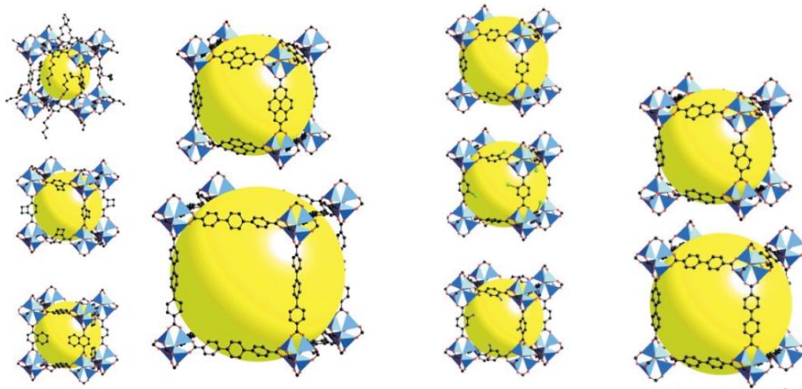
FIGUUR 6-6. MAXIMAAL VOLUME WINBAAR WATER PER DAG BIJ EEN AANVOER VAN 3000 M³/H LUCHT. BLAUW: DE LUCHT WORDT AFGEKOELD MET 5 °C, TOT EEN MINIMUM VAN 0.5 °C OM BEVRIEZING TE VOORKOMEN. ROOD: DE LUCHT WORDT ONDERGRONDS GEBRACHT, WAAR DIE PASSIEF ZAL WORDEN GEKOELD OF VERWARMD NAAR 10.5 °C.

Hygroscopische materialen

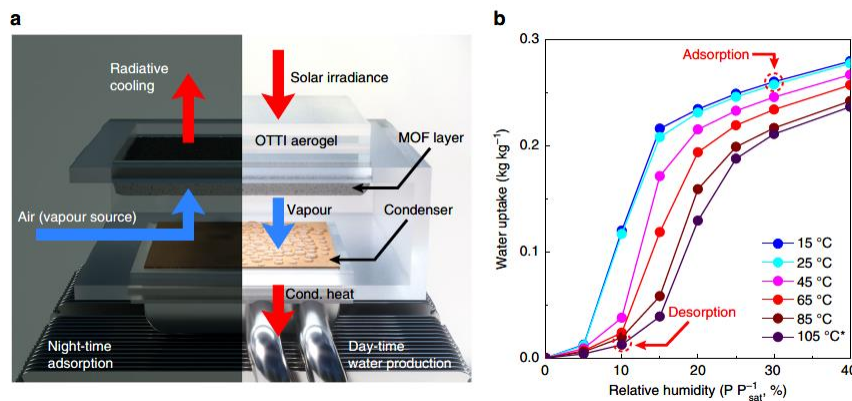
In de voorbeelden, die hierboven zijn doorgerekend, is de winbare hoeveelheid water geschat met de aanname dat aanwezig vocht condenseert wanneer de relatieve luchtvochtigheid 100% benadert. De werkelijke hoeveelheid die gewonnen kan worden hangt echter ook sterk af van de gebruikte sorptieoppervlakken. Door deze oppervlakken kan luchtvochtigheid condenseren bij een relatieve luchtvochtigheid van minder dan 100%. Dergelijke materialen worden bijvoorbeeld gebruikt als 'vochtvreters' of droogmiddelen zoals silica gel of calciumzouten om de luchtvochtigheid van ruimtes te verlagen. Voor de winning van water uit luchtvochtigheid zijn verschillende eigenschappen van belang. Geschikte materialen kenmerken zich onder andere door:

- Hygroscopie. De sorptie eigenschappen van het materiaal zorgen ervoor dat water uit de lucht aangetrokken wordt.
- Relatief weinig benodigde energie om water weer te verwijderen van het oppervlak. De benodigde energie kan bestaan uit bijvoorbeeld zwaartekracht (druppels vallen of stromen door hun eigen gewicht), druk ('uitwringen', verhoogde luchtdruk), centrifugaalkracht of warmte.
- Groot specifiek oppervlak.
- Het materiaal breekt niet snel af en stimuleert nagroei niet
- Er is geen sprake van verontreiniging van het water door stoffen uit het materiaal

Geschikte materialen zijn hygroscopisch, maar niet té hygroscopisch waardoor het water moeilijk te verwijderen wordt (zoals bijvoorbeeld bij veel droogmiddelen het geval is), of een combinatie van hygroscopisch met hydrofoob materiaal (zoals bijvoorbeeld het geval is bij de Namibische woestijnkever uit Figuur 6-3) waardoor het water gemakkelijk gewonnen kan worden. MOFs (metal organic frameworks) (zie Figuur 6-7) hebben bijvoorbeeld het voordeel dat zij ook bij een relatief lage luchtvochtigheid kunnen werken (James, 2003). Dit maakt deze materialen interessant voor droge regio's in Afrika of het Midden Oosten.



FIGUUR 6-7: VOORBEELD VAN OP ZN-GEBASEERDE MOFS. DE VOORBEELDEN LATEN ZIEN DAT AFHANKELIJK VAN DE ORGANISCHE LINKER DE RUIMTE IN DE MOF VERANDERT. (JAMES, 2003)



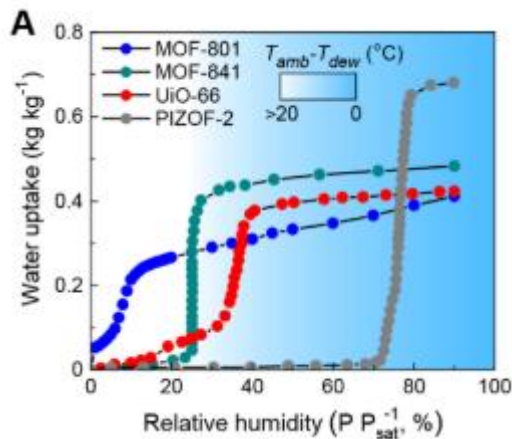
FIGUUR 6-8. WERKING VAN METAL ORGANIC FRAMEWORKS (MOFS). WANNEER DE TEMPERatuur TIJDENS DE NACHT DAALT EN DE RELATIEVE LUCHTVOCHTIGHEID STIJGT, NEEMT HET MATERIAAL WATER UIT DE LUCHT OP. TIJDENS DE DAG WORDT HET GEHEEL VOOR DE LUCHT AFGESLOTEN EN KOMT ER ENERGIE BINNEN (ZONNESTRALING) WAARBIJ DE TEMPERatuur STIJGT EN DE RELATIEVE LUCHTVOCHTIGHEID DAALT, WAARDOOR HET WATER WORDT AFGEGEVEN EN DIT GEWONNEN KAN WORDEN. (KIM ET AL., 2018)

De hoeveelheid water, die gewonnen kan worden wanneer gebruik wordt gemaakt van een sorptieoppervlak, hangt af van de eigenschappen van het materiaal, de luchtvochtigheid, luchtdruk en temperatuur. Het onderzoek hiernaar richt zich voornamelijk op de omstandigheden in woestijnen (Fathieh et al., 2018; Kim et al., 2017), waardoor het lastig is in te schatten hoeveel water er potentieel met dergelijke methoden gewonnen zou kunnen worden uit de atmosfeer in Nederland en België. De MOFs uit Figuur 6-8 en andere materialen (Jeremias et al., 2013; Rezk et al., 2012) lijken de in gematigde, relatief vochtige omstandigheden minder efficiënt te functioneren (minder steile grafiek) dan in warmere, minder vochtige klimaten, maar er bestaan ook MOFs die steilere grafieken hebben bij hogere luchtvochtigheden (Figuur 6-9). Op basis van de MOF PIZOF-2 (Kim et al., 2017), lijkt bijvoorbeeld bijna 0.7 kg water per kg MOF winbaar te zijn bij een luchtvochtigheidsverschil zoals dit in Nederland gemiddeld voorkomt (gemiddelde dagelijkse minima en maxima in de Bilt waren in de periode 1995-2015 respectievelijk 71% en 93% (KNMI, 2018c)). De hoeveelheid water die door textiele vezels kan worden gewonnen (Figuur 6-10) is in verhouding daartoe relatief laag (< 0.1 kg/kg), maar niet insignificant.

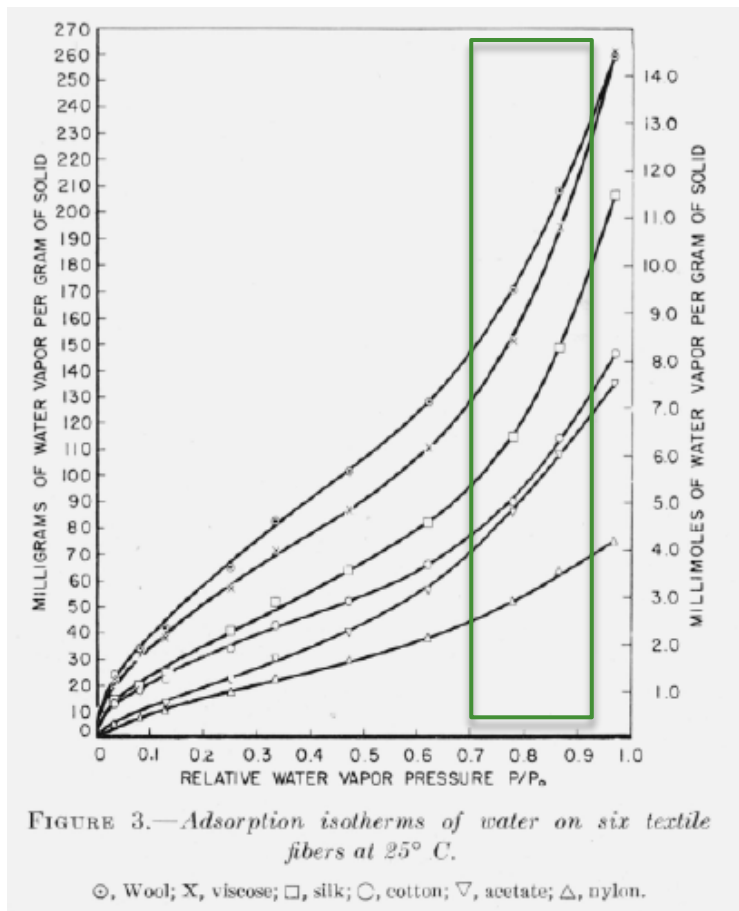
De hier genoemde getallen zijn schattingen op basis van de sorptie-isothermen bij 25 °C. Werkelijke winbare hoeveelheden zijn kleiner, omdat het evenwicht niet volledig bereikt zal worden binnen een etmaal. Daarnaast hangt de hoeveelheid water die na desorptie zal condenseren sterk af van de temperatuur en de eigenschappen van het apparaat (bijvoorbeeld het volume).

Ook moet er rekening mee worden gehouden dat dergelijke processen onderhevig zijn aan hysteresis. Dit wil zeggen dat het proces van adsorptie via een ander pad verloopt dan het omgekeerde proces, desorptie. Voor adsorptie van een zelfde hoeveelheid water kan bijvoorbeeld een ander partieel drukverschil benodigd zijn dan voor desorptie van dezelfde hoeveelheid water. Deze hysteresis is goed vergelijkbaar met bijvoorbeeld de voor hydrologen bekende hysteresis die bij de bodemvocht karakteristiek voorkomt, waarbij het vochtiger worden van bodemmateriaal via een ander pad verloopt dan het drogen.

Om tot een betere inschatting te komen en om te voorspellen welke materialen het meest geschikt zouden zijn voor het winnen van water uit luchtvochtigheid in het Nederlandse en Belgische klimaat, zijn sorptie-isothermen van dergelijke materialen nodig die bij lagere temperaturen (bijvoorbeeld 5 °C, 10 °C en 20 °C) zijn vastgesteld.



FIGUUR 6-9. WATERADSORPTIE ISOTHERMEN VAN 4 VERSCHILLENDE MOFS BIJ 25 GRADEN CELSIUS (KIM ET AL., 2017).



FIGUUR 6-10. ADSORPTIE VAN WATER AAN ZES TYPEN TEXTIELVEZELS BIJ 25 GRADEN CELSIUS. BRON: ROWEN & BLAINE (1947). IN GROEN AANGEGEVEN IS DE TYPISCHE RANGE WAAROVER DE LUCHTVOCHTIGHEID IN NEDERLAND VARIËERT (GEMIDDELDE DAGELIJKSE MINIMA EN MAXIMA IN DE BILT WAREN IN DE PERIODE 1995-2015 RESPECTIEVELIJK 71% EN 93% (KNMI, 2018C)).

Energie

Zoals weergegeven in Tabel 6-1 moeten grote volumes lucht aangevoerd en gekoeld worden om bruikbare hoeveelheden water te produceren. Of dit soort technieken in de praktijk toepasbaar zal zijn, zal vooral afhangen van de hoeveelheid energie die benodigd zal zijn voor de waterproductie en of de kosten en benodigde ruimte daartoe in verhouding zijn. In de literatuur zijn geen waarden gevonden voor het actuele energieverbruik van apparaten die actief lucht koelen (waarbij ook volume aangevoerde lucht en aantal graden koeling genoemd worden). Koelende apparaten zoals airconditioners staan er wel om bekend dat deze relatief veel energie verbruiken. Hoewel deze factor hier onbekend blijft, wordt verwacht dat het energieverbruik een knelpunt kan vormen voor de bruikbaarheid van deze bron.

6.1.2 Kwaliteit

In de literatuur is geen informatie gevonden over de waterkwaliteit van water dat uit luchtvochtigheid afkomstig is. Het mag echter aangenomen worden dat dit water relatief weinig zouten bevat, behalve zeer dichtbij de kust. Verwacht wordt dat eventuele verontreinigingen voornamelijk afkomstig zijn uit de atmosfeer en het apparaat zelf, waardoor het mogelijk is dat het water (beperkte hoeveelheden) pathogenen, organische microverontreinigingen en stofdeeltjes kan bevatten.

6.1.3 Perceptie

Er is geen informatie bekend met betrekking tot de perceptie van het gebruik van luchtvochtigheid voor drinkwater.

6.1.4 Samengevat

Er is meer onderzoek nodig om te kunnen concluderen of het gebruik van luchtvochtigheid kansrijk is voor de productie van drinkwater. De grootste onzekerheden hieromtrent zijn de energievraag en de benodigde zuivering met betrekking tot de waterkwaliteit. Het lijkt voordelig dat deze bron een grotere beschikbaarheid heeft tijdens de zomerperiode.

6.2 Mist

Mist is verwant aan luchtvochtigheid aangezien het zich in de atmosfeer bevindt. Het verschil is echter dat mist reeds is gecondenseerd is en daarom uit kleine waterdruppels bestaat, terwijl luchtvochtigheid uit damp bestaat. Mist ontstaat bij sterke afkoeling van de lucht, waarbij de relatieve luchtvochtigheid boven de 100% komt.

In sommige delen van de wereld, zoals bergachtige gebieden waar veel mist voorkomt en andere waterbronnen of infrastructuur niet voorhanden zijn, wordt mist gewonnen om te gebruiken als drinkwater (FogQuest, 2018).

Of een gebied geschikt is om mist te gebruiken als waterbron, hangt af van (OAS & UNEP, 1997):

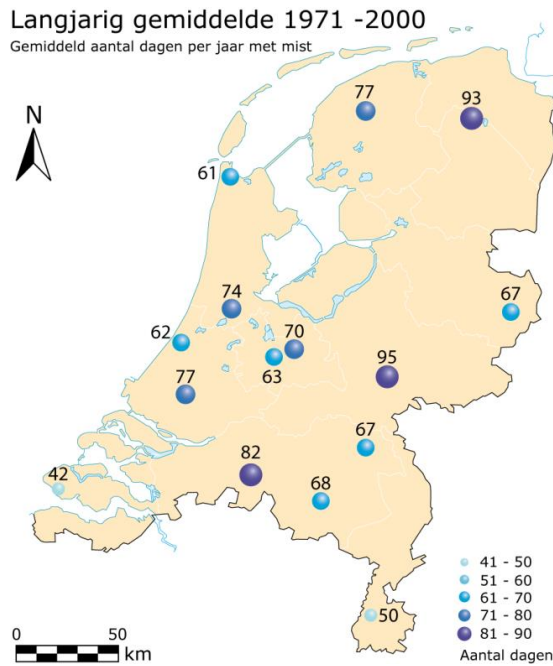
- Globale windpatronen (richting, constantheid)
- Topografie
- Reliëf van de omgeving
- Hoogte
- Oriëntatie van de topografie
- Afstand tot de kust
- Ruimte voor mistcollectoren
- Ligging ten opzichte van bovenwindse gebieden en helling

Voor het winnen van mist (in het Engels *fog harvesting*) worden speciaal gefabriceerde structuren en oppervlakken gebruikt (Park et al., 2013), zoals doeken of netten van nylon of polypropyleen (OAS & UNEP, 1997) die verticaal gespannen worden. De eigenschappen van deze middelen worden vaak geïnspireerd door eigenschappen van planten en dieren die in droge omgevingen water winnen uit de atmosfeer (Andrews et al., 2011; Zhang et al., 2015).

6.2.1 Potentieel beschikbaar water

In Nederland varieert het voorkomen van mist zeer sterk over de tijd en over de ruimte (KNMI, 2018a). Mist kan het hele jaar voorkomen, maar ontstaat vaker in de herfst en winter wanneer door de stand van de zon een langduriger nachtelijke afkoeling mogelijk is. Het KNMI registreert mist op uurbasis voor verschillende meetstations (Figuur 6-11). Bij de uurmetingen van stations de Bilt, Eelde, de Kooy, Vlissingen en Maastricht van 1995 – 2015 kwam mist in 3% van de metingen voor.

Het is niet bekend hoeveel water er maximaal uit mist gewonnen kan worden, maar uit de KNMI data lijken er per mist-event maximaal enkele grammen per kubieke meter lucht tot condensatie te komen op basis van de verandering van de absolute luchtvochtigheid ten opzichte van een uur eerder.



FIGUUR 6-11. GEMIDDELD AANTAL DAGEN PER JAAR MET MIST VOOR KNMI MEETSTATIONS (BRON: KNMI).

Mist is een diffuse bron van water, die in Nederland op zeer onregelmatige basis beschikbaar is.

6.2.2 Kwaliteit

In de literatuur is geen informatie gevonden over de waterkwaliteit van water dat uit mist afkomstig is. Het mag echter, net als bij luchtvochtigheid, aangenomen worden dat dit water relatief weinig zouten bevat, behalve zeer dichtbij de kust. Verwacht wordt dat eventuele verontreinigingen voornamelijk afkomstig zijn uit de atmosfeer. In literatuur betreffende mistwinning in afgelegen gebieden (OAS & UNEP, 1997) wordt gewaarschuwd voor de vorming van algen op mistnetten. Ook kunnen mistnetten ongewenste deeltjes (insecten, planten, stof) opvangen.

6.2.3 Perceptie

Er is geen literatuur bekend omtrent de perceptie van drinkwaterproductie uit mist.

6.2.4 Samengevat

Het winnen van mist voor de productie van drinkwater lijkt voor Nederland en België niet kansrijk in verband met de lage verwachte potentiële beschikbaarheid. Bij de winning van luchtvochtigheid (Hoofdstuk 6.1) zou mist tegelijkertijd gewonnen worden met luchtvochtigheid in dampvorm, waarbij de potentiële opbrengst hoger ligt.

6.3 Luchtvochtigheid: airconditioning

Bij het afkoelen van lucht ontstaat condens, omdat warmere lucht meer vocht kan bevatten dan koudere lucht, zie sectie 6.1. Bij het gebruik van airconditioners en klimaatsystemen wordt de lucht afgekoeld, waardoor in deze apparaten condens ontstaat (Algarni et al., 2018). Daarnaast werken veel airconditioners ook als luchtontvochtiger (door koeling van de lucht die door het apparaat stroomt naar lagere temperaturen dan de gewenste temperatuur van de ruimte), waardoor nog meer condenswater vrijkomt.

6.3.1 Potentieel beschikbaar water

De hoeveelheid condenswater die vrijkomt is afhankelijk van de geïnstalleerde systemen en de omstandigheden. Het koelvermogen, volume gekoelde lucht en de relatieve luchtvochtigheid bepalen voor een groot deel de hoeveelheid condenswater. Schatting van hoeveelheden voor de koeling van een compleet huis in de VS lopen uiteen van 18.9 tot 75.7 l/d (Alliance for Water Efficiency, 2018). In de VS wordt condenswater al hergebruikt bij enkele overheidsgebouwen en universiteiten. De Environmental Protection Agency heeft een systeem voor hergebruik van condens water geïnstalleerd bij hun Science and Ecosystem Support Division (SESD) in de staat Georgia. De SESD kon ongeveer 540 000 gallons water opvangen in de periode mei tot december 2008, ongeveer 16% van het totale waterverbruik (EERE Information Center, 2010). Andere schattingen uit de VS geven een range van 12 tot 40 l/dag per 100 m² (Alliance for Water Efficiency, 2018).

In een studie in de Arabische Emiraten (Magrini et al., 2017) is berekend dat het airconditioningsysteem van een hotel met 500 kamers zo'n 2-10 m³ water per dag kan produceren.

Huishoudens

Voor Nederland en België is een theoretisch hoeveelheid bepaald met behulp van de meteorologische gegevens uit sectie 6.1. Op basis van de uurdata van De Bilt in de periode tussen 1995 en 2015 is de hoeveelheid condens berekend bij een afkoeling naar 20°C met een relatieve luchtvochtigheid van 60% bij een luchttoevoer van 2 l/s per m². In Nederland en België hebben de meeste huizen geen centraal systeem voor airconditioning, maar worden vaak losse airconditioners aangeschaft voor enkele kamers. Daarom is voor de berekening uitgegaan van een kamer van 20 m². Met deze aannames wordt de hoeveelheid condenswater geschat op gemiddeld 1.7 l/d en maximale hoeveelheden op warme dagen rond 30 l/d per huishouden. Voor Nederland en België is het aantal huishoudens met airconditioners geschat tussen de 4.7 en 6.9 % van het totaal (Jakubcionis & Carlsson, 2017). Andere schattingen voor Nederland komen op 5% (VROM, 2009) en 6% (Menkveld & Beurskens, 2009) van de huishoudens. Het condenswater van airconditioners zal voornamelijk in de zomer beschikbaar zijn en vrijwel niet in de winter. De hier gepresenteerde hoeveelheden zijn gebaseerd op optimale omstandigheden en zullen in de praktijk lager zijn.

Kantoren

De hoeveelheden beschikbaar condenswater zijn sterk afhankelijk van het geïnstalleerde systeem, het doel van het gebouw en het gebouwontwerp. De exacte hoeveelheden zijn daardoor moeilijk in te schatten. Voor een ruwe schatting is dezelfde berekening gebruikt als voor de schatting van huishoudelijk gebruik. Het totale kantooroppervlak werd geschat op 49 553 000 m² voor Nederland in 2015 (Bak, 2017) en op 15 350 000 m² voor Vlaanderen en Brussel (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2001). Uitgaande van deze waarden is de hoeveelheid condenswater gemiddeld zo'n 8.5 l/d per kantooroppervlak van 200 m², met een maximum van 167 l/d. Wanneer alle kantoren voorzien zijn van een dergelijke airconditioning zou dit neerkomen op 83 183 m³/d voor Nederland en 25 767 m³/d voor Vlaanderen en Brussel.

6.3.2 Kwaliteit

De kwaliteit van het condenswater is niet exact bekend, die is mede afhankelijk van het geïnstalleerde systeem. In het algemeen kan gesteld worden dat het condenswater weinig mineralen bevat. Er kunnen zware metalen in voorkomen door de materialen uit de apparatuur zelf, daarnaast kan vervuiling door schoonmaakmiddelen optreden. Ook kunnen stofdeeltjes en ziekteverwekkers, afkomstig uit de gekoelde ruimten, voorkomen. Vanwege het gevaar voor bacteriën (bijvoorbeeld legionella), is eerst zuivering nodig voor direct menselijk contact.

6.3.3 Perceptie

Er is geen informatie bekend omtrent de perceptie van het gebruik van water uit huishoudelijke airconditioning voor de bereiding van drinkwater.

6.3.4 Samengevat

De hoeveelheid water die uit airconditioning gewonnen kan worden is per puntbron relatief klein en is alleen tijdens warme dagen beschikbaar. Hoewel geen gegevens omtrent de kwaliteit bekend zijn, zal zuivering naar verwachting nodig zijn om gebruik te kunnen maken van deze bron.

6.4 Luchtvochtigheid: huishoudelijke warmtepompen

Warmtepompen zijn apparaten die kunnen verwarmen of koelen door arbeid te verrichten. Dit onderdeel is gericht op warmtepompen die gebruikt worden voor de verwarming en koeling van huishoudens, en die aangedreven worden door elektriciteit. Deze warmtepompen worden omschreven als een mogelijk duurzamer alternatief voor ruimteverwarming dan de cv-ketel op aardgas. De meest gebruikte warmtepompen onttrekken warmte aan de omgevingslucht, maar er zijn ook systemen waarbij warmte uitgewisseld wordt met de bodem of het grondwater. Naast het verwarmen van ruimtes en water kunnen bepaalde typen warmtepompen gebruikt worden om ruimtes te koelen als het warm is.

6.4.1 Potentieel beschikbaar water

Wanneer lucht afgekoeld wordt kan condens ontstaan (zie sectie 6.1). Warmtepompen die gebruik maken van de omgevingslucht koelen de buitenlucht wanneer er binnenshuis verwarmd wordt. Daarnaast kan bij bepaalde typen warmtepompen ook de binnenlucht gekoeld worden, waarbij condens kan ontstaan, vergelijkbaar met airconditioning. Het verschil met airconditioning is dat warmtepompen alleen koelen en niet tevens ontvochtigen. Daarnaast wordt door warmtepompen ook geen extra lucht aangevoerd. Om deze redenen is de hoeveelheid condenswater die geleverd zou kunnen worden, een stuk lager dan het geval zou zijn bij airconditioning.

Op dezelfde manier als in sectie 6.1.1 is op basis van enkele aannames geschat hoeveel water maximaal gewonnen zou kunnen worden bij koeling van de binnenlucht. Hierbij is uitgegaan van koeling van de binnenlucht naar 20 graden, bij een luchtverversing van 20 m³ per uur. Aangezien het op veel dagen niet warmer is dan 20 graden, is de opbrengst op veel dagen nihil, wat een gemiddelde (over 30 jaar) oplevert van minder dan een milliliter per dag. Tijdens warme dagen is de opbrengst groter, maar door de beperkte luchtverversing blijft de maximumopbrengst onder een kwart liter per dag. Kwaliteit

Het is niet bekend van welke kwaliteit het water heeft dat gewonnen zou kunnen worden door koeling door warmtepompen. Net zoals bij airconditioning (6.3.2) wordt verwacht dat dit water weinig zouten bevat, maar mogelijk wel verontreinigingen kan bevatten, zoals pathogenen, stofdeeltjes, mogelijke resten van schoonmaakmiddelen en opgeloste metalen uit de apparatuur zelf.

6.4.2 Perceptie

Er is geen informatie bekend omtrent de perceptie van het gebruik van water uit warmtepompen voor de bereiding van drinkwater.

6.4.3 Samengevat

Uit een grove schatting blijkt dat de koeling van de binnenlucht door een warmtepomp waarschijnlijk zeer weinig water zou opleveren. Deze bron lijkt daarom niet kansrijk.

6.5 Koelen en vriezen

In de atmosfeer is altijd water in de vorm van damp aanwezig. Zoals reeds beschreven in sectie 6 kan warmere lucht meer vocht bevatten dan koudere lucht. Wanneer lucht gekoeld wordt ontstaat daarom vaak condens, de vorming van waterdruppels uit luchtvochtigheid. Wanneer er sprake is van een temperatuur onder het vriespunt kan er ook rijp gevormd worden, waarbij damp direct omgezet wordt in ijs. In koel- en vrieskasten ziet men daarom vaak druppels of ijs ontstaan op de wanden.

6.5.1 Potentieel beschikbaar water

De hoeveelheid water die gewonnen kan worden uit het koelen van lucht is sterk afhankelijk van het temperatuurverschil (uiteeraard in combinatie met de relatieve luchtvochtigheid) en de hoeveelheid aangevoerde lucht. Bij huishoudelijke koel- en vrieskasten zal de hoeveelheid aangevoerde lucht de grootste beperking vormen, aangezien men de deuren van koel- en vrieskasten bij voorkeur zoveel mogelijk dicht probeert te houden. Wanneer aangenomen wordt dat er per dag maximaal 1 m³ aan lucht ververst wordt, zou de dagelijks geproduceerde hoeveelheid water of ijs in de ordegrootte van milliliters vallen (afhankelijk van de temperatuur en luchtvochtigheid binnenshuis).

Bij grotere koel- en vriessystemen, zoals voor bedrijven en industrie, zou de opbrengst van gecondenseerd water (of ijs) groter kunnen zijn. Op basis van de methode uit sectie 6.1.1 is geschat hoeveel water zou kunnen condenseren bij verschillende koel- en vriestemperaturen en verschillende volumes aangevoerde lucht. Hierbij is uitgegaan van de buitenluchttemperatuur en luchtvochtigheid in de periode 1995-2015. Bij deze (grote) schatting is geen rekening gehouden met gecontroleerde luchtvochtigheid, zoals deze soms wordt toegepast om de houdbaarheid van producten te vergroten.

TABEL 6-2. GESCHATTE HOEVEELHEID CONDENSATER BIJ VERSCHILLENDE KOEL- EN VRIESTEMPERATUREN EN VERSCHILLENDE VOLUMES AANGEVOERDE BUITENLUCHT.

Koeltemperatuur	Aangevoerde lucht		
	1 m ³ /uur	10 m ³ /uur	100 m ³ /uur
5 °C	0.02 m ³ /jaar	0.2 m ³ /jaar	2 m ³ /jaar
-5 °C	0.04 m ³ /jaar	0.4 m ³ /jaar	4 m ³ /jaar
-20 °C	0.06 m ³ /jaar	0.6 m ³ /jaar	6 m ³ /jaar

6.5.2 Kwaliteit

Het water dat ontstaat door condensatie in koel- en vriessystemen kan verontreinigingen bevatten uit de omgevingslucht (stofdeeltjes, pathogenen, organische microverontreinigingen), de koelinstallatie zelf (metalen) en de stoffen die in de gekoelde ruimte aanwezig zijn.

6.5.3 Perceptie

Er zijn geen gegevens bekend omtrent de perceptie van het gebruik van condenswater uit koel- en vriessystemen voor de productie van drinkwater.

6.5.4 Samengevat

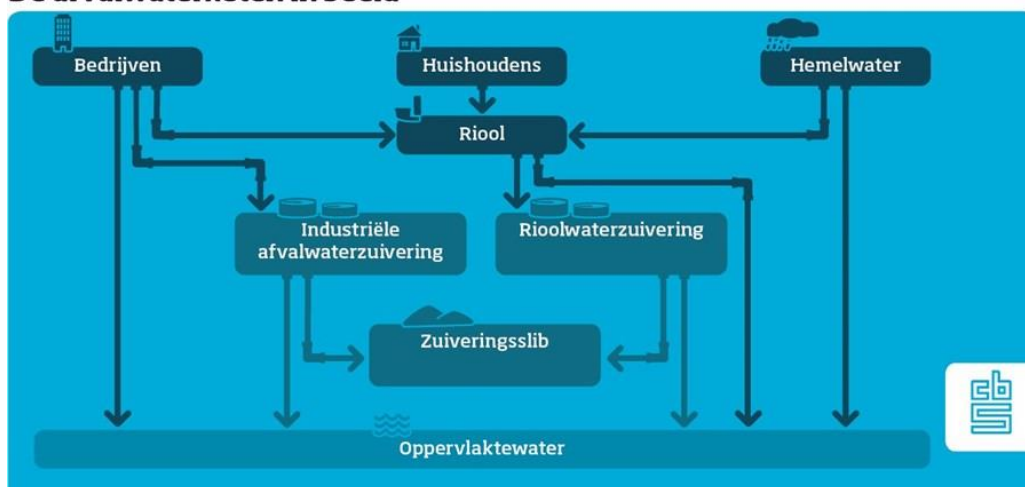
In de meeste soorten koel- en vriessystemen zijn de hoeveelheden condenswater waarschijnlijk zeer klein, waardoor deze bron niet kansrijk is.

7 Restwaterstromen

7.1 Restwater uit huishoudens, bedrijven en overheidsgebouwen: RWZI's of lokaal verzameld

Het afvalwater afkomstig uit huishoudens, bedrijven en overheidsgebouwen wordt verzameld in de rioolwaterzuivering (RWZI). Een groot deel van dit afvalwater is ook regenwater, dat via een gecombineerd rioolstelsel bij de rioolwaterzuivering terecht komt. Figuur 7-1 geeft een schematisch overzicht van de afvalwaterketen.

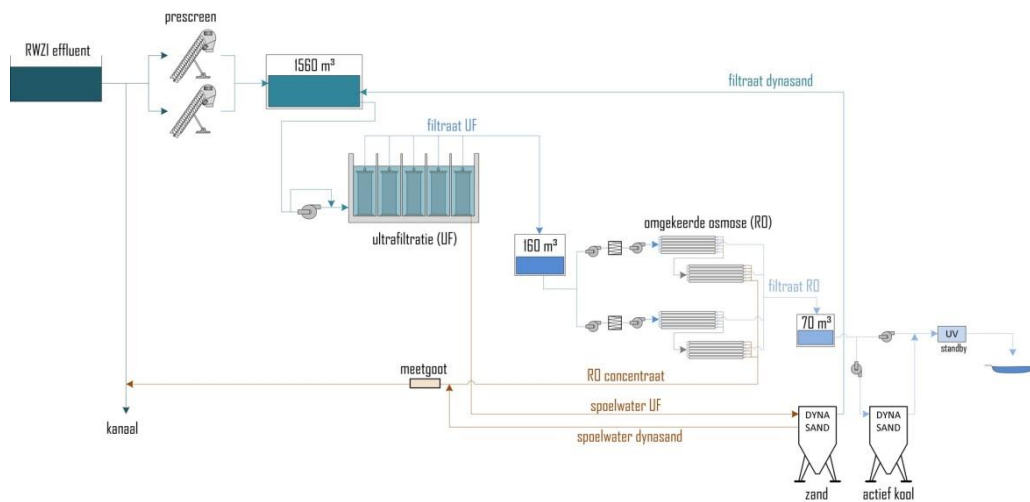
De afvalwaterketen in beeld



FIGUUR 7-1. SCHEMATISCHE WEERGAVE AFVALWATERKETEN. (BRON: (CBS, 2017))

In Nederland wordt restwater niet hergebruikt om er drinkwater van te maken en wordt het in de meeste gevallen op het oppervlaktewater geloosd. Wel vindt er onderzoek plaats naar hergebruik van restwater voor andere doeleinden, zoals bijvoorbeeld de landbouw (Bartholomeus et al., 2017; Cirkel et al., 2017; Roex et al., 2017). Ook wordt restwater soms ingezet als industrieel proceswater (Hooimeijer, 2016). Wanneer er oppervlaktewater gewonnen wordt voor drinkwater, kan er echter sprake zijn van onbewust hergebruik van restwater, omdat het oppervlaktewater voor een significant percentage uit effluent kan bestaan (Nguyen et al., 2018; ter Laak et al., 2013).

In België wordt restwater op één locatie wel ingezet in de drinkwatervoorziening. Hierbij wordt het effluent van een RWZI (Wulpen) gezuiverd, waarna duinpassage plaatsvindt, voordat het teruggewonnen wordt bij pompstation Torreele van de IWVA ten behoeve van de drinkwatervoorziening (Figuur 7-2) (IWVA, 2018).



FIGUUR 7-2. ZUIVERINGSSTAPPEN VAN RWZI-EFFLUENT AFKOMSTIG VAN RWZI WULPEN VOORDAT HET NAAR HET DUINSYSTEEM WORDT GEÏNFILTREERD TEN BEHOEVE VAN DE DRINKWATERVOORZIENING (IWVA, 2018).

7.1.1 Potentieel beschikbaar water

Het geproduceerde volume afvalwater volgt grotendeels het huishoudelijke drinkwaterverbruik. Tijdens de zomer zal de stroom in verhouding echter iets afnemen, doordat drinkwater gebruikt wordt om bijvoorbeeld tuinen te sproeien. Wanneer neerslag via het riool wordt afgevoerd, zullen daarnaast pieken ontstaan als gevolg van buien. Restwater uit huishoudens en bedrijven kan op verschillende schalen worden gewonnen. Het meest voor de hand liggend is de schaal van de RWZI, waar het water gezuiverd wordt.

In Nederland liggen momenteel zo'n 352 RWZIs verspreid over het land (Stichting Nederlandse Watersector, 2018) (zie Figuur 7-4). In 2015 zuiverden deze installaties tezamen ongeveer 2 miljard m³ afvalwater (CBS, 2018), wat neerkomt op gemiddeld zo'n 5 à 6 miljoen m³ restwater per RWZI per jaar. In Vlaanderen zijn 311 RWZI's (Aquafin, 2018). Er zijn geen gegevens gevonden omtrent de hoeveelheid afvalwater in Vlaanderen, maar gezien het aantal RWZI's ten opzichte van de bevolking, wordt verwacht dat de productie per RWZI in Vlaanderen gemiddeld kleiner is dan in Nederland.

Daarnaast zou het restwater op kleinere schaal gewonnen kunnen worden, zoals per huishouden of wijk. In dat geval wordt er vaak gesproken over grijswater hergebruik. Grijswaterstromen in huishoudens zijn bijvoorbeeld het water afkomstig uit de douche, wasmachine en keuken. Zwart water is het water afkomstig van de wc, hiervan is geen hergebruik bekend. De hoeveelheid water hangt dan sterk af van het aantal bewoners en zal minder constant en bovendien niet gezuiverd door de afvalwaterzuivering zijn. De ordegrrootte van de stroom is vergelijkbaar met het drinkwaterverbruik, hoewel er aanvulling of verlies kan plaatsvinden (tuinsproeien, verneveling, neerslag). Lokaal hergebruik van restwaterstromen voor huishoudwater door middel van grijswatersystemen is op enkele locaties onderzocht, maar restwater wordt op dit niveau niet voor drinkwater ingezet.

7.1.2 Kwaliteit

Afvalwater bevat veel verontreinigingen zoals organische stof, nitraat, fosfaat, bacteriën, pathogenen, virussen, maar ook organische microverontreinigingen (bijv. persoonlijke verzorgingsproducten, pesticiden, medicijnresten).

Voordat afvalwater geloosd mag worden dient het aan een aantal eisen te voldoen. Zo mag het biologisch zuurstofverbruik (BZV) niet hoger zijn dan 20 mg/L, het chemisch zuurstofverbruik (CZV) niet hoger dan 125 mg/L en de concentratie opgeloste stoffen niet hoger zijn dan 30 mg/L (etmaalmonsters) (Infomil, 2018a). Het fosforgehalte mag niet hoger zijn dan 1 mg/L en het stikstofgehalte niet hoger dan 10 mg/L (voortschrijdende jaargemiddelde concentraties) (Infomil, 2018).

Er bestaan momenteel geen grenswaarden voor bacteriën, pathogenen, virussen en organische microverontreinigingen voor afvalwater (wel voor drinkwater). Indien gezuiverd afvalwater gebruikt wordt als bron voor drinkwater dient hier wel rekening mee te worden gehouden. Concentraties organische microverontreinigingen zijn vaak hoger in gezuiverd afvalwater ($\mu\text{g/L}$) dan in oppervlaktewater en/of grondwater (ng/L tot lage $\mu\text{g/L}$) en deze dienen adequaat verwijderd te worden uit drinkwater. Daarnaast is desinfectie uiteraard een belangrijk aandachtspunt.

Wanneer restwater lokaal wordt verzameld is het mogelijk om gescheiden stromen (grijswater, zwartwater) te onderscheiden. Tussen deze stromen kunnen zeer grote kwaliteitsverschillen ontstaan, waardoor bepaalde stromen meer geschikt zijn voor hergebruik dan andere stromen (Scheffer, 2014).

7.1.3 Perceptie

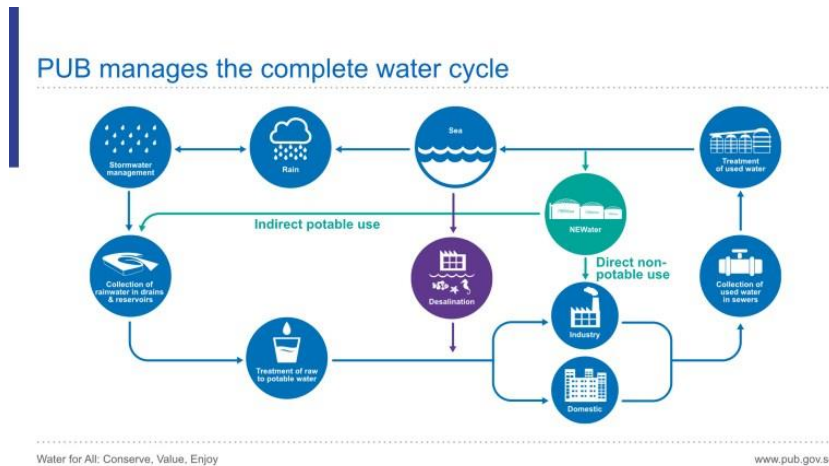
Hoewel het mogelijk is om van afvalwater drinkwater te maken, ondervindt dit idee toch vaak weerstand vanuit de maatschappij. Mensen vinden het een vies idee dat “wc water” gebruikt wordt voor het produceren van drinkwater, dit wordt ook wel de “yuck” factor genoemd en is onderwerp van vele studies naar de acceptatie van water hergebruik (Hooimeijer, 2016; Tan & Rawat, 2018).

Baumann (1983) concludeert dat de acceptatie van hergebruik van water afhankelijk is van meerdere factoren. Zo speelt het doeleinde een rol: hergebruik van water voor niet-drinkwater doeleinden zoals irrigatie en koelwater in de industrie wordt gemakkelijker geaccepteerd dan het hergebruik voor drinkwater. Andere factoren die van invloed zijn op de acceptatie van hergebruik van water zijn in hoeverre men bekend is met het waterleveringssysteem, in hoeverre het huidige systeem voldoet, maar ook inkomen. Daarnaast spelen ook politieke voorkeur, leeftijd en de houding tegenover het lokaal gezag een rol.

In verschillende landen wordt effluent direct of indirect (zoals bijv. via bodempassage) gebruikt als bron voor drinkwater, waaronder België, Singapore en Namibië.

Bij het indirecte hergebruik van effluent in België (zoals beschreven in de inleiding van 7.1) werd deze alternatieve bron maatschappelijk geaccepteerd. Wellicht had dit te maken met eerdere watertekorten (besef van schaarste), maar mogelijk ook met zeer vergaande zuivering met onder andere duinfiltratie, heldere communicatie en een verbeterde waterkwaliteit (Kok & Peters, 2008).

Singapore is een ander voorbeeld waarbij het indirecte hergebruik van afvalwater tot drinkwater wordt geaccepteerd. Hier wordt het afvalwater gezuiverd en vervolgens naar een reservoir geleid waar het mengt met regenwater. Vanuit het reservoir wordt het water ingenomen en gebruikt voor de productie van drinkwater (Figuur 7-3). Maatschappelijke acceptatie was in dit geval één van de redenen om te kiezen voor indirect hergebruik in plaats van direct hergebruik (Tan & Rawat, 2018).



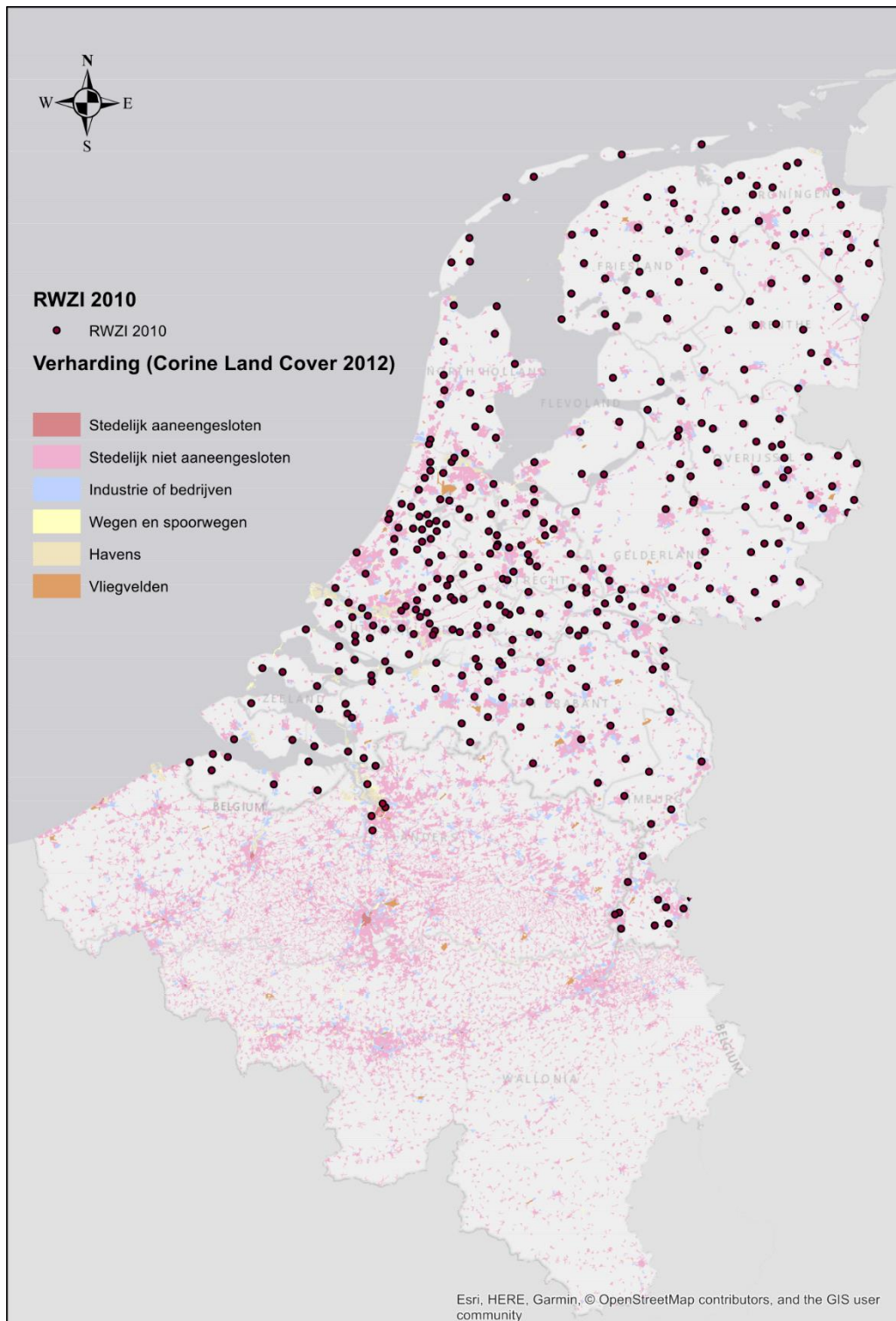
FIGUUR 7-3. DE WATERCYCLUS IN SINGAPORE (TAN & RAWAT, 2018)

In sommige gevallen lijkt direct hergebruik de enige mogelijkheid, zoals bijvoorbeeld in Namibië. Zo is er in Windhoek al begonnen afvalwater te zuiveren tot drinkwater voor circa 300.000 inwoners (Veolia, 2018), nadat waterbronnen opdroogden. In de tijd dat men begon met het zuiveren van RWZI effluent voor drinkwater speelde perceptie geen belangrijke rol, omdat de bevolking tijdens het apartheid-regime weinig te zeggen had. In de huidige tijd lijkt men in ieder geval tevreden met de watervoorziening (Gross, 2016).

Een ander perspectief op het hergebruik van restwater is dat een volledige kringloopsluiting betekent dat de menselijke watercyclus (van drink- en proceswater naar restwater) onafhankelijk wordt van de natuurlijke watercyclus (verdamping, neerslag, grondwater, oppervlaktewater). Dit houdt in dat potentieel schadelijke stoffen uit restwater niet langer in het milieu terecht komen. De afgelopen eeuw zijn grote stappen vooruit gezet wat betreft het zuiveren van restwater via RWZI's. Als deze trend doorzet en het effluent steeds schoner wordt, gaat hergebruik steeds meer voor de hand liggen. Wanneer dit overwogen zou worden, zou overigens ook onderzocht moeten worden wat de gevolgen zijn voor het lokale watersysteem. Wanneer geloosd word op grote wateren, zoals de zee of grote rivieren, zullen de gevolgen van het stopzetten van lozingen naar verwachting klein zijn. Bij kleine wateren, vooral bij beken, kunnen er gevolgen zijn voor de afvoer, waardoor ecologische waarden mogelijk in het geding komen.

7.1.4 Samengevat

Het gebruik van gezuiverd afvalwater als bron voor drinkwater in de toekomst lijkt relatief kansrijk, doordat het aanbod relatief goed matcht met de vraag. Ook zijn er in andere landen al diverse vormen van hergebruik van afvalwater succesvol toegepast. Wel is de maatschappelijke acceptatie van deze bron een belangrijk aandachtspunt.



FIGUUR 7-4. RWZI'S IN NEDERLAND EN ANTWERPEN (INFORMATIE OVER OVERIGE BELGISCHE RWZI'S NIET BESCHIKBAAR), GEPLOT OP DE VERHARDINGSKAART VAN NEDERLAND EN BELGIE (BRONNEN: NATIONAAL GEOREGISTER, GEOPUNT.BE EN CORINE LANDCOVER 2012).

7.2 Restwater uit industrie: vloeibaar water en damp

Nederland en België kennen een grote diversiteit aan industrieën en bijbehorende activiteiten en processen. Bij veel van deze industriële processen wordt restwater of damp geproduceerd. Gezien de veelheid aan industrieën wordt in deze sectie algemene informatie op een rijtje gezet. Secties hieronder zullen ingaan op industrieën waarvan gedetailleerdere informatie beschikbaar is.

7.2.1 Potentieel beschikbaar water

Voor Nederland geeft het CBS (Graveland et al., 2017) een overzicht van waterstromen in verschillende industrietakken. Hierin is weergegeven wat de omvang is van waterstromen voor de typen industrie, waaronder het water wat in producten zit en restwaterstromen die naar zuivering of oppervlaktewater gaan, waarbij waterstromen in de vorm van damp als restpost zijn beschouwd (Tabel 7-1). De tabel omvat restwater in het algemeen en maakt onderscheid wanneer er sprake is van koelwater of damp/condens. Dit overzicht geeft een beeld van welke industrieën veel water produceren, maar geeft geen informatie omtrent waterproductie per puntbron. Ook moet er rekening mee worden gehouden dat binnen industrietakken grote verschillen kunnen bestaan (binnen de energie-industrie is bijvoorbeeld veel meer waterproductie te verwachten bij een producent dan bij een netbeheerder), en dat er in sommige gevallen negatieve stromen als restpost genoteerd zijn. Het is niet bekend of deze negatieve reststromen te verklaren zijn door bijvoorbeeld hergebruik.

TABEL 7-1. WATERSTROMEN UIT VERSCHILLENDE TYPEN INDUSTRIE ZOALS GERAPPORTEERD DOOR HET CBS (GRAVELAND ET AL., 2017). JAARLIJKSE PRODUCTIE VAN RESTWATER, MET BIJBEHOREND PERCENTAGE KOELWATER (WAARVAN BRAK OF ZOUT) EN HOEVEELHEID DAMP- OF CONDENSPRODUCTIE (BEREKEND ALS RESTPOST VAN DE WATERBALANS).

Type industrie	Restwater (Mm ³ /j) (waarvan geloosd op oppervlakte-water)	Percentage koelwater (waarvan brak of zout)	Restwaterdamp/ condens (Mm ³ /j)
Land/bosbouw en visserij	27 (21)	1% (0%)	73
Energie	9774	±100% (51%)	588
Cokes/petroleum	681 (670)	99% (0%)	10
Chemie	2025 (1979)	96% (23%)	-28
Voeding	323 (225)	58% (5%)	-12
Metaal	246 (224)	96% (73%)	6
Fabricage overig	126 (77)	53% (0%)	13
Watervoorz. en afval(-water)	2236 (2228)	16% (0%)	227

Restwater kan ontstaan uit verschillende typen processen. Een belangrijke bron van restwater in de industrie is koelwater (Tabel 7-1), dat in veel gevallen uit oppervlaktewater is

gewonnen en bij lozing extra warmte en eventueel toegevoegde chemicaliën bevat. Daarnaast kan veel water vrijkomen bij het drogen van producten, zoals bijvoorbeeld in de voedings- en papierindustrie. Ook wordt water als hulpstof gebruikt bij zeer veel processen, zoals het wassen/schoonmaken van een product of als oplosmiddel voor stoffen. Een categorie die hieronder apart wordt behandeld zijn de rookgassen. De waterdamp die vrijkomt bij de verbranding van brandstoffen in bijvoorbeeld huishoudens wordt behandeld in Hoofdstuk 8.

De restwaterstroom uit de industrie is vaak te groot om via het riool te lozen. Daarom wordt deze stroom vaak op het oppervlaktewater geloosd, al dan niet via een IAZI (industriële/integrale afvalwater zuivering installatie).

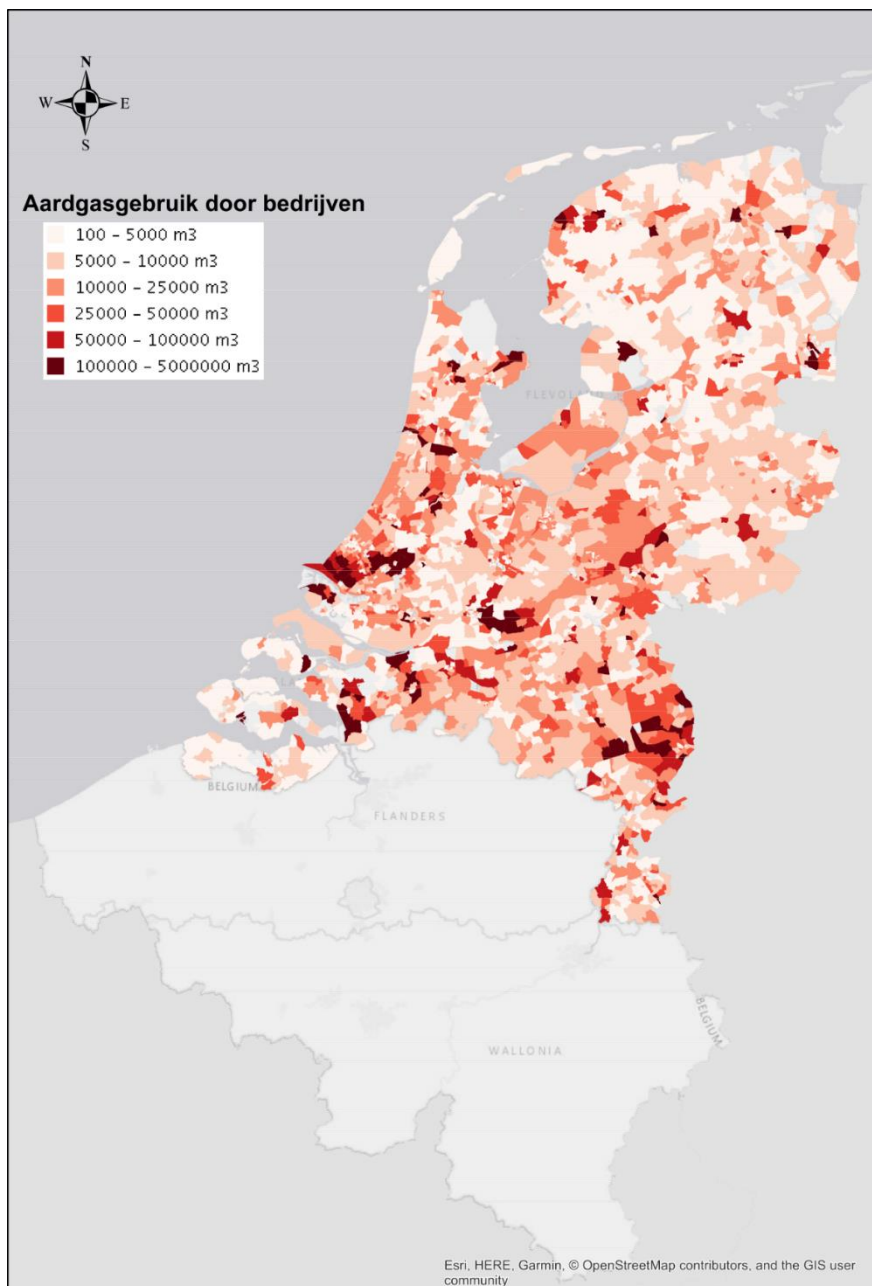
De grootste restwaterstromen van water dat geen koelwater is geweest zijn de restwaterstromen van de voedingsindustrie (zie secties 7.3, 7.4, 7.5 en 7.6) en de afvalwatervoorzieningen (7.1).

Water uit rookgassen

De rookgassen van diverse industriële processen bevatten een groot percentage waterdamp. Met behulp van membranen kan de waterdamp gescheiden worden uit de rookgassen in de schoorsteen (Brunetti et al., 2014; Daal, 2013; Daal et al., 2013; Drioli et al., 2014; Macedonio et al., 2017; Wang, 2012; Wang et al., 2015a). Deze membranen zijn al ontwikkeld en getest voor energiecentrales, en commerciële wasserettes. Er is veel potentie om dit systeem te combineren met systemen om energie terug te winnen. De techniek zou in principe na verdere ontwikkeling ook toegepast kunnen worden bij andere industrieën waar veel waterdamp vrijkomt (grasdrogerijen, voedingsmiddelenindustrie, papierindustrie). De hoeveelheid teruggewonnen water is afhankelijk van het type industrie en het gebruikte membraan. Dit teruggewonnen water is constant beschikbaar over de tijd.

Voor de VS is berekend dat in theorie de totale waterbesparing, wanneer membranen bij alle aanwezige energiecentrales toegepast worden, op kan lopen tot 8.3 miljard ton per jaar (Wang, 2012). Een pilot toegepast bij een kolencentrale in Israël kwam tot ongeveer 100 kg water per uur (gebaseerd op 30 m² membraan). Een kleinere pilot bij een papierfabriek in Nederland kwam tot een opbrengst van ongeveer 2 kg/uur voor 1 m² membraan (Daal, 2013). Bij een ander type membraan was het percentage van teruggewonnen water ongeveer 35 tot 55% (Drioli et al., 2014).

In Nederland en België liggen energiecentrales waar verbranding (van fossiele brandstoffen of afval) plaatsvindt verspreid over het land (Figuur 7-6).



FIGUUR 7-5. AARDGASGEBRUIK DOOR BEDRIJVEN (BRON: CBS VIA NATIONAAL GEOREGISTER).



FIGUUR 7-6. ENERGIECENTRALES WAAR VERBRANDING PLAATSVINDT (THERMISCHE CENTRALES) (BRON: [HTTPS://GEO.RUG.NL/ARCGIS/REST/SERVICES/WORLD_POWER/POWERPLANTS/FEATURESERVER](https://geo.rug.nl/arcgis/rest/services/world_power/powerplants/featureserver)).

7.2.2 Kwaliteit

De kwaliteit van industrieel restwater hangt sterk af van de bron van het water en de processen waarbij het water gebruikt is. Als waterbron wordt doorgaans leidingwater, oppervlaktewater of grondwater gebruikt. Bij het gebruik als proceswater kan het water verontreinigd worden met stoffen uit het (half)product of hulpstoffen. Nadat het water is gebruikt wordt het in sommige gevallen (deels) gezuiverd, voordat het op het riool of oppervlaktewater wordt geloosd. De kwaliteit van industrieel restwater kan variëren tussen relatief zuiver tot zeer verontreinigd met bijvoorbeeld nutriënten, geneesmiddelen, zware metalen, micro-organismen en andere mogelijk schadelijke chemicaliën.

Naast de industriële processen hebben andere aspecten invloed op de kwaliteit van restwater dat geloosd wordt. Eventueel hergebruik kan leiden tot verminderd waterverbruik, maar heeft vaak als gevolg dat het restwater vervuiler is (hogere concentraties van verontreinigingen) dan zonder hergebruik. Daarnaast speelt wetgeving een rol: er zijn kwaliteitseisen verbonden aan het lozen van restwater (op bijvoorbeeld oppervlaktewater). Om het restwater geschikt te maken voor lozing wordt het daarom soms gezuiverd. Deze regelgeving omvat vaak niet alle parameters (zoals specifieke organische microverontreinigingen) en daarnaast kunnen organische microverontreinigingen ook onbedoeld in het behandelde effluent aanwezig blijven indien sprake is van een haperende zuivering (van Wezel et al., 2018).

Een veelgebruikt type proceswater is koelwater. Dit water is vaak afkomstig uit (zoet of zout) oppervlaktewater of grondwater en wordt gebruikt om een proces te koelen. Aan koelwater zijn vaak stoffen toegevoegd, bijvoorbeeld om algengroei of roestvorming te voorkomen. Koelwater wordt na gebruik vaak op het oppervlaktewater geloosd. Het overzicht van het CBS (Graveland et al., 2017) geeft informatie omtrent de hoeveelheden water die als koelwater zijn gebruikt en hoeveel procent hiervan zout of brak is (Tabel 7-1).

De kwaliteit van het teruggewonnen water uit waterdamp is geschat als relatief goed. Het teruggewonnen water bevat namelijk weinig mineralen. Afhankelijk van het type membraan is het mogelijk om het teruggewonnen water als drinkwater te gebruiken.

7.2.3 Perceptie

Er zijn geen gegevens bekend omtrent de perceptie van het gebruik van industrieel restwater voor de productie van drinkwater. Verwacht wordt dat de perceptie sterk zal afhangen van het type industrie en proces waaruit het water vrij komt.

7.2.4 Samengevat

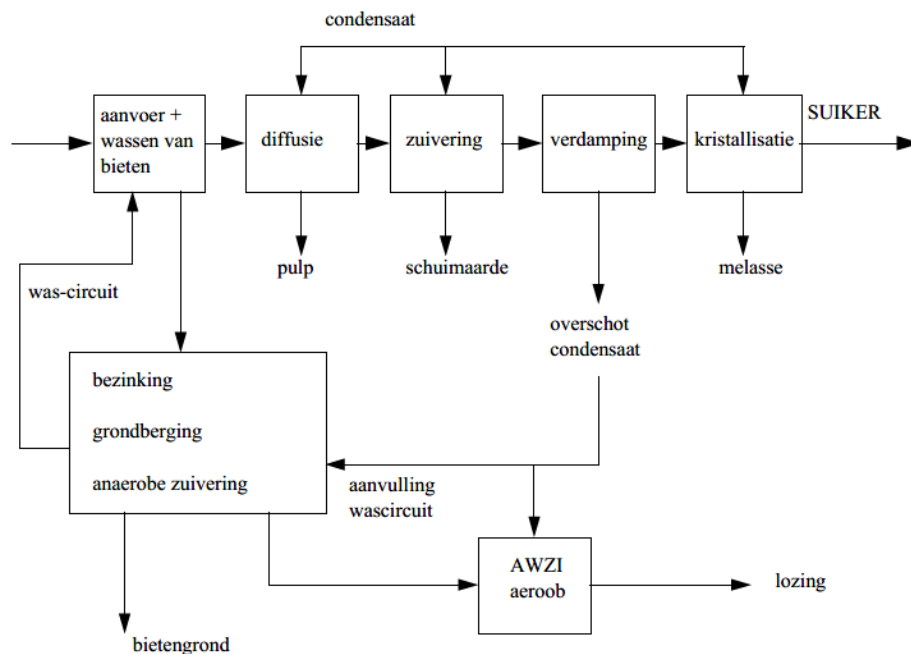
Er zijn zeer veel typen industrie waarbij grote en kleine restwaterstromen van toepassing zijn, die zowel relatief schoon als zwaar vervuild kunnen zijn. De voedingsindustrie en afvalwatervoorzieningen lijken hierbij mogelijk kansrijke bronnen. Deze zijn uitgewerkt in secties 7.3 (suiker), 7.4 (melkpoeder), 7.5 (kaas) en 7.6 (aardappelverwerking) en 7.1 (RWZI).

7.3 Voedselindustrie: Suiker

Suiker wordt gemaakt van suikerriet of suikerbieten. In Nederland worden suikerbieten gebruikt, omdat suikerriet hier niet kan groeien. Suikerbieten bestaan voor ongeveer 75% - 80% uit water (Hiddink et al., 1997; Smit & Janssens, 2016). Een schematische weergave van de productie van suiker wordt weergegeven in Figuur 7-7. Er zijn twee grote waterstromen te onderscheiden, namelijk (1) het was- en transportwater van de bieten en (2) het condensaat.

7.3.1 Potentieel beschikbaar water

De Suikerunie heeft in Nederland fabrieken in Dinteloord, Vierverlaten, en twee specialiteitenfabrieken in Puttershoek en Roosendaal (Figuur 7-8). Dinteloord verwerkt circa 3 miljoen ton bieten per jaar. Dit gebeurt in de periode September tot en met Januari en in Mei (Zuurbier et al., 2018). Hieruit komt 2,25 Mm³ water vrij. Ongeveer 0,2 Mm³ wordt omgezet in gietwater en de rest (ca. 2 Mm³) wordt geloosd op rivier De Dintel. Voor Vierverlaten geldt ongeveer dezelfde productiecapaciteit.



FIGUUR 7-7. SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN HET SUIKER PRODUCTIEPROCES (UIT: HIDDINK ET AL., 1997)

7.3.2 Kwaliteit

Het was- en transportwater bevat onder andere: suiker, kleine stukjes biet, grond, onkruid, en (stukjes) wortel (De Vletter). Daarnaast wordt het condensaat gekenmerkt door een relatief hoge pH van 10 en bevat deze stroom vluchtige vetzuren (200 mg BZV/L), ammonium (100 mg/L) en bicarbonaat (100 mg/L) (Huiting et al., 2008). Met name het ammonium gehalte is erg hoog vergeleken met de eis van maximaal 0,20 mg/L in het drinkwaterbesluit.

Het restwater van de suikerfabriek in Dinteloord wordt gezuiverd middels RO om het geschikt te maken voor ondergrondse opslag en hergebruik in de glastuinbouw. De kwaliteit van het restwater is daarom relatief hoog: het bevat zeer weinig zouten en nutriënten (Zuurbier et al., 2018).

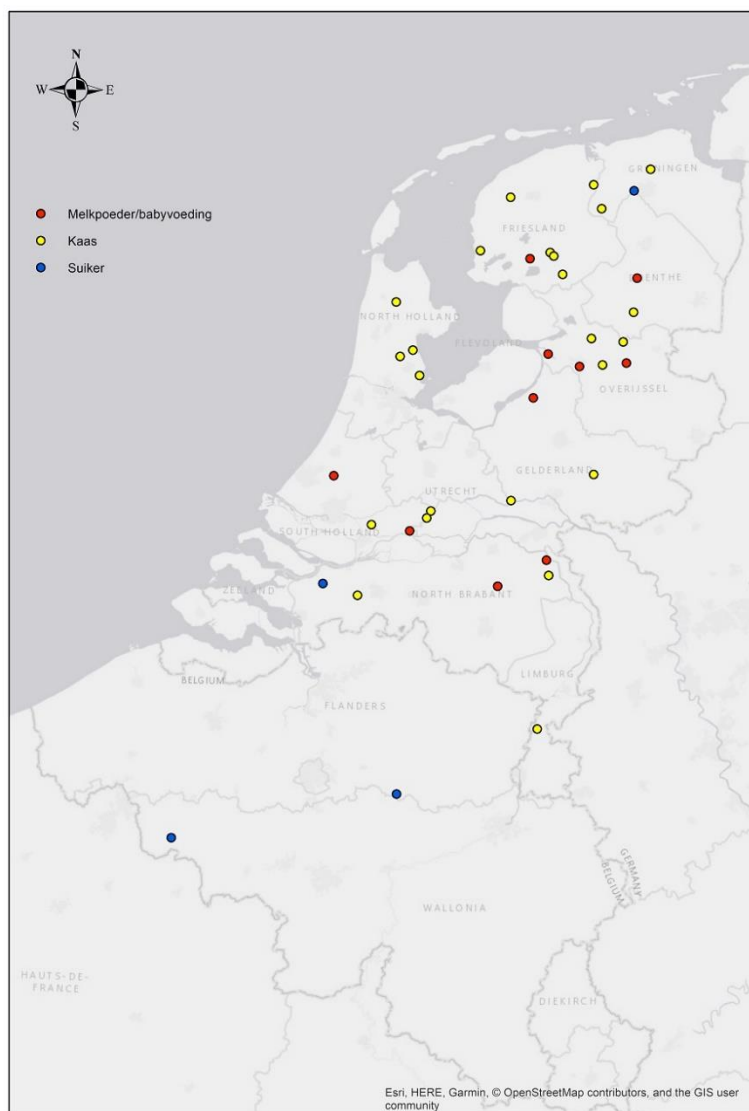
Er kan binnen de fabriek sprake zijn van hergebruik van bepaalde restwaterstromen. Dit is zeer afhankelijk van de gebruikte processen en kan een sterke invloed hebben op de kwantiteit en kwaliteit van het restwater. Hiermee is geen rekening gehouden in dit rapport.

7.3.3 Perceptie

Er zijn, voor zover de auteurs weten, geen publicaties bekend over de perceptie van mensen voor het gebruik van afvalwater uit de suikerfabriek voor drinkwaterproductie.

7.3.4 Samengevat

De hoeveelheid afvalwater die in suikerfabrieken vrijkomt ligt in de orde van miljoenen Mm^3 . Afhankelijk van eventueel aanwezige zuivering kan de kwaliteit van het restwater variëren van relatief slecht tot relatief goed.



FIGUUR 7-8. LIGGING VAN MELKPOEDER-, KAAS- EN SUIKERFABRIEKEN IN NEDERLAND EN BELGIE (VOOR BELGIE ALLEEN SUIKER BEKEND).

7.4 Zuivelindustrie: Melkpoeder

Melk bestaat voor ongeveer 87% uit water. Door water te onttrekken aan melk ontstaat melkpoeder. Grofweg bestaat dit proces uit vier stappen (www.hyfoma.com, 2018). In de eerste stap wordt de melk ingedampt. Vervolgens wordt deze stroom verder gedroogd. Hierna volgt het scheiden van het melkpoeder en de hete lucht. In een laatste stap wordt het melkpoeder geagglomereerd, er ontstaan dan korrels. Dit verbetert de oplosbaarheid en voorkomt dat het melkpoeder gaat samenklonteren.

7.4.1 Potentieel beschikbaar water

In 2017 is er in Nederland 254 miljoen kilo melkpoeder (mager en niet-mager) geproduceerd (ZuivelNL, 2017). Hierbij zal ongeveer 1700 miljoen kilo ($\approx 1,7 \text{ Mm}^3$) water vrijgekomen zijn. Dit is het maximaal mogelijk volume, geen rekening houdend met mogelijk verliezen en eventueel hergebruik dat mogelijk plaatsvindt.

Een grote fabriek kan bijvoorbeeld 1 miljoen liter melk per dag verwerken (Mons, 2016), wat zou neerkomen op een waterproductie van zo'n $0,35 \text{ Mm}^3/\text{jaar}$. Melkpoeder wordt gedurende het hele jaar geproduceerd in fabrieken die verspreid liggen over het land (Figuur 7-8 en Figuur 7-9), hoewel het aantal fabrieken en een precies overzicht ontbreken.

Aangezien melkpoeder gemaakt wordt middels een droogproces waarbij damp vrijkomt, zou het restwater gewonnen kunnen worden door een condensatieproces. Of een dergelijk proces haalbaar en/of rendabel zou kunnen zijn is niet bekend.

Er kan binnen de fabriek sprake zijn van hergebruik van bepaalde restwaterstromen. Dit is zeer afhankelijk van de gebruikte processen en kan een sterke invloed hebben op de kwantiteit en kwaliteit van het restwater. Hiermee is geen rekening gehouden in dit rapport.



FIGUUR 7-9. OVERZICHT VAN DE VERSCHILLENDE ZUIVELINDUSTRIEËN VERSPREID OVER NEDERLAND (BRON: WWW.ZUIVELNL.ORG)

7.4.2 Kwaliteit

Het condensaat dat vrijkomt bij de verdamping van melk bevat onder andere organische stof en ammonium, en is vrij warm (30-40°C) (Hiddink et al., 1997). De hogere temperatuur maakt dit een ideale omgeving voor bacteriegroei. In het kader van het hergebruik van condensaat als bron voor drinkwater dient dit water dan ook gedesinfecteerd te worden.

7.4.3 Perceptie

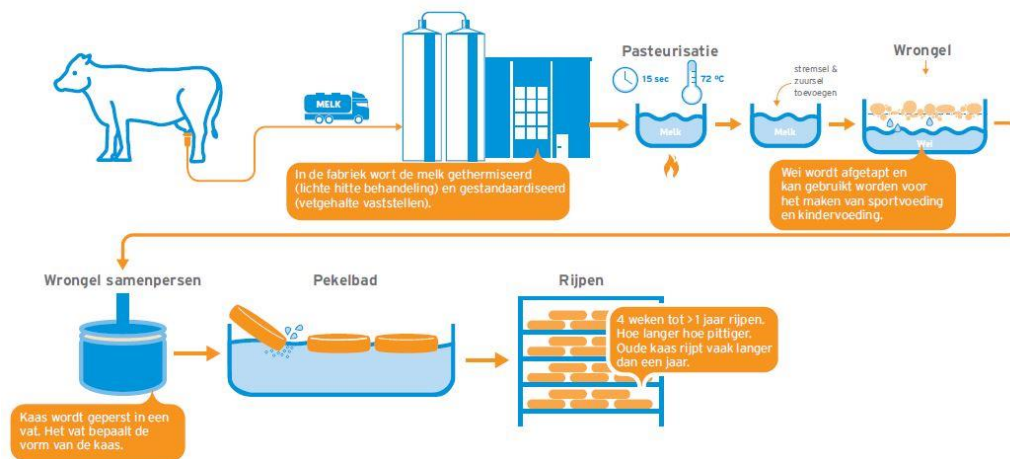
Er zijn voor zover de auteurs weten geen publicaties bekend over de perceptie van mensen voor het gebruik van afvalwater uit de melkpoederfabriek voor drinkwaterproductie.

7.4.4 Samengevat

In 2017 is er door de Nederlandse drinkwaterbedrijven 1160 miljoen m³ drinkwater geproduceerd. De hoeveelheid afvalwater die in melkpoederfabrieken vrijkomt ligt in de orde van 1 – 2 Mm³/j. Dit betekent dat er met behulp van deze waterstroom in slechts 0,09 - 0,2% van de totale drinkwatervraag voorzien kan worden. Deze bron wordt daarom als niet kansrijk bestempeld op landelijk niveau, mogelijk zijn er lokaal (buurt/wijkniveau) wel mogelijkheden.

7.5 Voedselindustrie: Kaas

De eerste stap bij het maken van kaas is het toevoegen van stremsel en zuursel aan de melk. Hierdoor ontstaat een mengsel van wrongel (vaste fase) en wei (vloeibare fase). De wei wordt afgetapt en bevat lactose, mineralen en vet. De wrongel wordt in een vorm gegoten waarna er nog meer wei kan worden uitgeperst. De gevormde kaas ondergaat vervolgens nog een pekelbad en is dan na het rijpingsproces klaar voor consumptie (Friesland-Campina, 2018). De wei die vrijkomt bij de productie van kaas is een restproduct en kan mogelijk als bron voor drinkwater dienen.



FIGUUR 7-10. PROCES VAN KAASMAKEN (BRON: FRIESLAND CAMPINA, 2018)

7.5.1 Potentieel beschikbaar water

In Nederland is in 2017 ongeveer 865 miljoen kg kaas geproduceerd. Hierbij is circa 5789 Mkg ($\approx 5,8 \text{ Mm}^3$) water vrijgekomen (ZuivelNL, 2017). In België is in dit zelfde jaar 110 miljoen kg kaas geproduceerd, wat neerkomt op zo'n $0,7 \text{ Mm}^3/\text{j}$ restwater. Kaas wordt gedurende het hele jaar geproduceerd en is beschikbaar als puntbron (de diverse kaasfabrieken) verspreid over het land, zie Figuur 7-8 en Figuur 7-9. Een overzicht of een totaal aantal van kaasfabrieken is niet beschikbaar. Ervanuit gaande dat het aantal kaasfabrieken in Nederland rond de 20 of meer ligt, zou de ordegrrootte van het vrijkomende restwater minder dan $0,3 \text{ Mm}^3/\text{j}$ zijn. Hierbij moet er uiteraard rekening mee worden gehouden dat er grote en kleine fabrieken zijn, en restwater uit andere bronnen, eventuele verliezen en eventueel hergebruik niet zijn meegenomen.

7.5.2 Kwaliteit

Wei bevat onder andere lactose, mineralen, proteïnen en vet (Slavov, 2017). Wei wordt gekenmerkt door een lagere pH van 3,4 – 6,6 (Patel et al., 1976) en een zeer hoge BOD van 26.000 – 50.000 mg/L (Patel et al., 1976). BOD staat voor Biological Oxygen Demand, waar in Nederland de term biologisch zuurstof verbruik (BZV) voor wordt gehanteerd. Om afvalwater te mogen lozen in Nederland, geldt een maximale BOD van 20 mg/L. Watkins & Nash (2013) rapporteerden ook hoge BOD₅, stikstof en fosfor waarden van respectievelijk 35.000 g/m^3 , 1400 g/m^3 en 640 g/m^3 . Shete & Shinkar (2013) rapporteerden een COD van 80.000 – 90.000 mg/L, een BOD van 120.000 – 135.000 mg/L, pH = 6 en een gehalte aan totaal gesuspendeerde stoffen van 8.000 – 11.000 mg/L.

Samengevat wordt de wei-stroom gekenmerkt door een lage pH, en een hoog gehalte aan organische stof, en nutriënten.

De kwaliteit van de wei-reststroom is erg afhankelijk van het proces dat wordt gebruikt voor indikking. Indien de wei wordt behandeld met RO, zal een relatief goede kwaliteit restwater

worden verkregen. Oesterholt & Huiting (2012) rapporteerden wel dat het RO-permeaat van weiwater, dat zij hebben onderzocht, gekenmerkt werd door een relatief hoge CZV waarde van 18-32 mg/L en een N-totaal gehalte van 46 - 58 mg/L). Daarnaast kan het permeaat laag moleculaire componenten, zoals ureum, bevatten (persoonlijke communicatie Hans Huiting, onderzoeker industrie en afvalwater, KWR Watercycle Research Institute, 4 Februari 2019; (Oesterholt & Huiting, 2012)).

Er kan binnen de fabriek sprake zijn van hergebruik van bepaalde restwaterstromen. Dit is zeer afhankelijk van de gebruikte processen en kan een sterke invloed hebben op de kwantiteit en kwaliteit van het restwater. Hiermee is geen rekening gehouden in dit rapport.

7.5.3 Perceptie

Er zijn voor zover de auteurs weten geen publicaties bekend over de perceptie van mensen voor het gebruik van afvalwater uit de kaasfabriek voor drinkwaterproductie.

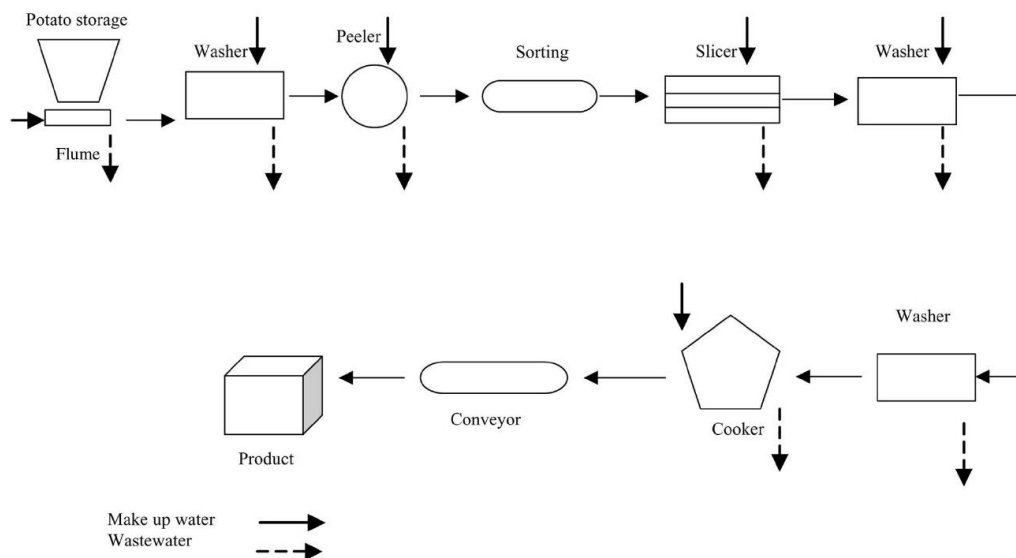
7.5.4 Samengevat

De stroom weiwater uit kaasfabrieken ligt waarschijnlijk in de ordegrrootte van maximaal enkele honderdduizenden m³/j per puntbron. Gezien het hergebruik is de vermoedelijke kwaliteit van het totale restwater relatief laag en zullen verschillende zuiveringsstappen nodig zijn om drinkwater uit deze bron te kunnen produceren.

7.6 Aardappelverwerking

Aardappelen worden gebruikt voor het maken van onder andere frites, aardappelpuree, chips en zetmeel. Het zetmeel wordt ook voor non-food doeleinden gebruikt, zoals materiaal voor de bouw, textiel en lijm (Agrico, 2017). Aardappelen bestaan voor 75 - 80% uit water (Hiddink et al., 1997). Afhankelijk van het product komt (een deel van) dit water vrij bij de verwerking van aardappelen.

In Figuur 7.9 worden de processen in een typische chipsfabriek weergegeven zoals beschreven door Hung et al. (2006). Aardappelen worden eerst gewassen, daarna geschild en vervolgens gesorteerd. Hierna volgt de snijmachine, opnieuw wassen, en het frituren van de chips in vet of olie. Bij verschillende processen komt er een reststroom aan water vrij, denk bijvoorbeeld aan het waswater (ongeschild en later ook de geschilde schijfjes) en het water dat vrijkomt bij het schillen. Bij het produceren van poeder waar aardappelpuree van gemaakt kan worden, worden de aardappels gedroogd. Hierbij komt ook water vrij.



FIGUUR 7-9. OVERZICHT VAN DE VERSCHILLENDE PROCESSEN IN EEN TYPISCHE CHIPSFABRIEK (HUNG ET AL., 2006)

7.6.1 Potentieel beschikbaar water

In Nederland wordt er 3,8 miljoen ton aardappelen per jaar verwerkt door de industrie (VAVI, 2018). In België is deze industrie groter en wordt er zo'n 4,4 miljoen ton aardappelen per jaar verwerkt (Landbouwleven, 2017).

Voor het wassen van de aardappelen wordt ongeveer 4900 - 8000 L per 1000 kg aardappelen gebruikt (Hung et al., 2006). Dit betekent dat er in Nederland circa 18,6 - 30,4 Mm³/j waswater voor de aardappelverwerking wordt gebruikt en in België is dit gelijk aan 21,6 - 35,2 Mm³/j.

Voor het schillen van aardappelen wordt ongeveer 2270 - 2700 L water per 1000 kg aardappelen gebruikt afhankelijk van de schilmethode (Hung et al., 2006). Dit betekent in NL circa 8,6 - 10,3 Mm³/j restwater afkomstig van het schillen en voor België is dit gelijk aan 10 - 11,9 Mm³/j.

Er vanuit gaande dat een aardappel voor zo'n 80% uit water bestaat, kan er maximaal 3 Mm³/j water in Nederland, en 3,5 Mm³/jaar in België uit de aardappels zelf vrijkomen. In de

praktijk zal dit echter minder zijn, omdat het water in sommige producten (deels) aanwezig blijft (frites). Aardappels kunnen bewaard worden en worden daarom het hele jaar door verwerkt. Daarom is de stroom restwater relatief constant over het jaar.

Samengevat komt op jaarbasis bij het wassen circa $24,5 \text{ Mm}^3$ water vrij, bij het schillen ongeveer $9,5 \text{ Mm}^3$ en bij het drogen circa 3 Mm^3 . In totaal bedraagt dit circa 37 Mm^3 water/jaar. In Nederland zijn zo'n 15 aardappelverwerkende vestigingen (VAVI, 2018), wat neer zou komen op een restwaterproductie van $2,5 \text{ Mm}^3/\text{j}$ uit het gewas per puntbron (fabriek).



FIGUUR 7-11. OVERZICHT GEOGRAFISCHE LIGGING VAN AARDAPPELVERWERKERS IN NEDERLAND EN BELGIË (BRON: [HTTPS://WWW.BOERDERIJ.NL/AKKERBOUW/ACHTERGROND/2015/2/DYNAMIEK-IN-AARDAPPELSECTOR-1702940W/#](https://www.boerderij.nl/akkerbouw/achtergrond/2015/2/dynamiek-in-aardappelsector-1702940w/#))

7.6.2 Kwaliteit

Het waswater van de aardappelen kan silt en zand bevatten. Het waswater wordt gekenmerkt door 45 – 181 kg vaste stoffen en 0,9 – 2,7 kg BOD₅ per ton aardappelen (Hung et al., 2005).

Afhankelijk van de schillemethode, kan het restwater uit dit proces de volgende verontreinigingen bevatten: BOD (4000 – 6730 ppm), COD (10.000 – 11.000 ppm), totaal

vaste stoffen (10.200 – 20.000 ppm), vluchtige stoffen (9.000 - 9.500 ppm), zwevende stof (5.150 – 18.000 ppm) en een pH variërend van 5,3 tot 12,6 (Hung et al., 2006).

Vaak worden deze stromen gecombineerd tot één grote afvalwaterstroom. Lehto et al. (2005) rapporteerden een BOD₇ van 1200 – 2000 mg/L, COD_{Cr} = 1700 – 2000 mg/L, tot-P = 5.0 – 7.0 mg/L, tot-N = 60 – 75 mg/L en een pH van 4.5 voor onbehandeld afvalwater uit een aardappelfabriek waar 8 ton aardappelen per week werden geschild.

Een andere studie van (Sayed et al., 2005) rapporteerde een COD van 4.100 – 18.000 mg/L, BOD₅ = 2700 – 7500 mg/L, TKN = 150 – 500 mg/L, NH₄⁺-N = 60 – 240 mg/L, en PO₄-P = 35 – 170 mg/L.

In het algemeen kan het restwater uit een aardappelfabriek dus de volgende parameters bevatten: deeltjes (zand, silt), hoge gehalten organische stof, nutriënten (stikstof en fosfaat), maar ook micro-organismen (bacteriën).

Er kan binnen de fabriek sprake zijn van hergebruik van bepaalde restwaterstromen. Dit is zeer afhankelijk van de gebruikte processen en kan een sterke invloed hebben op de kwantiteit en kwaliteit van het restwater. Hiermee is geen rekening gehouden in dit rapport.

Terugwinning van stoffen uit het restwater (Dutch Biorefinery Cluster, 2018a; Dutch Biorefinery Cluster, 2018b) biedt kansen voor de zuivering van het restwater, waardoor de mogelijkheden tot hergebruik van het water groter kunnen worden.

7.6.3 Perceptie

Er zijn voor zover de auteurs weten geen publicaties bekend over de perceptie van mensen voor het gebruik van afvalwater uit de aardappelfabriek voor drinkwaterproductie.

7.6.4 Voorlopige conclusie

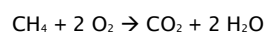
De stroom restwater uit aardappelfabrieken is relatief ruim, in de ordegrrootte van honderdduizend (uit aardappel zelf) tot een ordegrrootte van miljoen(en) m³/jaar. De kwaliteit is echter relatief slecht en niet constant over de tijd.

8 Water uit verbrandingsproducten

8.1 Verbranding van fossiele brandstoffen in gebouwen

In een groot deel van de huizen en gebouwen in Nederland worden fossiele brandstoffen ingezet om mee te koken en te verwarmen. In de meeste gevallen wordt aardgas als brandstof gebruikt. Bij de verbranding van koolwaterstoffen, waar fossiele brandstoffen voor het grootste deel uit bestaan, komen koolzuurgas en water vrij (Vergelijking 8-1).

VERGELIJKING 8-1. VERBRANDING VAN METHAAN



8.1.1 Potentieel beschikbaar water

Het meeste aardgas dat in Nederlandse gebouwen gebruikt wordt, wordt verbrand in cv-ketels, die warm water produceren voor sanitair en ruimteverwarming. Daarnaast wordt een klein deel van het aardgas gebruikt om op te koken.

Het water dat vrijkomt bij de verbranding van aardgas heeft de vorm van damp. Bij uitstoot naar de omgevingslucht zal een groot deel hiervan condenseren, door de lagere temperatuur. In modernere condenserende cv-ketels wordt het rookgas niet gelijk uitgestoten, maar gebruikt door de warmte hieraan te onttrekken. Daarbij vindt condensatie plaats van de aanwezige damp. Dit condenswater wordt opgevangen en op het riool geloosd.

In de meer dan 7 miljoen huishoudens in Nederland wordt jaarlijks gemiddeld net iets meer dan 1000 kg aardgas gebruikt (CBS, 2018). De hoeveelheid water die hierbij vrijkomt kan geschat worden met behulp van het koolstofgehalte van aardgas (Engineering Toolbox, 2009) en de aanname dat dit volledig wordt verbrand.

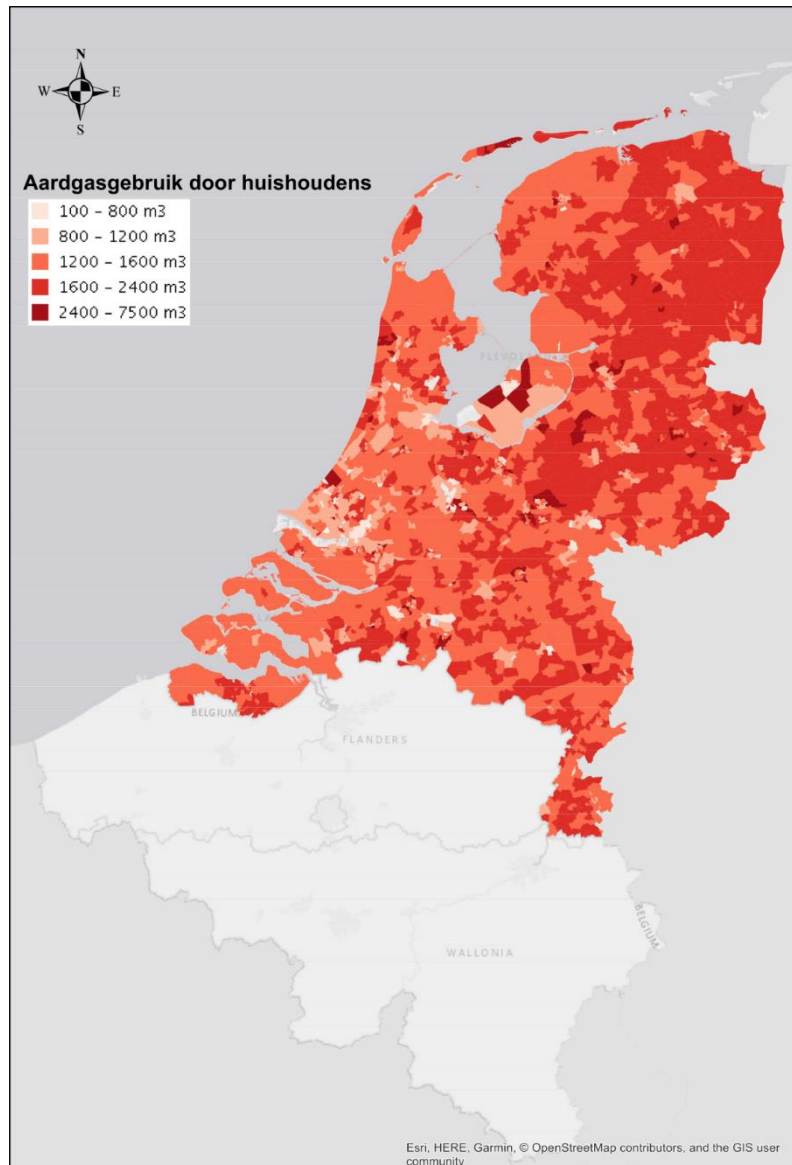
De geschatte waterproductie op basis van het aardgasverbruik is in totaal zo'n 47 Mm³/j voor alle huishoudens ofwel zo'n 6 m³ water per huishouden per jaar. Een groot deel van dit verbruik vindt plaats in cv ketels. Aangezien het brandstofverbruik een seizoensafhankelijk patroon kent (meer verbruik in de winter), geldt dit ook voor de waterproductie. Het aardgasgebruik in huishoudens vindt relatief egaal verspreid over Nederland plaats (Figuur 8-1).

Gebouwen zoals bedrijfspanden en overheidsgebouwen gebruiken per gebouw meer gas dan huishoudens. Per vierkante meter ruimte wordt er jaarlijks zo'n 10 tot 20 m³ gas gebruikt (Sipma, 2016). Een groot deel van dit gas wordt gebruikt voor ruimteverwarming. Er bestaan grote verschillen tussen verschillende typen ruimten, bijvoorbeeld door verschillen in sector, grootte van het gebouw en bouwjaar. Met behulp van de dataset van Sipma (2016) is geschat dat de waterproductie door gasverbruik in kantoorgebouwen kan variëren van enkele tientallen m³/jaar voor kantoren van honderden tot enkele duizenden vierkante meters (waarvan er relatief veel zijn) tot enkele honderden m³/jaar voor grote kantoorgebouwen van tienduizenden vierkante meters (waarvan er in Nederland een enkele tientallen zijn).

In België worden ruimtes in veel gevallen verwarmd door middel van de verbranding van gas of stookolie. Er zijn geen gegevens gevonden omtrent het brandstofverbruik voor dit doel in

België. Het wordt verwacht dat de hoeveelheden geproduceerd water per gebouw niet sterk afwijken van Nederland, waardoor de productie per puntbron ook hier zeer klein zal zijn.

Verwacht wordt dat het gebruik van fossiele brandstoffen in woningen en gebouwen zal afnemen in de toekomst, omdat overheidsbeleid gericht is op de verduurzaming van woningen en gebouwen (Rijksoverheid, 2018). Nieuwe woningen worden niet altijd meer aangesloten op het gasnet en men verwacht dat gas in de toekomst vrijwel volledig uitgefaseerd zal worden. In plaats van cv ketels op aardgas zouden warmtepompen, warmtenetten of aangepaste ketels voor waterstof (zie sectie 8.4) kunnen worden gebruikt.



FIGUUR 8-1. AARDGASGEBRUIK DOOR HUISHOUDENS (BRON: CBS VIA NATIONAAL GEOREGISTER).

8.1.2 Kwaliteit

Bij de verbranding van fossiele brandstoffen komen diverse verontreinigingen vrij (Elliott et al., 1955; Matthias et al., 2010; Spicer et al., 1990):

- Eventuele verontreinigingen uit de omgevingslucht

- Diverse organische verbindingen zoals koolwaterstoffen, aldehyden, organische zuren, alcoholen, PAK's, VOS's
- Stikstofdioxiden en zwaveloxiden (worden zuren in condenswater, zie ook 8).
- Deeltjes zoals fijnstof
- Zware metalen

Niet al deze verontreinigingen zullen in het condenswater oplossen, maar wel kan worden gesteld dat het water dat vrijkomt bij de verbranding van fossiele brandstoffen een relatief grote variatie aan verontreinigingen kan bevatten. Vergeleken met andere fossiele brandstoffen komen bij de verbranding van aardgas een aantal schadelijke stoffen in lagere concentraties vrij.

De damp uit cv-ketels staat overigens wel bekend om concentraties stikstof- en zwaveloxiden, waardoor zuren gevormd kunnen worden wanneer het water condenseert. De reden dat het condenswater van condenserende cv ketels niet in de dakgoot geloosd mag worden is dat zinken dakgoten door deze zuren beschadigd kunnen worden (cvketelkiezen.nl, 2018).

8.1.3 Perceptie

Er zijn geen gegevens bekend omtrent de perceptie van het produceren van drinkwater uit water dat vrijkomt bij de verbranding van fossiele brandstoffen.

8.1.4 Samengevat

Bij de verbranding van aardgas in cv-ketels komt water in relatief kleine hoeveelheden vrij per puntbron, met verschillende verontreinigingen. Hierdoor is het benutten van deze bron waarschijnlijk niet efficiënt. Ook wordt verwacht dat deze bron op termijn minder benut zal worden.

8.2 Verbranding van fossiele brandstoffen voor vervoer en transport

Bij de verbranding van koolwaterstoffen, waar fossiele brandstoffen voor het grootste deel uit bestaan, komen koolzuurgas en water vrij (Vergelijking 8-1). Een groot deel van de uitlaatgassen uit bijvoorbeeld auto's bestaat dan ook uit water. Dit water heeft de vorm van damp en komt voor het grootste deel in de atmosfeer terecht, nadat het is uitgestoten via een uitlaatpijp. Om water uit verbranding van fossiele brandstoffen te kunnen winnen zouden de uitlaatgassen opgevangen moeten worden, waarbij de damp kan condenseren tot water, bijvoorbeeld middels afkoeling naar omgevingstemperatuur.

8.2.1 Potentieel beschikbaar water

Water uit fossiele brandstoffen wordt gegenereerd in verschillende typen bewegende bronnen (auto's, schepen en vliegtuigen). De hoeveelheid water die gegenereerd wordt in deze bronnen is berekend door het brandstofverbruik te vermenigvuldigen met de (geschatte) hoeveelheid water die per eenheid brandstof vrij komt. Dit laatste is berekend door aan te nemen dat waterstof de belangrijkste component van de brandstof is naast koolstof (dus $1 - \text{koolstofgehalte}$). Dit levert waarschijnlijk een kleine overschatting op, maar is voldoende nauwkeurig voor een eerste indruk. Vervolgens is met behulp van de atoomgewichten berekend hoeveel water vrijkomt uit een eenheid brandstof en hoeveel water er in totaal geproduceerd wordt uit verbranding van fossiele brandstoffen. Ook is met behulp van aantallen puntbronnen geschat hoeveel water er gemiddeld per puntbron geproduceerd wordt.

De resultaten zijn weergegeven in Tabel 8-1. Uit deze resultaten blijkt dat van de bewegende bronnen wegverkeer en scheepvaart relatief veel water produceren. Verreweg het grootste deel van de waterproductie door de scheepvaart (en overigens ook door de luchtvaart) vindt echter plaats buiten de landgrenzen. Voor het wegverkeer is de waterproductie verspreid over zeer veel puntbronnen, waardoor de gemiddelde productie per puntbron (auto of vrachtauto) ongeveer 1.2 m^3 per jaar bedraagt. Deze productie vindt verdeeld over het jaar plaats met een lichte daling tijdens vakantieperioden. Verder vindt de productie vooral overdag plaats, met pieken tijdens de ochtend- en avondspits. De productie vindt plaats op straten en wegen, waarbij de meeste productie plaatsvindt op autosnelwegen.

Verwacht wordt dat de productie per puntbron voor België en Nederland van dezelfde orde grootte zal zijn. Gezien de uitstoot die fossiele brandstoffen veroorzaken, wordt verwacht dat met behulp van overheidsbeleid voertuigen met deze brandstoffen in de toekomst minder gebruikt of zelfs uitgefaseerd zullen worden.

TABEL 8-1. WATERPRODUCTIE PER TYPE BRON IN NEDERLAND OP BASIS VAN BRANDSTOFVERBRUIK (STATLINE TABELLEN MOTORBRANDSTOFFEN 2017, AARDGASVERBRUIK (CBS, 2018)) EN BRANDSTOFEIGENSCHAPPEN (ENGINEERING TOOLBOX, 2009) IN TOTAAL IN NEDERLAND, AANTAL PUNTBRONNEN (CBS, 2018) EN GESCHATTE HOEVEELHEID WATER PER PUNTBRON.

Bron	Water totaal (Mm ³ /jaar)	Aantal puntbronnen	Water per puntbron
Wegverkeer (benzine, diesel, lpg)	12	8.1 miljoen personenauto's en 2.2 miljoen bedrijfsvoertuigen	1.2 m ³ per jaar per voertuig
Scheepvaart (gasolie, stookolie)	17		
waarvan binnenvaart	1		
Luchtvaart (kerosine)	6		
Railverkeer (diesel)	<<		<<

8.2.2 Kwaliteit

Uitlaatgassen bestaan uit een mengsel van verbrandingsproducten (koolzuurgas en water), omgevingslucht en overige stoffen die vrijkomen uit de verbrandingsmotor, zoals brandstofresten en verontreinigingen uit de brandstof of de motorolie. De samenstelling hangt onder andere af van de gebruikte brandstof, de temperatuur van de motor, de onderhoudsstatus van de motor en de rijstijl.

Mogelijke verontreinigingen die in uitlaatgassen voorkomen (Elliott et al., 1955; Matthias et al., 2010; Spicer et al., 1990) zijn:

- Eventuele verontreinigingen uit de omgevingslucht
- Diverse organische verbindingen zoals koolwaterstoffen, aldehyden, organische zuren, alcoholen, PAK's, VOS's
- Stikstofoxiden en zwaveloxiden (worden zuren als ze oplossen in condenswater, zie ook 8).
- Deeltjes zoals fijnstof
- Zware metalen

Kacem et al. (2018) hebben de CO₂, CO, NO₂ en VOCs concentraties in uitlaatgassen van 11 diesel auto's en 5 benzine auto's onderzocht. Hieruit bleek dat voor dieselauto's de parameters variëren van CO₂ = 494 - 2459 ppm, CO = 0,1 - 40,3 ppm, NO₂ = 0,076 - 4,658 mg/m³ en VOCs = 0,13 - 32,2 mg/m³. Voor benzineauto's waren deze waarden als volgt: CO₂ = 606 - 3352 ppm, CO = 0,5 - 19,7 ppm, NO₂ = 0,043 - 0,132 mg/m³ en VOCs = 1,1 - 25,4 mg/m³. CO₂ en VOC concentraties liggen voor benzine en dieselauto's in dezelfde range. CO en NO₂ concentraties liggen voor benzineauto's wat lager dan voor dieselauto's.

Niet al deze verontreinigingen zullen in het condenswater oplossen, maar wel kan worden gesteld dat het water dat vrijkomt bij de verbranding van fossiele brandstoffen een relatief grote variatie aan verontreinigingen kan bevatten.

8.2.3 Perceptie

Er is geen literatuur bekend omtrent de perceptie van het gebruik van water uit fossiele brandstoffen als drinkwater. Gezien de vele verontreinigingen die in uitlaatgassen aanwezig zijn kan wel vermoed worden dat deze waterbron niet beschouwd wordt als een schone of duurzame bron van drinkwater.

8.2.4 Samengevat

Bij de verbranding van fossiele brandstoffen in voertuigen komt water in relatief kleine hoeveelheden vrij per puntbron, met verschillende verontreinigingen. Hierdoor is het

benutten van deze bron waarschijnlijk niet efficiënt. Ook wordt verwacht dat deze brandstoffen op termijn minder benut zullen worden.

8.3 Verbranding van fossiele brandstoffen in de tuinbouw

Binnen de glastuinbouw wordt gebruik gemaakt van Warmte Kracht Koppeling (WKK) installaties met een rookgascondensor. Hierbij komt condenswater vrij. Dit condenswater wordt op het moment al binnen enkele bedrijven hergebruikt (van der Maas et al., 2015).

8.3.1 Potentieel beschikbaar water

Gemiddeld wordt door een glastuinbouwbedrijf 290 000 m³ aardgas verbruikt per ha kas per jaar (Koeman-Stein et al., 2014). Er worden verschillende schattingen gegeven voor de exacte hoeveelheid condenswater. De eerste schatting is dat een WKK installatie gemiddeld 0.6 l water per m³ gas produceert (Timmermans 2009, uit (Koeman-Stein et al., 2014)). Volgens van der Maas et al. (2015) is een opvang van 20 l per 100 kW van de WKK (wanneer de WKK 1 uur draait) mogelijk, afhankelijk van de situatie kan dit variëren tussen enkele en enkele tientallen liters.

Koeman-Stein et al. (2014) gaan uit van een opbrengst van 0.6 l per m³ gasverbruik in warmtekrachtkoppelinginstallaties (WKK). Voor een tuinbouwbedrijf met een verbruik van 29 m³/jaar is de totale opbrengst water 174 m³/ha/jaar. Dat is ongeveer 2.03% van de totale watervraag (Koeman-Stein et al., 2014).

De totale oppervlakte van glastuinbouw in Nederland is 90 794 934 m² (CBS, 2018), daarom zou in theorie in totaal in Nederland 1.6 Mm³/jaar teruggewonnen kunnen worden. In 2013 was het totale aardgasverbruik in de glastuinbouw in Nederland van 3 797 mln m³ (CBS, 2018). Uitgaande van dezelfde opbrengst zou dit leiden tot 2.3 Mm³ water/jaar. Verdeeld over het 3476 glastuinbouwbedrijven in Nederland (Agrimatie, 2017) komt dit neer op zo'n 460-660 m³/jaar per bedrijf/puntbron. Het condenswater is vooral beschikbaar in de winter, omdat in die periode het meeste gas wordt verbruikt.

De glastuinbouw heeft een grote watervraag om de gewassen van gietwater te voorzien. De inzet van condenswater binnen het eigen bedrijf ligt daarom meer voor de hand dan extern hergebruik.

Gezien de uitstoot die fossiele brandstoffen veroorzaken, wordt verwacht dat met behulp van overheidsbeleid toepassingen op basis van deze brandstoffen in de toekomst minder gebruikt of zelfs uitgefaseerd zullen worden.

8.3.2 Kwaliteit

Het condenswater bevat hoge concentraties aan zware metalen (chromium, nikkel, zink en aluminium) en heeft een erg lage pH (tussen 2 en 3) (Timmermans 2009 in (Koeman-Stein et al., 2014)). Daarnaast komen bij de verbranding van aardgas in een WKK CO₂, NO_x en SO₃ vrij die in het condenswater zuren vormen. Deze zuren kunnen het staal aantasten in het rookgassysteem waardoor er zware metalen (nikkel, chromium) vrijkomen. Dit probleem komt met name voor na stilstand, omdat de zuren dan tijd hebben gehad in te werken op het staal (Koeman-Stein et al., 2014). Onderzoek naar gebruik van andere materialen richt zich vooral op het voldoen aan lozings-eisen, zodat het condenswater op het oppervlaktewater geloosd mag worden.

8.3.3 Perceptie

Er is geen literatuur bekend omtrent de perceptie van het gebruik van water uit fossiele brandstoffen als drinkwater.

8.3.4 Samengevat

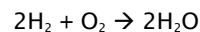
Bij de verbranding van fossiele brandstoffen in de glastuinbouw komt per puntbron relatief weinig water vrij, volgens een seizoensafhankelijk patroon. Het water dat vrijkomt is relatief

vervuild. Hergebruik lijkt daarom niet kansrijk, bovendien zou bij eventueel hergebruik het meer voor de hand liggen dat het water in het bedrijf zelf wordt ingezet, gezien de grote gietwatervraag.

8.4 Waterstof als aardgasvervanger in huishoudens en gebouwen

Verwacht wordt dat fossiele brandstoffen in de toekomst vervangen worden door duurzamere alternatieven. Voor de verwarming van woningen en gebouwen kan elektriciteit worden gebruikt (warmtepomp, bij goed geïsoleerde gebouwen). Daarnaast kan waterstof als energiedrager worden ingezet, dat verspreid wordt via het gasnet. Dit waterstof zou in ketels kunnen worden verbrand of middels een brandstofcel kunnen worden omgezet naar elektriciteit (van Wijk et al., 2017). Wanneer waterstof wordt verbrand komt er water vrij (Vergelijking 8-2).

VERGELIJKING 8-2: VERBRANDING VAN WATERSTOF



Waterstof wordt opgewerkt door middel van een electrolyser. Een electrolyser bestaat uit een vat met demiwater waarin 2 elektrodes hangen. Door elektriciteit op de elektrodes te zetten, wordt aan de ene elektrode zuurstof geproduceerd en aan de andere elektrode waterstof. Deze waterstof kan worden opgeslagen in grote tanks of via leidingen worden getransporteerd naar een plaats waar het gebruikt wordt.

8.4.1 Potentieel beschikbaar water

Hieronder wordt op basis van het aardgasverbruik van een gemiddeld huishouden in Nederland (CBS) berekend hoeveel water per jaar als bijproduct van het verbranden van waterstof zou kunnen ontstaan als dezelfde hoeveelheid kJ per huishouding zal worden bereikt. Op basis van deze berekeningen kunnen gemiddeld enkele liters water per dag worden gemaakt, wat neerkomt op zo'n 3.5 m³/j. Hierbij moet rekening worden gehouden dat het grootste deel van deze productie in de koude maanden zou plaatsvinden. Verwacht wordt dat deze getallen niet significant zullen afwijken voor België.

Aangezien het water vrijkomt als damp (stoom) zou het moeten worden gecondenseerd voordat het gewonnen kan worden.

TABEL 8-2: HOEVEELHEID WATER DIE VRIJKOMT BIJ HET VERBRANDEN VAN METHAAN, PROPAAAN EN WATERSTOF. HH = HUISHOUDEN

Gas	m ³	kJ/HH	kJ per m ³	Dichtheid (kg/m ³)	Totale massa gas (kg)	H ₂ O (kg) / j	H ₂ O (kg) / d
Methaan	1400	45584000	32560	0.65	910	2047	5.6
Propaan	525	45584000	86670	2.01	1057	1729	4.7
H ₂	4535	45584000	10050	0.08376	379	3419	9.4

8.4.2 Kwaliteit

Er zijn nog geen studies bekend waarin dit onderwerp is beschreven. De kwaliteit van het water dat uit waterstofcellen of verbranding van waterstof wordt geproduceerd is naar verwachting relatief hoog aangezien het zeer weinig opgeloste stoffen bevat. Dit kan er echter toe leiden dat stoffen zoals (zware) metalen uit de gebruikte apparatuur of buizen oplossen en in het water terecht komen (Hristovski et al., 2009). (Wettelijke) eisen aan de gebruikte materialen kunnen dit risico beperken. Afhankelijk van de verwarmingsmethode en gebruikte materialen is het mogelijk dat andere verontreinigingen in het water terecht komen.

8.4.3 Perceptie

Er zijn geen studies bekend omtrent de perceptie van het gebruik van water uit brandstofcellen of de verbranding van waterstof als drinkwater.

8.4.4 Samengevat

De productie van water uit het gebruik van waterstof voor verwarming is relatief klein per puntbron en is bovendien seizoensafhankelijk. Hoewel de kwaliteit van het water mogelijk vrij goed zou kunnen zijn, lijkt deze bron minder kansrijk gezien de geringe productie.

8.5 Waterstof in de industrie

Waterstof kan voor de industrie een waardevol alternatief voor fossiele brandstoffen (in de rol van energiedrager) betekenen. Gezien de energietransitie die plaatsvindt, wordt verwacht dat deze mogelijkheid voor diverse industrietakken wordt onderzocht.

Waterstof wordt opgewerkt door middel van een electrolyser. Een electrolyser bestaat uit een vat met demiwater waarin 2 elektrodes hangen. Door elektriciteit op de elektrodes te zetten, wordt aan de ene elektrode zuurstof geproduceerd en aan de andere elektrode waterstof. Deze waterstof kan worden opgeslagen in grote tanks of via leidingen worden getransporteerd naar een plaats waar het gebruikt wordt.

Op dit moment is één voorbeeld bekend waarbij het gebruik van waterstof in de industrie wordt onderzocht: staalbedrijf Tata Steel heeft samen met de haven van Amsterdam en Nouryon het voornemen te onderzoeken of het haalbaar is een “electrolyser” te bouwen op de site van Tata Steel in IJmuiden (Port of Amsterdam, 2018). Het gaat hierbij om groene waterstof, dat wil zeggen dat de elektriciteit, die nodig is om de waterstof te produceren, groen is (bijv. zonne-energie of windenergie).

8.5.1 Potentieel beschikbaar water

De electrolyser zou een capaciteit moeten hebben van 100 MW waarbij er 15.000 ton waterstof (H₂) per jaar geproduceerd wordt (Port of Amsterdam, 2018). Eén kilo waterstof wordt omgezet in ongeveer 9 liter water. Dit betekent dat 15.000 ton waterstof per jaar omgezet zou kunnen worden in 135.000 m³ water. Aangezien veel industriële processen zoveel mogelijk constant zijn, wordt verwacht dat de waterproductie (relatief) constant over de tijd zou plaatsvinden.

Het is niet duidelijk welk deel van deze waterproductie ingezet zou kunnen worden voor hergebruik (waaronder drinkwater). Een deel van het waterstof wordt namelijk gebruikt om bruikbare chemicaliën van te maken (Port of Amsterdam, 2018). Daarnaast maakt het uit of het waterstof op meerdere plekken/processen wordt ingezet, waarbij er sprake zou zijn van meerdere (of vele) puntbronnen. Een derde punt waar rekening mee gehouden moet worden, is dat indien de waterstof op nabij de productielocatie wordt ingezet, het (relatief zuivere) geproduceerde water ook hergebruikt kan worden om opnieuw waterstof van te produceren.

8.5.2 Kwaliteit

Er zijn nog geen studies bekend waarin dit onderwerp is beschreven. De kwaliteit van het water dat uit waterstofcellen of verbranding van waterstof wordt geproduceerd is naar verwachting relatief hoog aangezien het zeer weinig opgeloste stoffen bevat. Dit kan er echter toe leiden dat stoffen zoals (zware) metalen uit de gebruikte apparatuur of buizen oplossen en in het water terecht komen (Hristovski et al., 2009), waardoor de leidingen zelf ook minder lang mee kunnen gaan. (Wettelijke) eisen kunnen dit risico beperken. Afhankelijk van de methode en gebruikte materialen is het mogelijk dat andere verontreinigingen in het water terecht komen. Wanneer systemen worden ontworpen met het oog op hergebruik van water zou hiermee rekening gehouden kunnen worden.

8.5.3 Perceptie

Er zijn geen studies bekend omtrent de perceptie van het gebruik van water uit de industriële inzet van waterstof als drinkwater.

8.5.4 Samengevat

De inzet van waterstof in de industrie zou in theorie kunnen leiden tot een relatief grote productie van water. Er bestaat echter nog veel onduidelijkheid rondom de verdeling over verschillende locaties of processen, andere doelen dan oxidatie en eventueel hergebruik op eigen terrein. Verwacht wordt dat het water relatief schoon is. Verdere ontwikkelingen in

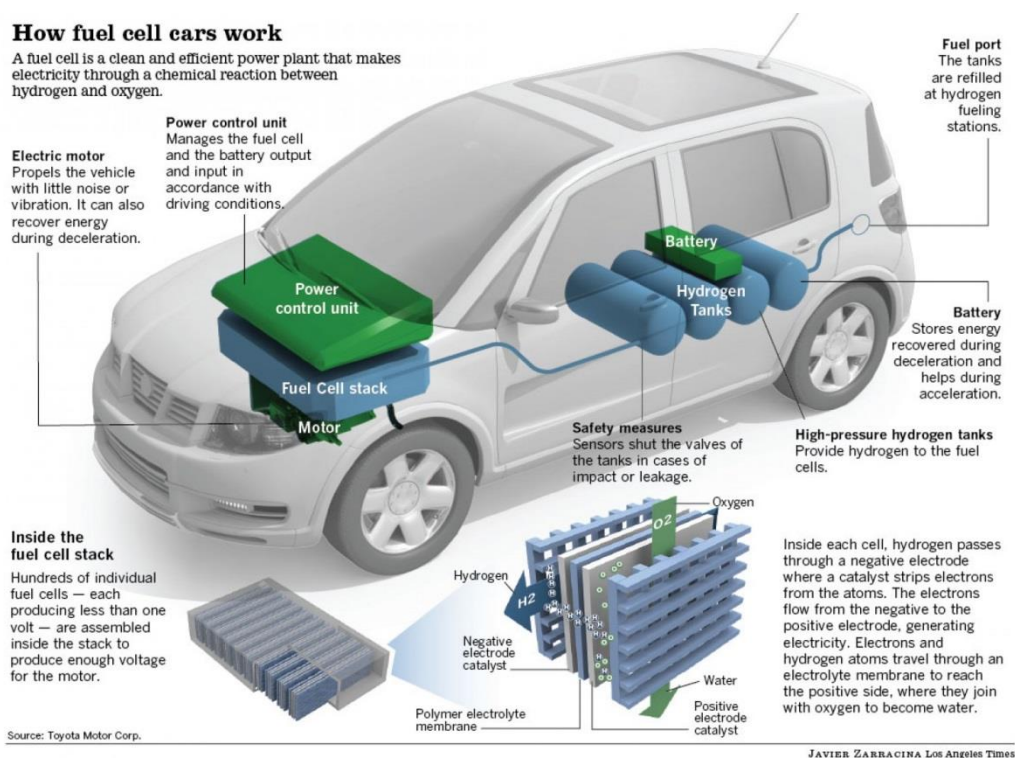
deze toepassing van waterstof zullen moeten worden gevolgd om eventuele kansen voor hergebruik zichtbaar te maken.

8.6 Waterstofauto

Een waterstofauto gebruikt waterstof om elektriciteit op te wekken waar de auto vervolgens op kan rijden. Waterstof wordt opgewerkt door middel van een electrolyser. Een electrolyser bestaat uit een bak met demiwater waarin 2 elektrodes hangen. Door elektriciteit op de elektrodes te zetten, wordt aan de ene elektrode zuurstof geproduceerd en aan de andere elektrode waterstof. Deze waterstof kan worden opgeslagen in grote tanks, van waaruit waterstof auto's hun waterstoftank kunnen vullen.

Bij de productie van energie uit waterstof reageert de waterstof (uit de tank in de auto) met zuurstof. Hierbij komen zowel elektriciteit als waterdamp (60°C) vrij. Deze waterdamp condenseert tot water. Het water dat vrijkomt zou mogelijk kunnen fungeren als bron voor drinkwater. De werking van de waterstofauto wordt in meer detail weergegeven in Figuur 8-2.

Op dit moment is de waterstofmotor een opkomende technologie en wordt deze nog zeer beperkt gebruikt. Het is echter mogelijk dat auto's op waterstof in de toekomst de auto's op benzine en diesel gaan vervangen (VNO-NCW, 2018), en een alternatief vormen voor elektrische auto's.



FIGUUR 8-2. DE WERKING VAN EEN WATERSTOFAUTO (BRON: [HTTPS://VISUAL.LY/COMMUNITY/INFOGRAPHIC/TRANSPORTATION/HOW-FUEL-CELL-CARS-WORK](https://visual.ly/community/infographic/transportation/how-fuel-cell-cars-work)).

8.6.1 Potentieel beschikbaar water

Een waterstofauto kan met 5 kg waterstof (samengeperst onder hoge druk) ongeveer 500 kilometer rijden. Eén kilo waterstof wordt omgezet in 9 liter water. Dit betekent dat over een afstand van 500 km er ongeveer 45 liter water vrijkomt. Personenauto's rijden gemiddeld 37 kilometer per dag (CBS, 2012). Dit betekent dat een gemiddelde personenauto op waterstof

zo'n 3,3 L water per dag produceert, wat neerkomt op ruim 1 m³/jaar per puntbron. Momenteel rijden er zo'n 8 miljoen auto's in Nederland (CBS, 2018). In een toekomstscenario waarbij heel Nederland in een waterstofauto rijdt, zou dit betekenen dat er 26.400 m³ water per dag geproduceerd wordt (bijna 10 Mm³ per jaar).

Deze bron zou relatief constant over het jaar beschikbaar zijn, met een verhoogde productie tijdens de dag en pieken tijdens de spits. Als water uit de waterstofauto gewonnen zou worden, zou dit mogelijk plaatsvinden middels een opvangsysteem bij de uitlaat. Een dergelijk opvangsysteem zou een deel van het volume van de auto in beslag nemen. Het water zou nabij huizen of parkeerplaatsen vanaf de auto's gebruikt kunnen worden.

8.6.2 Kwaliteit

De kwaliteit van het water dat uit waterstofcellen wordt geproduceerd is relatief goed aangezien het zeer weinig opgeloste stoffen bevat. In een studie waarin zes verschillende brandstofcellen zijn vergeleken, bleek het water echter wel relatief hoge concentraties zink, lood en antimoon te bevatten, welke mogelijk afkomstig zijn uit de gebruikte brandstofcellen of leidingen (Hristovski et al., 2009). Afhankelijk van de methode en gebruikte materialen is het mogelijk dat andere verontreinigingen in het water terecht komen. Wanneer systemen worden ontworpen met het oog op hergebruik van water zou hiermee rekening gehouden kunnen worden.

8.6.3 Perceptie

Er zijn geen studies bekend omtrent de perceptie van het gebruik van water uit brandstofcellen als drinkwater.

8.6.4 Samengevat

De waterproductie uit waterstofcellen is relatief weinig per puntbron, waardoor het niet waarschijnlijk is dat het op efficiënte wijze verzameld kan worden.

9 Discussie

In dit rapport is voor verschillende (categorieën van) potentiële bronnen van drinkwater verkend wat de mogelijke beschikbaarheid of winbaarheid is, en wat de kwaliteit is van deze bronnen. De beschikbaarheid van informatie rondom deze onderwerpen verschilde sterk per bron. Van slechts enkele bronnen was informatie bekend rondom de perceptie door klanten.

Of een bron uiteindelijk geschikt en wenselijk is om te gebruiken voor de productie van drinkwater hangt af van vele factoren, waaronder de hier onderzochte (kwantiteit en kwaliteit), maar ook andere factoren, zoals beschikbaarheid van technologie, kosten, ligging, duurzaamheid, maatschappelijke, bestuurlijke en juridische factoren. Binnen het BTO onderzoek naar radicaal nieuwe bronnen (waarvoor dit document de achtergrond verzorgt) zal verder ingegaan worden op deze factoren.

Kwantiteit van het beschikbare of winbare water en kwaliteit in mindere mate (deze kan immers wijzigen door behandeling) zijn echter leidende factoren die een indicatie kunnen geven of een bron interessant is om verder te onderzoeken. Om een overzicht te bieden van de verkregen informatie, zijn de resultaten samengevat door de beschikbaarheid/winbaarheid en de benodigde zuiveringsinspanning (op basis van de kwaliteit) in 5 klassen in te delen, van zeer goed tot zeer slecht (Tabel 9-1).

Voor de beschikbaarheid is hierbij gekozen voor de beschikbaarheid per puntbron in plaats van bijvoorbeeld de totale beschikbaarheid van alle puntbronnen. De reden hiervoor is dat het volume per puntbron bepalend is voor de kosten om er drinkwater van te maken: per puntbron moeten ofwel zuivering en monitoring plaatsvinden, ofwel leidingen worden aangelegd om water uit vele kleine bronnen samen te brengen voor zuivering en monitoring. Hoewel steeds meer decentrale systemen op de markt komen om drinkwater te maken uit bijvoorbeeld neerslag (H₂O, 2019), wordt de kwaliteit van het bereide water niet gemonitord, waardoor niet gegarandeerd kan worden dat het water geen stoffen bevat die schadelijk zouden kunnen zijn. Indien er geen sprake is van een duidelijke puntbron (zoals bijvoorbeeld bij neerslag) is de verspreiding in de classificatie meegenomen.

Het resulterende overzicht is weergegeven in de overzichtstabel (pagina's 1-6). In dit overzicht zijn de scores voor kwantiteit en kwaliteit bij elkaar opgeteld om een globaal overzicht te geven van de potentie van de bronnen op deze vlakken.

TABEL 9-1. CLASSIFICATIE VAN KWANTITEIT EN KWALITEITSASPECTEN VAN DE ONDERZOCHE POTENTIELE BRONNEN

Score	Klasse	Kwantiteit	Kwaliteit
1	zeer slecht	Zeer weinig beschikbaar (ordegrootte $10^0 - 10^1 \text{ m}^3/\text{j}$) of meer maar zeer lastig winbaar en/of zeer onregelmatig over de tijd of variërende locaties	Zuivering vereist veel stappen, veel energie en/of kan niet efficiënt uitgevoerd worden, bijvoorbeeld bij sterk wisselende kwaliteit.
2	slecht	Weinig beschikbaar (ordegrootte $10^2 - 10^3 \text{ m}^3/\text{j}$) en/of relatief lastig winbaar of grotere beschikbaarheid met grote ruimtelijke verspreiding en/of onregelmatig over de tijd	Veel of meervoudige verontreiniging.
3	neutraal	Relatief goede beschikbaarheid (ordegrootte $10^4 \text{ m}^3/\text{j}$) of grotere volumes maar minder goed winbaar, ruimtelijk zeer verspreid en/of zeer onregelmatig over de tijd.	Middelmatige verontreiniging.
4	goed	Veel beschikbaar of winbaar (ordegrootte $10^5 \text{ m}^3/\text{j}$) of grotere volumes met relatief onregelmatige beschikbaarheid of minder goede winbaarheid	Verontreinigingen zijn relatief sterk verdund. Eenvoudige zuivering noodzakelijk.
5	zeer goed	Zeer veel beschikbaar of winbaar per puntbron (ordegrootte $10^6 \text{ m}^3/\text{j}$), relatief constant over de tijd	Weinig zuivering nodig, bijvoorbeeld alleen beluchting en correctie hardheid
	wisselend	Te sterk afhankelijk van locatie om een goede classificatie te kunnen maken, kan zowel goed of slecht zijn.	Te sterk afhankelijk van locatie om een goede classificatie te kunnen maken, kan zowel goed of slecht zijn.

In de overzichtstabel scoren de reeds gebruikte bronnen voor drinkwater (zoet grondwater en oppervlaktewater) goed, omdat deze ruim beschikbaar en/of relatief schoon zijn. Daarnaast volgen uit deze overzichtstabel mogelijk interessante nieuwe bronnen die relatief veel water bieden en/of relatief schoon zijn (niet in volgorde van geschiktheid):

- Brak (en zout) grondwater
- Water uit waterstof in de industrie
- Neerslag
- RWZI effluent
- Luchtvochtigheid
- Restwater uit voedingsindustrie (bijvoorbeeld suiker, kaas)
- Zeewater

Deze bronnen verschillen sterk in eigenschappen op veel verschillende vlakken. Zo biedt bijvoorbeeld zeewater een enorme potentiële voorraad, terwijl de beschikbaarheid van neerslag en luchtvochtigheid sterk afhangt van de weersomstandigheden. Indien decentrale toepassing gewenst is, zijn neerslag en luchtvochtigheid zeer geschikt, terwijl dit voor de meeste andere bronnen niet goed mogelijk is. En indien decentrale systemen de voorkeur krijgen, rijst de vraag welke consequenties dit heeft voor de bedrijfsvoering van een drinkwaterbedrijf en de verantwoordelijkheden omtrent waterkwaliteit. Momenteel mag alleen een drinkwaterbedrijf drinkwater produceren in Nederland. Daarnaast mag regenwater

nu niet gebruikt worden voor het produceren van drinkwater, maar alleen voor het spoelen van het toilet of het sproeien van de tuin. Dit vereist dus een aanpassing van de wet- en regelgeving. Vanuit juridisch en/of technologisch perspectief levert ontzilting van brak of zout water andere vraagstukken op (namelijk wat te doen met het concentraat) dan bijvoorbeeld hergebruik van RWZI water waarbij maatschappelijke acceptatie een belangrijk aandachtspunt zal zijn (juridische status als afval). Daarnaast is het in bepaalde gevallen nodig goede voorlichting te geven aan het publiek, om acceptatie mogelijk te maken. Dit geldt zeker voor gebruik van bijvoorbeeld RWZI-effluent, maar mogelijk ook voor andere typen water, als restwater.

Wanneer inzet van nieuwe bronnen overwogen wordt, moet daarom rekening gehouden worden met consequenties op allerlei vlakken, zowel in de keuze voor de nieuwe bron als in het ontwerp van het nieuwe systeem. In het BTO Verkennend Onderzoek naar radicaal nieuwe bronnen ("VO Alternatieve bronnen voor drinkwater", BTO 2019.019) wordt verder ingegaan op deze vragen, hoewel voor een uitputtend overzicht naar dergelijke eigenschappen en consequenties waarschijnlijk vervolgonderzoek nodig zal zijn.

Andere bronnen scoren slecht in de overzichtstabel en zijn daarmee vooralsnog minder interessant om verder te onderzoeken. Het gaat hier om bronnen die relatief weinig water leveren met een relatief slechte kwaliteit. Een kanttekening hierbij is dat de beschikbare hoeveelheid water in bepaalde (uitzonderings)gevallen groot kan zijn, waardoor een bron mogelijk toch interessanter wordt. Ook is deze lijst een momentopname: wanneer activiteiten of technologieën veranderen (denk aan nieuwe technieken of grootschaliger inzet van een bepaalde technologie) kunnen de scores wijzigen. De bronnen die op dit moment niet kansrijk lijken, zijn:

- Restwater uit verbranding fossiele brandstoffen
- Condens uit koelen en vriezen
- Condens uit airconditioning en warmtepompen
- Water uit de onverzadigde zone
- Lokaal huishoudelijk restwater (ongezuiverd, lokaal gewonnen)

10 Conclusies en aanbevelingen

10.1 Conclusies

In dit rapport is een eerste verkenning van de geschiktheid van verschillende bronnen gemaakt door per bron informatie rondom beschikbaarheid (kwantiteit) en kwaliteit te verzamelen. Voor zeer uiteenlopende potentiële natuurlijke en antropogene bronnen van drinkwater zijn de mogelijke beschikbaarheid of winbaarheid en de kwaliteit in kaart gebracht. Deze eigenschappen zijn samengevat in een overzichtstabel (pagina 1-6) waarin de bronnen zijn geïnclassificeerd op deze eigenschappen. Mogelijk kansrijke nieuwe bronnen zijn:

- Brak (en zout) grondwater
- Water uit waterstof in de industrie
- Neerslag
- RWZI effluent
- Luchtvochtigheid
- Restwater uit voedingsindustrie (bijvoorbeeld suiker, kaas)
- Zeewater

10.2 Aanbevelingen

Of een bron ook werkelijk geschikt is om te gebruiken voor de productie van drinkwater hangt niet alleen af van deze, maar ook van vele andere factoren. Voor verder onderzoek naar mogelijk geschikte bronnen wordt daarom aangeraden om naast kwantiteit en kwaliteit ook aandacht te besteden aan:

- **Technische mogelijkheden** rondom winning, zuivering en distributie
- **Milieu- en duurzaamheid**, zoals effecten op de omgeving, energieverbruik en reststromen.
- **(Maatschappelijke) kosten en baten**, waarbij ook gekeken wordt naar concurrentie met andere functies van het water.
- **Perceptie**, maatschappelijke acceptatie en eventueel benodigde communicatie bij inzet van een bepaalde bron
- **Koppelkansen** met andere ontwikkelingen, zoals transities op het gebied van energie en circulaire economie
- **Transitie**: benodigde acties en aanpassingen om de betreffende bron te kunnen gebruiken, waaronder:
 - Fysieke aanpassingen aan bijvoorbeeld het distributienet of gebouwen
 - Wet- en regelgeving die aangepast moet worden om gebruik te mogen maken van een bepaald type bron
 - Consequenties voor de bedrijfsvoering van het drinkwaterbedrijf
 - Bestuurlijke en organisatorische processen die moeten plaatsvinden, betrokkenheid van verschillende overheidslagen

11 Referenties

- Agrico, 2017. Het gebruik en de variatie. Agrico. <https://www.agrico.nl/de-aardappel/gebruik-en-varieteiten>
- Agrimaco, 2011. Vervolgonderzoek gietwater centrale bronnen Zuid-Holland.
- Agrimatie, 2017. Areaal tuinbouw onder glas en aantal bedrijven. Agrimatie, Wageningen. <https://www.agrimatie.nl/SectorResultaat.aspx?subpubID=2290§orID=2240>
- Algarni, S., Saleel, C., Mujeebu, M.A., 2018. Air-conditioning condensate recovery and applications—Current developments and challenges ahead. *Sustainable cities and society*, 37: 263-274.
- Alliance for Water Efficiency, 2018. Condensate Water Introduction. Alliance for Water Efficiency, Chicago. <http://www.allianceforwaterefficiency.org/1Column.aspx?id=1350&LangType=1033&terms=condensate>
- Andrews, H.G., Eccles, E.A., Schofield, W.C.E., Badyal, J.P.S., 2011. Three-Dimensional Hierarchical Structures for Fog Harvesting. *Langmuir*, 27(7): 3798-3802. DOI:10.1021/la2000014
- Aquafin, 2018. Jaarverslag 2017. https://www.aquafin.be/sites/aquafin/files/2018-04/BE%20GAAP%20def_0.pdf
- Bak, R., 2017. Kantoren in cijfers 2016. Statistiek van de Nederlandse kantorenmarkt.
- Bartholomeus, R.P., Stoffberg, S.F., van den Eertwegh, G.A.P.H., Cirkel, D.G., 2017. Hergebruik restwater voor zoetwatervoorziening in het landelijk gebied: Monitoring sub-irrigatie met RWZI-effluent Haaksbergen - 2016. BTO 2017.062, KWR, Nieuwegein. <https://livelink.kwrwater.nl/livelink/livelink.exe/open/55459130>
- Baumann, D.D., 1983. Social acceptance of water reuse. *Applied Geography*, 3: 79-84.
- Bhaskar, V.V., Rao, P., 2017. Annual and decadal variation in chemical composition of rain water at all the ten GAW stations in India. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 74(1): 23-53.
- Brunetti, A. et al., 2014. Waste gaseous streams: from environmental issue to source of water by using membrane condensers. *CLEAN-Soil, Air, Water*, 42(8): 1145-1153.
- Business Insider, 2018. Zuid-Afrikaanse wetenschappers hebben een extreem plan om ijsbergen weg te slepen uit Antarctica als waterbron voor Kaapstad. Business Insider. <https://www.businessinsider.nl/zuid-afrikaanse-wetenschappers-hebben-een-extreem-plan-om-ijsbergen-weg-te-slepen-uit-antarctica-als-waterbron-voor-kaapstad/>
- CBS, 2012. Personenauto's rijden gemiddeld 37 kilometer per dag. <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2012/10/personenauto-s-rijden-gemiddeld-37-kilometer-per-dag>
- CBS, 2017. Rioolwater meer gezuiverd bij lozing op stilstaand water. <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2017/17/rioolwater-meer-gezuiverd-bij-lozing-op-stilstaand-water>
- CBS, 2018. Statline. <http://statline.cbs.nl>. DOI:statline.cbs.nl
- Cirkel, D.G., Van den Eertwegh, G., Stoffberg, S.F., Bartholomeus, R., 2017. Kennisdocument Hergebruik van Restwater voor de Landbouwwatervoorziening. BTO 2017.009 KWR, Nieuwegein.
- Coffin, A.W., 2007. From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography*, 15(5): 396-406. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.11.006>
- cvketelkiezen.nl, 2018. Waarom een cv-ketel aangesloten moet worden op het riool met een sifon vanwege condenswater. <https://cvketelkiezen.nl/rioolaansluiting-met-sifon-noodzakelijk>
- Daal, L., 2013. Project Final Report, Publishable summary CapWa FP7-NMP.
- Daal, L., de Vos, F., Heijboer, R., Bekker, B., Gao, X.X., 2013. Self-Supporting Power Plant—Capturing Evaporated Water and Save Energy a New Source of Water, Cleaner Combustion and Sustainable World. Springer, pp. 447-455.
- De Nederlandse Gemalen Stichting, 2018. Inventarisatie. <http://www.gemalen.nl/inventarisatie.asp>

- De Vletter, R., Measures against water pollution in beet sugar processing industries.
<http://iupac.org/publications/pac/pdf/1972/pdf/2901x0113.pdf>.
- De Vries, J.J., 2007. Groundwater. In: Wong, T.E., Batjes, D.A.J., De Jager, J. (Eds.), *Geology of the Netherlands*. Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, pp. 295-315.
www.hydrology.nl/images/docs/dutch/key/Groundwater_De_Vries.pdf
- Dolnicar, S., Hurlimann, A., 2009. Drinking water from alternative water sources: differences in beliefs, social norms and factors of perceived behavioural control across eight Australian locations. *Water Science and Technology*, 60(6): 1433-1444.
- Dolnicar, S., Schäfer, A.I., 2009. Desalinated versus recycled water: public perceptions and profiles of the accepters. *Journal of Environmental Management*, 90(2): 888-900.
- Drioli, E. et al., 2014. ECTFE membrane preparation for recovery of humidified gas streams using membrane condenser. *Reactive and Functional Polymers*, 79: 1-7.
- Dutch Biorefinery Cluster, 2018a. Gezamenlijke waterzuivering en energiewinning in Olburgen.
<https://www.dutchbiorefinerycluster.nl/circulariteit/?case=13#cases>
- Dutch Biorefinery Cluster, 2018b. 'Totale aardappel weer tot waarde brengen'. Dutch Biorefinery Cluster. <https://www.dutchbiorefinerycluster.nl/nieuws/nieuwsarchief/totale-aardappel-weer-tot-waarde-brengen/27>
- EERE Information Center, 2010. Air Handler Condensate Recovery at the Environmental Protection Agency's Science and Ecosystem Support Division.
- Elimelech, M., Phillip, W.A., 2011. The future of seawater desalination: energy, technology, and the environment. *science*, 333(6043): 712-717.
- Elliott, M.A., Nebel, G.J., Rounds, F.G., 1955. The composition of exhaust gases from diesel, gasoline and propane powered motor coaches. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 5(2): 103-108.
- Engineering Toolbox, 2009. Combustion from Fuels - Carbon Dioxide Emission. The Engineering Toolbox. https://www.engineeringtoolbox.com/co2-emission-fuels-d_1085.html
- Fathieh, F. et al., 2018. Practical water production from desert air. *Science Advances*, 4(6). DOI:10.1126/sciadv.aat3198
- FogQuest, 2018. Current Projects. www.fogquest.org
- Friesland-Campina, 2018. Hoe wordt kaas gemaakt.
<https://www.frieslandcampinainstitute.nl/zuivel/kaas/hoe-wordt-kaas-gemaakt/>
- Gemeente Delft, 2018. Grondwateronttrekking.
<https://www.delft.nl/milieu/bodem/grondwateronttrekking>
- Gezondheidsraad, 1999. Grote luchthavens en gezondheid, Gezondheidsraad, Den Haag.
- Graveland, C., Baas, K., Opperdoes, E., 2017. Physical water flow accounts with Supply and Use and water asset/water balance assessment NL, CBS, Den Haag.
- Greenlee, L.F., Lawler, D.F., Freeman, B.D., Marrot, B., Moulin, P., 2009. Reverse osmosis desalination: water sources, technology, and today's challenges. *Water research*, 43(9): 2317-2348.
- Gross, D., 2016. Recycling sewage into drinking water is no big deal. They've been doing it in Namibia for 50 years. PRI. <https://www.pri.org/stories/2016-12-15/recycling-sewage-drinking-water-no-big-deal-theyve-been-doing-it-namibia-50-years>
- H2O, 2019. Drop2Drink maakt drinkwater van regenwater H2O,
<https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-techniek/drop2drink-maakt-drinkwater-van-regenwater>.
- Het Parool, 2008. Ijsberg in een flesje, Het Parool, Amsterdam.
- Hiddink, J., Schenkel, A., Buitelaar, R.M., Rekswinkel, E., 1997. Case study sluiten waterkringlopen in de voedingsmiddelenindustrie, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Uitvoering project: Imd Micron bv en ATO-DLO.
- Hjortenkrans, D., Bergbäck, B., Häggerud, A., 2006. New metal emission patterns in road traffic environments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 117(1-3): 85-98.
- Hofman-Caris, C.H.M., Bertelkamp, C., 2017. Decentraal zuiveren: mogelijkheden voor gebruik van opgevangen regenwater. BTO 2017.029, KWR, Nieuwegein.
- Hofman-Caris, C.H.M., de Waal, L., Bertelkamp, C., 2018. Regenwater als bron voor drinkwater; productiekosten en milieuaspecten. BTO 2018.028, KWR, Nieuwegein.
- Hoogheemraadschap van Rijnland, 2018. Aan en afvoer. Rijnland. www.rijnland.net/debiet

- Hooimeijer, M., 2016. Interview S. Brouwer - Water halen uit afvalwater en willen we dat dan drinken?, H2O, pp. 14-17.
<https://livelink.kwrwater.nl/livelink/livelink.exe/open/54448776>
- Hristovski, K., Dhanasekaran, B., Tibaquirá, J., Posner, J., Westerhoff, P., 2009. Producing drinking water from hydrogen fuel cells, 58, 327-335 pp. DOI:10.2166/aqua.2009.103
- Huizing, H., van Noppen, K., Vlaardingerbroek, A., 2008. Duurzame behandeling van digestaat en opties voor waterhergebruik; OPIW16. KWR 08.066, KWR, Nieuwegein.
<https://livelink.kwrwater.nl/livelink/livelink.exe/open/47466983>
- Hung, Y.T., Lo, H.H., Awad, A., Salman, H., 2006. Chapter 6 Potato Wastewater Treatment. In: Wang, L.K., Hung, Y.T., Lo, H.H., Yapijakis, C. (Eds.), Waste Treatment in the Food Processing Industry. Taylor & Francis Group, Boca, Raton.
- Infomil, 2018a. Lozing van afvalwater uit -Rioolwaterzuiveringsinstallaties. Infomil.
<https://www.infomil.nl/onderwerpen/integrale/activiteitenbesluit/activiteiten/afvalwater/rwzi/lozingsvoorschriften/>
- Infomil, 2018b. Verdringingsreeks bij watertekort. <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/thema%27s/watertekort/verdringingsreeks/>
- Installatie.nl, 2018. Drinkwater van eigen dak <https://www.installatie.nl/nieuws/drinkwater-van-eigen-dak/>.
- Internationale Scheldec commissie, 2018. De Schelde in één oogopslag Internationale Scheldec commissie. <https://www.isc-cie.org/NL/workshops/root/de-schelde-in-een-oogopslag.html>
- IWVA, 2018. Hergebruik van effluent voor de productie van infiltratiewater in het pompstation Torreele. IWVA, Koksijde, België.
<https://www.iwva.be/drinkwater/waterwinning/hergebruik>
- Jakubcionis, M., Carlsson, J., 2017. Estimation of European Union residential sector space cooling potential. Energy Policy, 101: 225-235.
- James, S.L., 2003. Metal-organic frameworks. Chem. Soc. Rev., 32: 276-288.
- Jeremias, F., Lozan, V., Henninger, S.K., Janiak, C., 2013. Programming MOFs for water sorption: amino-functionalized MIL-125 and UiO-66 for heat transformation and heat storage applications. Dalton Transactions, 42(45): 15967-15973.
- Kacem, M., Zaghoudi, K., Morales-Rubio, A., de la Guardia, M., 2018. Preliminary results on the influence of car characteristics on their gases emissions using gas sensors. Microchemical Journal, 139: 69-73.
- Kim, H. et al., 2018. Adsorption-based atmospheric water harvesting device for arid climates. Nature Communications, 9(1): 1191. DOI:10.1038/s41467-018-03162-7
- Kim, H. et al., 2017. Water harvesting from air with metal-organic frameworks powered by natural sunlight. Science, 356(6336): 430-434. DOI:10.1126/science.aam8743
- KMI, 2018. Klimaatatlas van België. KMI, Brussel. www.meteo.be
- KNMI, 2001. Handboek Waarnemingen, KNMI, De Bilt.
http://projects.knmi.nl/hawa/pdf/Handboek_H04.pdf
- KNMI, 2018a. Achtergrond: Mist. KNMI. <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/mist>
- KNMI, 2018b. Klimaatatlas. KNMI, De Bilt.
- KNMI, 2018c. KNMI Klimatologie. KNMI, De Bilt. <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie>
- Koeman-Stein, N. et al., 2014. Eindrapport 20 juni 2014: deelrapport B: wateraanbod glastuinbouw Haaglanden, Programmabureau Kennis voor Klimaat.
- Kok, A., Peters, J., 2008. Kennis en technologie verkleinen stap naar waterhergebruik. H2O, 2: 10-11.
- Landbouwleven, 2017. 2016 recordjaar voor de Belgische aardappelverwerking.
<https://www.landbouwleven.be/387/article/2017-03-21/2016-recordjaar-voor-de-belgische-aardappelverwerking>
- Lehto, M., Sorvala, S., Kemppainen, R., Salo, T., Puumala, M., 2005. Wastes and wastewaters from vegetable peeling processes. Information and Technology for Sustainable Fruit and Vegetable Production, Montpellier France.
- Macedonio, F., Brunetti, A., Barbieri, G., Drioli, E., 2017. Membrane condenser configurations for water recovery from waste gases. Separation and Purification Technology, 181: 60-68. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.03.009>

- Magrini, A., Cattani, L., Cartesegna, M., Magnani, L., 2017. Water production from air conditioning systems: Some evaluations about a sustainable use of resources. *Sustainability*, 9(8): 1309.
- Matthias, V., Bewersdorff, I., Aulinger, A., Quante, M., 2010. The contribution of ship emissions to air pollution in the North Sea regions. *Environmental Pollution*, 158(6): 2241-2250. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.02.013>
- Melbourne Water, 2018. Alternative water sources <https://www.melbournewater.com.au/community-and-education/about-our-water/liveability-and-environment/alternative-water-sources>
- Menkveld, M., Beurskens, L., 2009. Duurzame warmte en koude in Nederland.
- Mijn Waterfabriek, 2018. Gebruik regenwater - woningen. <https://www.mijnwaterfabriek.nl/gebruik-regenwater-woningen.html>
- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2001. Ruimte voor kantoren - Ruimtelijk-economische aspecten van kantoren en kantoorachtigen in Vlaanderen. AROH, Brussel.
- Mons, G., 2016. Passie voor poeder. *Melkvee*, <http://edepot.wur.nl/404223>(12): 38-41.
- Nguyen, T. et al., 2018. Modeled De Facto Reuse and Contaminants of Emerging Concern in Drinking Water Source Waters. *Journal - American Water Works Association*, 110(4): E2-E18. DOI:doi:10.1002/awwa.1052
- OAS, UNEP, 1997. Source Book of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Latin America and the Caribbean, Organization of American States and United Nations Environment Programme, Washington, D.C., USA. <https://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea59e/begin.htm#Contents>
- Oesterholt, F., Huiting, H., 2012. Hergebruik van RO-permeaat uit de weiverwerking. KWR 2012.034, KWR, Nieuwegein. <http://livelink.kwrwater.nl/livelink/livelink.exe/open/49377544>
- Oude Essink, G.H.P., Van Baaren, E.S., De Louw, P.G.B., 2010. Effects of climate change on coastal groundwater systems: A modeling study in the Netherlands. *Water Resources Research*, 46: 1-16. DOI:10.1029/2009WR008719
- Park, K.-C., Chhatre, S.S., Srinivasan, S., Cohen, R.E., McKinley, G.H., 2013. Optimal Design of Permeable Fiber Network Structures for Fog Harvesting. *Langmuir*, 29(43): 13269-13277. DOI:10.1021/la402409f
- Patel, I.R., Hauser, M.M., Cunningham, J.D., 1976. Microbial Quality of Cheese Whey Samples From Various Factories In Southern Ontario. *J. Inst. Can. Sci. Technol. Aliment.*, 9(4): 222-224.
- Port of Amsterdam, 2018. Nouryon, Tata Steel en Port of Amsterdam plannen grootste groene waterstofcluster in Europa Port of Amsterdam, Amsterdam. <https://www.portofamsterdam.com/nl/persbericht/nouryon-tata-steel-en-port-amsterdam-plannen-grootste-groene-waterstofcluster-europa>
- Post, V.E. et al., 2013. Offshore fresh groundwater reserves as a global phenomenon. *Nature*, 504(7478): 71.
- Rezk, A., Al-Dadah, R., Mahmoud, S., Elsayed, A., 2012. Characterisation of metal organic frameworks for adsorption cooling. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55(25): 7366-7374. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.07.068>
- Rijksoverheid, 2018. Rijksoverheid stimuleert energiebesparing. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-energie/rijksoverheid-stimuleert-energiebesparing>
- Rijkswaterstaat, 2018. RWS dijkkringgebieden In: Rijkswaterstaat (Ed.). <https://data.overheid.nl/data/dataset/ngr-rws-dijkkringgebieden>
- Roelofsen, F. et al., 2007. Onderzoek naar effecten van stopzetting grondwateronttrekking DSM Delft, TNO.
- Roex, E., Stofberg, S., Cirkel, D.G., Bartholomeus, R.P., 2017. Hergebruik van effluent, Deltafact - deltaproof.stowa.nl. <https://livelink.kwrwater.nl/livelink/livelink.exe/open/55436900>
- Rowen, J.W., Blaine, R., 1947. Sorption of nitrogen and water vapor on textile fibers. *Industrial & Engineering Chemistry*, 39(12): 1659-1663.
- Sayed, S., El-Ezaby, K., Groendijk, L., 2005. Treatment of potato processing wastewater using a membrane bioreactor, Ninth International Water Technology Conference IWTC9, pp. 53-68.

- Scheffer, W., 2014. Verkennend onderzoek van grijswatersystemen bij gescheiden sanitatie. VV+, (November): 48-52.
- Shete, B.S., Shinkar, N.P., 2013. Dairy Industry Wastewater Sources, Characteristics & its Effects on Environment. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 3(5): 1611-1615.
- Sipma, J.M., 2016. Nieuwe benchmark energieverbruik utiliteitsgebouwen en industriële sectoren, ECN. http://www.energievastgoed.nl/wp-content/uploads/downloads/2016/01/nieuwe_benchmark_energieverbruik_utiliteit_sipma.pdf
- Slavov, A.K., 2017. General Characteristics and Treatment Possibilities of Dairy Wastewater – A Review. *Food Technol. Biotechnol*, 55(1): 14-28.
- Smit, A.B., Janssens, S.R.M., 2016. Reststromen suikerketen. Factsheet, LEI Wageningen UR.
- Spicer, C.W., Holdren, M.W., Smith, D.L., Hughes, D.P., Smith, M.D., 1990. Chemical composition of exhaust from aircraft turbine engines, ASME 1990 International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exposition. American Society of Mechanical Engineers, pp. V003T06A012-V003T06A012.
- Spijker, P., Bouma, J., 2015. Masterplan Water Enschede pakt (grond)wateroverlast aan. *Land+Water*, (10): 28-29.
- Stichting Nederlandse Watersector, 2018. Watersector Database. Stichting Nederlandse Watersector. <https://www.watersector.nl/rwzi/lijst/rwzi>
- Stofberg, S., Zuurbier, K.G., 2018. COASTAR T2: Waterbank Westland. KWR 2018.002, KWR, Nieuwegein.
- Stofberg, S.F. et al., 2018. COASTAR - Verkenning strategische brakwaterwinning, Allied Waters, Nieuwegein.
- STOWA, 2007. Database Regenwater. 2007-W09, STOWA, Utrecht.
- Tan, T.P., Rawat, S., 2018. NEWater in Singapore, Global Water Forum. <http://www.globalwaterforum.org/2018/01/15/newater-in-singapore/>
- ter Laak, T., Tolkamp, H., Hofman, J., 2013. Geneesmiddelen in de Watercyclus in Limburg; Fase 1: Voorkomen, herkomst en ernst van geneesmiddelen in het watersysteem. KWR 2013.011, KWR, Nieuwegein.
- van der Grift, B., Rozemeijer, J., Broers, H.P., Berendrecht, W., Oudendijk, M., 2016. Waterkwaliteit polders: hoogfrequent meten is veel meer weten H2O Water Matters, (April 2016).
- van der Maas, A., van Winkel, A., Blok, C., Beerling, E., 2015. Duurzaam water in de glastuinbouw: WPI alternatieve waterbronnen in en om de kas, Wageningen UR Glastuinbouw.
- Van Vliet, M.E., Vrijhoef, A., Boumans, L.J.M., Wattel-Koekkoek, E.J.W., 2010. De kwaliteit van ondiep en middeldiep grondwater in Nederland RIVM. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/680721005.pdf>
- van Wezel, A., van den Hurk, F., Sjerps, R., Meijers, E.M., Roex, E.W.M., ter Laak, T.L., 2018. Impact of industrial waste water treatment plants on Dutch surface waters and drinking water sources. *Science of the Total Environment*, 640 - 641, pp. 1489 - 1499.
- van Wijk, A., van der Roest, E., Boere, J.A., 2017. Solar Power to the people (Nederlandse- en Engelse versie), <https://livelink.kwrwater.nl/livelink/livelink.exe/open/55477267>
- <https://livelink.kwrwater.nl/livelink/livelink.exe/open/55477353>. Allied Waters, Nieuwegein.
- VAVI, 2018. Vereniging voor de Aardappelverwerkende Industrie. www.vavi.nl
- Veolia, 2018. WINGOC: Wastewater to clean water - Windhoek, Namibia. <https://www.veolia.com/africa/en/nos-clients/wingoc-wastewater-clean-water-windhoek-namibia>
- Vereniging Eigen Huis, 2018. Regenwateropvangsysteem. <https://www.eigenhuis.nl/huis-duurzaam-maken/energiehuis/regenwater-opvangen>
- VNO-NCW, 2018. Iedereen aan de waterstof auto? Dat is dichterbij dan je denkt *Opinieblad Forum*, (14-05-2018).
- VR0M, 2009. Energiegedrag in de woning Aanknopingspunten voor de vermindering van het energiegebruik in de woningvoorraad.

- VRT, 2017. Golfregio wil ijsbergen uit Antarctica halen voor drinkwater. VRT.
https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2017/05/12/golfregio_wil_ijsbergenuitantarcticahalenvoor_drinkwater-1-2976593/
- Wang, D., 2012. Transport membrane condenser for water and energy recovery from power plant flue gas. National Energy Technology Laboratory.
- Wang, T., Yue, M., Qi, H., Feron, P.H., Zhao, S., 2015a. Transport membrane condenser for water and heat recovery from gaseous streams: Performance evaluation. *Journal of Membrane Science*, 484: 10-17.
- Wang, X. et al., 2015b. Submarine fresh groundwater discharge into Laizhou Bay comparable to the Yellow River flux. *Scientific Reports*, 5: 8814. DOI:10.1038/srep08814
- <https://www.nature.com/articles/srep08814#supplementary-information>
- Waterkwaliteitsportaal, 2015. Kaart oppervlaktewater 2015. Informatiehuis Water.
https://www.waterkwaliteitsportaal.nl/Beheer/Rapportage/Kaart/ow_sgbp2_2015
- Waternet, 2017. Onderzoek: van zout kwelwater naar drinkwater.
<https://www.waternet.nl/blog/onderzoek-van-zout-kwelwater-naar-drinkwater/>
- Watkins, M., Nash, D., 2013. Dairy Factory Wastewaters, Their Use on Land and Possible Environmental Impacts – A mini review. *The Open Agriculture Journal*, 4: 1-9.
- Wogan, T., 2017. MOF-based device harvests water from air. *Chemistry World*.
- www.hyfoma.com, 2018. Productie melkpoeder.
<http://www.hyfoma.com/nl/content/voedingsmiddelen-branches-processing-bereiding-productie/zuivel/melkpoeder/>
- Zhang, L., Wu, J., Hedhili, M.N., Yang, X., Wang, P., 2015. Inkjet printing for direct micropatterning of a superhydrophobic surface: toward biomimetic fog harvesting surfaces. *Journal of Materials Chemistry A*, 3(6): 2844-2852. DOI:10.1039/C4TA05862C
- ZuivelNL, 2017. Zuivel in cijfers, ZuivelNL Ketenorganisatie van de zuivelsector, Den Haag, Nederland.
- Zuurbier, K., Ros, S., Paalman, M., 2017. Valorisation and demonstration of an ASRRO application in a field application, KWR Watercycle Research Institute.
- Zuurbier, K., Van Dooren, T., Ros, S., 2018. D2.6 – Guide on using ASR- Coastal with treated wastewater for irrigation., http://www.subsol.org/uploads/deliverables/D2.6_-_Guide_on_using_ASR-Coastal_with_treated_wastewater_for_irrigation_.pdf