



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

Regenwater als alternatieve bron voor drinkwater – aandachtspunten voor kwaliteitscontrole

RIVM-briefrapport 2020-0185
I.H. van Driezum | N.G.F.M. van der Aa |
H.H.J.L. van den Berg



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

Regenwater als alternatieve bron voor drinkwater – aandachtspunten voor kwaliteitscontrole

RIVM-briefrapport 2020-0185
I.H. van Driezum | N.G.F.M. van der Aa |
H.H.J.L. van den Berg

Colofon

© RIVM 2020

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

DOI 10.21945/RIVM-2020-0185

I.H. van Driezum (auteur), RIVM
N.G.F.M. van der Aa (auteur), RIVM
H.H.J.L. van den Berg (auteur), RIVM

Contact:

Inge van Driezum
Milieu en Veiligheid, Centrum voor Duurzaamheid, Milieu en Gezondheid,
Afdeling Duurzaamheid, Drinkwater en Bodem
Inge.van.driezum@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van IenW in het kader van project M450004

Dit is een uitgave van:
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Regenwater als alternatieve bron voor drinkwater-aandachtspunten voor kwaliteitscontrole

In Nederland wordt drinkwater van grond- en oppervlaktewater gemaakt. De afgelopen jaren zijn enkele initiatieven uitgeprobeerd om drinkwater van andere bronnen te maken, onder andere vanwege klimaatverandering. Een van die bronnen is regenwater dat via daken en bassins kan worden opgevangen. Het is alleen niet duidelijk in hoeverre dit water aan de drinkwatereisen voldoet.

Volgens het RIVM is regenwater niet schoon genoeg om zo als drinkwater te gebruiken. Het heeft geen constante kwaliteit en moet eerst gezuiverd worden. Ook is de hoeveelheid regenwater die via daken wordt opgevangen, niet genoeg om een gezin het hele jaar voldoende drinkwater te bieden. Dat maakt regenwater meestal niet duurzamer dan het gebruik van grondwater of oppervlaktewater. Het RIVM heeft dit via een literatuuronderzoek uitgezocht.

Het opgevangen regenwater kan bacteriën en virussen bevatten uit de ontlasting van dieren, zoals vogels. Daarnaast kan er lood in zitten uit loden regenpijpen, en pesticiden van landbouwbedrijven in de omgeving. Het is technisch mogelijk om deze verontreinigingen uit het regenwater te halen om het daarna als drinkwater te kunnen gebruiken. Deze zuivering kan wel duur zijn.

Omdat de kwaliteit van regenwater sterk kan verschillen, is het belangrijk om die kwaliteit te meten. Het is alleen lastig om aan te geven waar en hoe vaak dat nodig is om de veiligheid te kunnen garanderen. De kwaliteit van regenwater lijkt het meest op die van oppervlaktewater. Het ligt daarom voor de hand om te beginnen met een meetprogramma zoals dat bestaat voor oppervlaktewater als bron voor drinkwater. Daarnaast is een beter beeld nodig van mogelijke gezondheidsrisico's van schadelijke stoffen in regenwater 'van bron tot kraan'.

Kernwoorden: regenwater, oppervlaktewater, grondwater, drinkwater, drinkwaterzuivering, duurzaam, bron

Synopsis

Precipitation as an alternative source for drinking water- points of attention for quality control

Drinking water in the Netherlands is produced from surface water- and groundwater. In recent years, due to amongst others climate change, some initiatives have started to produce drinking water from other sources. One of these sources is precipitation. This can be collected from rooftops or from basins. So far, it has not been clear whether this water satisfies drinking water quality requirements.

According to RIVM, precipitation is not clean enough to be used for drinking water as is. The quality is not constant and it needs to be treated before use. The amount of precipitation that can be collected on rooftops is also not enough to provide a family with enough drinking water for the entire year. Therefore, the use of precipitation is not more sustainable than surface water or groundwater. RIVM came to this conclusion via a literature study.

The collected precipitation can contain bacteria and viruses from animal faeces, for example from birds. Furthermore, it can contain lead from downspouts made from lead and pesticides coming from farms in the surroundings. It is technically possible to remove contaminants from the precipitation in order to use it as drinking water. Treatment however can be expensive.

As the quality of the precipitation can vary greatly, is it important to measure the quality. It is however not an easy task to determine where and how often samples should be taken to ensure safety. Precipitation quality resembles surface water quality. Therefore, it would be wise to start with a monitoring program based on an existing monitoring program for surface water as a source for drinking water. Furthermore, more information needs to be gathered on possible health effects of pollutants in precipitation from source to tap.

Keywords: precipitation, surface water, groundwater, drinking water, drinking water treatment, sustainable, source

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 13

- 1.1 Aanleiding — 13
- 1.2 Doelstellingen — 14
- 1.3 Leeswijzer — 15

2 Wet- en regelgeving & definities — 17

- 2.1 Drinkwater — 17
 - 2.1.1 Kwaliteitseisen Drinkwater — 17
 - 2.1.2 Kwaliteitseisen aan de bronnen voor de productie van drinkwater — 17
 - 2.1.3 Meetprogramma — 18
- 2.2 Huishoudwater — 19
- 2.3 Hemelwater en opgevangen regenwater als bron voor drinkwater? — 19

3 Regenwater kwantiteit — 23

- 3.1 Hoeveelheid neerslag — 23
- 3.2 Hoeveelheid opgevangen regenwater — 24
- 3.3 Waterverbruik in Nederland — 25

4 Kwaliteit hemelwater en opgevangen regenwater — 27

- 4.1 Inleiding — 27
- 4.2 Chemische risico's — 28
 - 4.2.1 Zware metalen — 28
 - 4.2.2 Polyaromatische koolwaterstoffen — 29
 - 4.2.3 Polychloorbifenylen — 30
 - 4.2.4 Pesticiden — 30
- 4.3 Fysische parameters — 31
- 4.4 Microbiologische risico's — 31
 - 4.4.1 Bacteriën — 32
 - 4.4.2 Bacteriële pathogenen — 32
 - 4.4.3 Protozoa — 33
 - 4.4.4 Virussen — 33

5 Regenwater als bron voor drinkwater - relevante parameters voor meetprogramma — 35

- 5.1 Parameters die vaak en/of in hoge concentraties worden aangetroffen — 35
- 5.2 Parameters die zelden en/of in lage concentraties worden aangetroffen — 37
- 5.3 Parameters waarover onvoldoende informatie uit de literatuur beschikbaar is — 38
- 5.4 Gevolgen voor het meetprogramma — 38

6 Zuiveringsmogelijkheden en kosten — 39

- 6.1 Zuiveringsmogelijkheden — 39
- 6.2 Controle en controlemetingen — 39
- 6.3 Milieuwinst — 40
- 6.4 Kosten — 41

7	Discussie – 43
7.1	Wet- en regelgeving – 43
7.2	Kwantiteit – 43
7.3	Kwaliteit – 43
7.4	Zuivering – 44
7.5	Kosten en milieuwinst – 44
8	Conclusies en aanbevelingen – 47
8.1	Conclusies – 47
8.2	Aanbevelingen – 48
9	Referenties – 49

Samenvatting

Recentelijk zijn er in Nederland initiatieven ontplooid om in het kader van de circulaire economie of vanuit duurzaamheidsoverwegingen naast grondwater en oppervlaktewater alternatieve bronnen te gebruiken voor de drinkwaterbereiding. Een voorbeeld van zo'n bron (en tevens de focus van deze studie) is regenwater (zowel hemelwater als opgevangen regenwater). Met hemelwater wordt het water bedoeld dat direct uit de lucht wordt opgevangen (neerslag). Het gaat om het water dat zonder tussenkomst van een verhard oppervlak op de bodem valt. Met opgevangen regenwater wordt al het water bedoeld dat via een oppervlak is opgevangen. Dit kunnen daken of wegen zijn, maar bijvoorbeeld ook WADI's of sloten. Afstromend regenwater kan dus van daken afstromen, maar ook van wegen of andere verharde oppervlaktes.

Initiatieven die zich richten op opgevangen regenwater als bron voor drinkwater, omvatten zowel projecten in samenwerking met drinkwaterbedrijven of waterschappen, als initiatieven van burgers. Voorbeelden zijn het *SuperLocal* project van Waterleiding Maatschappij Limburg (WML) en de zogenaamde *tiny houses* beweging.

De diverse initiatieven zijn niet altijd in beeld bij de bevoegde instanties, wat het voor hen lastig maakt de omvang van het gebruik van regenwater als bron voor de bereiding van drinkwater in kaart te brengen. Ook ontbreekt een goed beeld van de kwaliteit van hemelwater en opgevangen regenwater. Hierdoor is het nog (deels) onduidelijk of en in hoeverre dit water gezuiverd zou moeten worden om aan alle drinkwaterkwaliteitseisen te voldoen. De kwaliteitseisen waar het drinkwater aan moet voldoen staan beschreven in het drinkwaterbesluit (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2011a). De uitvoeringsregels zoals bijvoorbeeld monsterneming, meetprogramma's en meetfrequenties zijn te vinden in de Drinkwaterregeling (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2011b).

In dit rapport komt niet alleen de regenwaterkwaliteit, maar ook de regenwaterkwantiteit aan bod. De manier van opvangen en de hoeveelheden die opgevangen kunnen worden, spelen een belangrijke rol.

In het rapport worden de volgende vragen beantwoord:

- Valt er in Nederland voldoende regenwater om continu en volledig aan de drinkwatervraag te kunnen voldoen?
- Wat zijn de risico's van het gebruik van regenwater als bron voor drinkwater?
- Wat zijn relevante parameters voor de kwaliteitscontrole in de vorm van een meetprogramma voor regenwater als bron voor drinkwater?
- Hoe duurzaam is het lokaal gebruik van regenwater als bron voor drinkwater en is dit technisch mogelijk?

Methode

Om deze vragen te beantwoorden is er een literatuurstudie uitgevoerd naar de kwaliteit van hemelwater en opgevangen regenwater. Hierbij is naar zowel informatie over chemische als microbiologische verontreinigingen gezocht. Daarnaast is de hoeveelheid beschikbaar regenwater berekend aan de hand van voorbeelden uit de literatuur, net als de kosten voor de zuivering en de potentieel te behalen milieuwinst. Op basis van de beschikbare informatie over de chemische en microbiologische kwaliteit is bepaald of en welke parameters aanvullend aandacht zouden moeten krijgen in een meetprogramma (wanneer dit water aan derden wordt verstrekt).

Uitkomsten

In het Drinkwaterbesluit (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2011a) wordt hemelwater wel genoemd als bron voor huishoudwater (toiletspoeling), maar niet als grondstof voor drinkwater. Om hemelwater te mogen gebruiken als grondstof voor drinkwater, moet aangetoond worden dat de kwaliteit van de bron en de zuivering voldoende zijn om te waarborgen dat het drinkwater continu aan de kwaliteitseisen voldoet.

In Nederland valt te weinig regen om aan de drinkwaterbehoefte te voldoen met alleen via het dak opgevangen hemelwater. Hierdoor zullen ook andere bronnen zoals opgevangen hemelwater van andere (on)verharde oppervlaktes, of een aanvulling drinkwater via het bestaande drinkwaternet, moeten worden aangesproken. De hoeveelheid opgevangen regenwater is over het algemeen klein en kan daarom vergeleken worden met eigen winningen die minder dan 1000 m³ water leveren.

De kwaliteit van zowel hemelwater als opgevangen regenwater is niet voldoende om het water zonder zuivering te kunnen drinken. Vergelijkbaar met oppervlaktewater is opgevangen regenwater kwetsbaarder voor verontreinigingen dan grondwater. Een aantal chemische en microbiologische verontreinigingen vormt een risico voor de kwaliteit van het opgevangen regenwater. Voorbeelden hiervan zijn microbiologische parameters zoals *Cryptosporidium parvum*, *Giardia lamblia* en *Escherichia coli* (duidt op fecale verontreiniging) en chemische parameters zoals lood (duidt op verontreiniging vanaf het dak) en pesticiden (vooral hoge concentraties tijdens en vlak na het applicatieseizoen). Vanwege de kans op corrosie van leidingen en het oplossen van cement van daken en in opvangbassins veroorzaakt door zure regen, zal de zuurgraad ook aanvullend in de gaten gehouden moeten worden.

Van een aantal parameters is onvoldoende informatie beschikbaar over het voorkomen en de concentraties in Nederland. Van veel antropogene stoffen is niet bekend of en zo ja in welke concentratie ze voorkomen in regenwater.

Over het algemeen geldt dat de technische mogelijkheden voorhanden zijn om veilig drinkwater te maken van regenwater, maar dit kan kostbaar zijn. De milieuwinst van een decentrale zuivering ten opzichte van een centrale zuivering is (zeer) gering.

Aanbevelingen

Gelet op bovenstaande wordt aanbevolen een gedegen risico inschatting van bron tot tap uit te voeren om in te schatten welke meetfrequenties en monsternamenpunten passend zijn voor regenwaterwinnings.

Het wordt aanbevolen tabel IIIb uit de Drinkwaterregeling als uitgangspunt te nemen voor een op te stellen meetprogramma voor winningen die regenwater als bron voor drinkwater gebruiken en het water ter beschikking stellen aan derden. De lopende pilots met regenwater kunnen informatie geven over het nut en de noodzaak om de parameters uit tabel IIIb te monitoren (ook degene waarover nog niet zoveel bekend is) en de benodigde robuustheid van de zuivering, om zo de risico's beter in te schatten. Daaruit volgt een inzicht in de consequenties voor het meetprogramma (parameters, monsterlocaties en meetfrequenties).

Het verdient aanbeveling consumenten in het algemeen en initiatiefnemers van regenwaterprojecten in het bijzonder beter voor te lichten over de eisen waaraan drinkwater moet voldoen en de gezondheidsrisico's als hieraan niet wordt voldaan, zeker als ze dit zelf gaan produceren van regenwater.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Nederlands drinkwater wordt momenteel voor circa 60% uit grondwater en voor circa 40% uit oppervlaktewater bereid. Recentelijk zijn er in Nederland initiatieven ontplooid om in het kader van de circulaire economie of vanuit de veronderstelde duurzaamheidseffecten regenwater te gebruiken voor de drinkwaterbereiding. Regenwater is daarom de focus van deze studie.

Initiatieven met als doel om regenwater als bron voor drinkwater te gebruiken, omvatten zowel projecten in samenwerking met drinkwaterbedrijven of waterschappen, als initiatieven van burgers. Tekstkader 1 beschrijft twee voorbeelden van projecten waarbij drinkwaterbedrijven betrokken zijn.

De Ceuvel (Waternet)

In 2014 is gestart met het TKI project "Showcase kringloopsluiting Cleantech Playground Amsterdam" (Roest et al., 2016). Dit project is uitgevoerd door KWR in samenwerking met Metabolic, Waternet en Advanced Waste Water Solutions. In dit project werd gestreefd naar een (biologische) kringloopsluiting in een proeftuin voor schone innovatieve technologie in Amsterdam Noord. Het project richtte zich op de waterketen van 'De Ceuvel', een broedplaats voor creatieve ondernemers. Onderdeel van de watertechnologieën die onderzocht zijn is de collectie van regenwater en zuivering tot drinkwaterkwaliteit. Hoewel is gebleken dat er lokaal drinkwater geproduceerd kan worden dat voldoet aan de veiligheidsnormen, heeft 'De Ceuvel' ervoor gekozen drinkwater niet lokaal te produceren. Dit kwam deels door de hoge kosten voor de controles en het onderhoud.

SuperLocal (WML & de Watergroep)

In Kerkrade is in 2016 het SuperLocal project van start gegaan. In dit project wordt door verschillende partners samen gewerkt aan een duurzame herontwikkeling van drie leegstaande flatgebouwen. Als onderdeel van dit project is eind 2018 subsidie verkregen voor het sluiten van de waterketen op het terrein, onder de naam LIFE Local Water Adapt. Waterleiding Maatschappij Limburg (WML), het Waterschapsbedrijf Limburg, de gemeente Kerkrade en HEEMwonen werken hierin samen. Er wordt onderzocht of regenwater als bron voor drinkwater kan dienen. Het regenwater zal niet alleen op de daken opgevangen worden, maar ook op andere verharde terreinen, zoals parkeervlakken en een waterplein. Het project zal zich met name richten op de kwaliteit van het regenwater en de mogelijkheden om het regenwater te zuiveren tot drinkwater. De kwaliteitscontroles op deze kleinere schaal zijn hierbij van groot belang. Indien drinkwaterkwaliteit kan worden gewaarborgd zal dit op tijdelijke basis aan 125 huishoudens op het terrein geleverd worden. Binnen het project zal er ook gekeken worden naar de sociale en economische kanten van een gesloten waterketen.

Tekstkader 1 Voorbeelden van projecten om drinkwater uit regenwater te produceren waarbij drinkwaterbedrijven betrokken zijn

Een ander initiatief dat steeds meer onder de aandacht komt is het off-grid leven (zonder aansluiting op het riool, het water- of elektriciteitsnet). Burgers zijn zich steeds meer bewust van hun ecologische voetafdruk en willen zelfvoorzienend leven, bijvoorbeeld in tiny houses. Naast de eigen productie van eten betekent dit vaak ook dat deze huishoudens geen aansluiting op het openbare drinkwaternet meer willen hebben. Een mogelijkheid om zelfvoorzienend te wonen met betrekking tot drinkwater is het plaatsen van regenwatersystemen. De regenwatersystemen worden vaak voorzien van zuiveringssysteem om de waterkwaliteit te verbeteren zoals een membraanfilter. Naast het plaatsen van deze filters bij individuele huishoudens kan het ook voorkomen dat meerdere tiny houses gebruik maken van dezelfde faciliteiten waarbij het drinkwater gedistribueerd wordt. De diverse initiatieven zijn niet altijd bekend bij de bevoegde instanties (gemeente, provincie en het ministerie van IenW) wat het lastig maakt de omvang van de beweging in kaart te brengen.

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) en de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) krijgen met regelmaat vragen van particulieren over het gebruik van regenwater als alternatieve bron voor drinkwater, of voor direct gebruik voor douchen, afwassen of wassen. Het ontbreekt momenteel echter aan een goed beeld van de wettelijke mogelijkheden en verplichtingen, als ook de risico's van het gebruik van regenwater als bron voor drinkwater. Deze informatie is nodig zodat er richtlijnen kunnen worden opgesteld voor bijvoorbeeld kwaliteitscontroles in de vorm van een meetprogramma voor deze specifieke bron. Dit rapport gaat hier op in.

1.2 Doelstellingen

Een goed beeld van de kwaliteit van hemelwater en opgevangen regenwater ontbreekt, waardoor het nog (deels) onduidelijk is of en in hoeverre dit water gezuiverd zou moeten worden om aan alle eisen die aan drinkwater worden gesteld te voldoen. Dit rapport gaat daarom dieper in op het gebruik van regenwater voor de bereiding van drinkwater.

Hierbij komt niet alleen de kwaliteit, maar ook de kwantiteit aan bod. De manier van opvangen en de hoeveelheden regenwater die opgevangen kunnen worden, spelen namelijk ook een belangrijke rol.

Het rapport gaat in op de volgende vragen:

- Valt er in Nederland voldoende regenwater om continu en volledig aan de drinkwatervraag te kunnen voldoen?
- Wat zijn de risico's van het gebruik van regenwater als bron voor drinkwater?
- Wat zijn relevante parameters voor de kwaliteitscontrole in de vorm van een meetprogramma voor regenwater als bron voor drinkwater?
- Hoe duurzaam is het lokaal gebruik van regenwater als bron voor drinkwater en is dit technisch mogelijk?

Om deze vragen te beantwoorden is via een literatuurstudie informatie verzameld over de kwaliteit van hemelwater en opgevangen regenwater. Hierbij is naar zowel informatie over chemische als microbiologische

verontreinigingen gezocht. De jaarlijkse hoeveelheid neerslag in Nederland is meegenomen en er wordt een inschatting gedaan hoeveel regenwater beschikbaar is aan de hand van bestaande rekenmethodes uit de literatuur. Met deze informatie worden de risico's in kaart gebracht en worden handvaten gegeven voor het opstellen van een eventueel meetprogramma voor hemelwater en opgevangen regenwater.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de huidige wet- en regelgeving. De drinkwaterwet geldt momenteel voor alle bronnen waaruit drinkwater wordt gewonnen, al zijn er deels afwijkende eisen voor bijvoorbeeld eigen winningen. **Hoofdstuk 3** beschrijft de kwantiteit van regenwater in Nederland. Waar informatie uit Nederland ontbreekt wordt gebruik gemaakt van onderzoeksuitkomsten uit de ons omringende landen of wereldwijd. **Hoofdstuk 4** beschrijft vervolgens de chemische en microbiologische risico's, net als de factoren die hierop van invloed zijn. **Hoofdstuk 5** gaat dieper in op de betekenis van alle verzamelde informatie uit de vorige hoofdstukken en geeft doet suggesties voor relevante parameters voor een mogelijk meetprogramma voor regenwater als bron voor drinkwater. Ook de voor- en nadelen van het gebruik van deze bron worden besproken. Nadat het regenwater opgevangen is, moet het gezuiverd worden om de kwaliteit te verbeteren. **Hoofdstuk 6** beschrijft een aantal zuiveringstechnieken en een inschatting van de kosten en milieuwinst. **Hoofdstuk 7** bespreekt de bevindingen, waarna in **hoofdstuk 8** de conclusies en aanbevelingen worden beschreven.

2 Wet- en regelgeving & definities

2.1 Drinkwater

Op dit moment wordt meer dan 99% van de Nederlanders voorzien van centraal gedistribueerd drinkwater door de tien drinkwaterbedrijven die Nederland rijk is (VEWIN, 2019). De drinkwaterbedrijven dragen zorg voor een goede kwaliteit en distributie van het drinkwater, zoals geregeld in de Drinkwaterwet (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2009), het Drinkwaterbesluit (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2011a) en de Drinkwaterregeling (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2011b).

De Drinkwaterwet reguleert de productie en distributie van drinkwater en de openbare drinkwatervoorziening. Naast de drinkwaterbedrijven kunnen ook collectieve installaties drinkwater aanbieden aan 'derden'. Collectieve installaties zijn in te delen in twee categorieën: **1)** collectieve leidingen die water van het drinkwaterbedrijf distribueren, en **2)** watervoorzieningen die zowel de productie als de distributie van drinkwater voor hun rekening nemen. Laatstgenoemde worden beschouwd als eigen winningen. Dit zijn bijvoorbeeld campings en recreatieparken die zelf drinkwater produceren en leveren aan derden zoals gasten of personeel. Het betreft in Nederland een relatief laag aantal van circa 250 eigen winningen. Eigen winningen leveren doorgaans in vergelijking met grondwater- of oppervlaktewaterwinningen kleine hoeveelheden drinkwater per dag.

2.1.1 *Kwaliteitseisen Drinkwater*

De eisen met betrekking tot de productie en distributie van drinkwater en de organisatie van de openbare drinkwatervoorziening zijn beschreven in de Drinkwaterwet. Het drinkwater mag bijvoorbeeld "geen organismen, parasieten of stoffen bevatten, ..., die nadelige gevolgen voor de volksgezondheid kunnen hebben" (Drinkwaterwet Artikel 20, lid 1). De kwaliteitseisen waar het drinkwater aan moet voldoen staan beschreven in het drinkwaterbesluit (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2011a). De uitvoeringsregels zoals bijvoorbeeld monsterneming, meetprogramma's en meetfrequenties zijn te vinden in de Drinkwaterregeling (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2011b).

2.1.2 *Kwaliteitseisen aan de bronnen voor de productie van drinkwater*

In Nederland wordt het drinkwater voor 60% bereid uit grondwater en voor 40% uit oppervlaktewater. Een belangrijk punt is "het beschermen van deze bronnen voor de drinkwatervoorziening tegen verontreiniging" (Drinkwaterwet Artikel 7, lid 2). Om dit te kunnen controleren moet onderzoek verricht worden naar de kwaliteit van het water dat gebruikt wordt voor de bereiding van drinkwater. Vanwege de grotere kwetsbaarheid van oppervlaktewater ten opzichte van grondwater gelden er aparte eisen voor oppervlaktewater dat wordt gebruikt voor de productie van drinkwater (Art. 16 Dwb en Bijlage 5. behorend bij artikel 16 van de Drinkwaterregeling). Een ander belangrijk punt is de zorgplicht van een drinkwaterbedrijf om het terrein rondom de bron (mede) te beheren.

2.1.3 Meetprogramma

In de Drinkwaterregeling wordt beschreven waarop en hoe vaak zowel het geleverde drinkwater als de bron voor de productie van drinkwater getest moeten worden. Dit wordt door de waterbedrijven vastgelegd in de zogenoemde meetprogramma's. In deze meetprogramma's wordt onderscheid gemaakt tussen winningen met grondwater als bron en winningen die oppervlaktewater gebruiken als bron. Ook wordt onderscheid gemaakt in de hoeveelheid drinkwater die wordt geproduceerd (meer of minder dan 1000 m³ per jaar). Eigen winningen met een productie van minder dan 1000 m³ per jaar mogen een speciaal meetprogramma volgen. Ook hier wordt er onderscheid gemaakt tussen winningen met grondwater als bron en winningen die oppervlaktewater gebruiken als bron vanwege de slechtere kwaliteit van oppervlaktewater (Bijlage 3, tabel IIIa en IIIb van de Drinkwaterregeling (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2011b)). Het belangrijkste verschil met het wettelijk meetprogramma voor de drinkwaterbedrijven zijn de frequenties waarmee gemeten moet worden en de keuze in parameters.

In de Nederlandse wetgeving is een aantal aanvullingen opgenomen, waarvan er één opgenomen is in Tekstkader 2.

Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater

Voor een aantal pathogenen bestaat de eis dat er een maximaal infectierisico mag bestaan van 1 geïnfecteerde persoon op 10.000 mensen. Omdat pathogenen vaak in lage concentraties voorkomen is het moeilijk hier een maximale concentratie aan te verbinden. In plaats hiervan voeren de drinkwaterbedrijven een Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater (AMVD) uit. Tijdens deze analyse worden monsters genomen met een groot volume van het laatste open water. Hiermee wordt vervolgens een risicoanalyse uitgevoerd. Als er een zodanige afname in concentratie kan worden aangetoond dat het berekende theoretische infectierisico is gedaald naar maximaal 1:10.000, voldoet het drinkwater aan de vereisten. De pathogenen die tijdens een AMVD worden geanalyseerd staan vermeld in het Drinkwaterbesluit.

Tekstkader 1 Voorbeeld van één van de aanvullingen uit de Nederlandse Drinkwaterwetgeving

De Nederlandse wetgeving met betrekking tot keuze en aantallen parameters is naar aanleiding van wijzigingen in bijlagen II en III van de Europese Drinkwaterrichtlijn (European Commission, 2015) recentelijk aangepast. De Nederlandse drinkwaterbedrijven mogen door middel van het uitvoeren van een risicoanalyse parameters en frequenties zoals in de wet beschreven aanpassen naar de lokale situatie. Deze risicoanalyse (RA) wordt uitgevoerd aan de hand van het Richtsnoer Risico-gestuurd Monitoren, dat is opgesteld door de Adviesgroep Waterkwaliteit in samenwerking met de ILT. In de RA worden de risico's 'van bron tot tap' in kaart gebracht en frequenties en parameters waar mogelijk/noodzakelijk aangepast (inclusief onderbouwing). Dit geeft de drinkwaterbedrijven binnen een bepaald kader vrijheden omtrent hun meetprogramma's. Ook eigen winningen hebben deze mogelijkheid.

2.2 Huishoudwater

Bij Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB) kan de regering afwijken van de vereisten uit de Drinkwaterwet voor andere, nader gespecificeerde, vormen van water zoals huishoudwater. Voor dit water, dat uitsluitend bestemd is voor toiletspoeling, gelden aparte eisen. Drinkwaterbedrijven die dit water willen leveren hebben een ontheffing nodig van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Naast drinkwaterbedrijven kunnen ook eigen winningen, collectieve leidingnetten of privévoorzieningen huishoudwater leveren.

Aanvankelijk was het de bedoeling dat het gebruik van huishoudwater gestimuleerd moest worden (Keessen and de Graaff, 2017). Huishoudens zouden dit water gebruiken voor laagwaardige toepassingen zoals water voor toiletspoeling, de wasmachine en om de tuin mee te besproeien. Gebruik van huishoudwater voor douche, bad en in de keuken was bij voorbaat uitgesloten omdat dit water van drinkwaterkwaliteit moet zijn. In de praktijk bleek gebruik van huishoudwater echter gepaard te gaan met te hoge gezondheidsrisico's en is het gebruik naar aanleiding van een incident in de Utrechtse wijk Leidsche Rijn ingeperkt (Fernandes et al., 2007; Tangena, 2018). Ook in België zijn gevallen bekend waarin een verkeerde aansluiting van het regenwater op het leidingnet voor een diarree uitbraak heeft gezorgd. Het is bij afgekoppelde systemen van groot belang de koppelingen en aansluitingen te controleren om te voorkomen dat ongezuiverd regenwater in de schone drinkwaterleidingen gestuwd kan worden. Het controleren van alle aansluitingen is praktisch zeer moeilijk uitvoerbaar en neemt niet alleen heel veel tijd in beslag, maar is ook kostbaar. Dit is niet alleen van groot belang tijdens de installatie, maar geldt ook voor onderhoudswerkzaamheden zoals (Fernandes et al., 2007) laten zien.

Voor de productie van huishoudwater wordt meestal gebruik gemaakt van hemelwater dat op een dak is opgevangen of grondwater. Het Drinkwaterbesluit en de Drinkwaterregeling beschrijven de eisen die worden gesteld aan de productie, distributie en het gebruik van huishoudwater.

2.3 Hemelwater en opgevangen regenwater als bron voor drinkwater?

In Nederland is regelgeving van kracht om de afvoer van hemelwater naar het riool te verminderen door het apart af te voeren of op te vangen, om zo wateroverlast bij extreme regenval te voorkomen (zie Tekstkader 3).

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

op een adequate wijze behandeld wordt, kan het verbod opgeheven worden en kan dit water als drinkwater worden gebruikt.

Regelgeving afkoppelen van hemelwater

In zowel Nederland, België als Duitsland is sinds enkele jaren regelgeving van kracht om de afvoer van hemelwater naar het riool te minimaliseren en vertragen, om zo wateroverlast bij extreme regenval te voorkomen.

In Nederland is het zogenaamde afkoppelen sinds de 4^e Nota Waterhuishouding (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1998) een vast onderwerp in het waterbeleid. Afkoppelen is een maatregel waarbij het hemelwater dat afstroomt van verhard oppervlak niet langer via een gemengd rioolstelsel wordt verwerkt, maar apart via een hemelwaterriool afgevoerd wordt of via een infiltratievoorziening in de bodem infiltreert, dan wel opgevangen wordt en gebruikt wordt voor andere toepassingen. De ambitie in NW4 was 20% afkoppelen, een ambitie die in diverse beleidsstukken over de toekomst van de afvalwaterketen inmiddels is opgerekt naar volledig afkoppelen (Langeveld, 2019).

In Vlaanderen is sinds 2004 de hemelwaterverordening (Vlaamse Regering, 2013) van kracht. Sinds 2013 verplicht die burgers om regenwater te gebruiken. De huishoudens moeten verplicht een regenwatertank hebben om het hemelwater in op te vangen en er wordt actief aangestuurd op hergebruik van dit water. De systemen voor hergebruikt water en drinkwater moeten wel te allen tijde volledig gescheiden zijn.

Regenwater is in Vlaanderen geclassificeerd als tweedecircuitwater. Dit betekent dat het niet bestemd is voor menselijke consumptie, maar dat het bijvoorbeeld wel gebruikt mag worden voor toiletspoeling, de wasmachine en het sproeien van de tuin. Er zijn geen wettelijke eisen voor dit water. Voor de afwasmachine en douchen moet water van drinkwaterkwaliteit gebruikt worden. Dus als het regenwater gezuiverd wordt tot drinkwaterkwaliteit mag het volgens de drinkwaterwetgeving wel gebruikt worden om te douchen. De Vlaamse overheid is hier echter geen voorstander van.

In Duitsland geldt de Trinkwasserverordnung voor drinkwater (Bundesministerium für Gesundheit, 2018). Regenwater wordt in het Wasserhaushaltsgesetz beschouwd als afvalwater (Abwasser, Abschnitt 2 uit het WHG) (des Wasserhaushalts, 2009). Vanaf maart 2010 is in Duitsland iedere eigenaar van een nieuw bebouwd perceel verplicht het regenwater gescheiden van het afvalwater te verzamelen, te infiltreren of aan een regenwaterriool aan te bieden.

Tekstkader 2 Regelgeving afkoppelen van hemelwater in Nederland, België en Duitsland

Op het gebied van particuliere toepassingen wordt op dit moment ook geen volledige duidelijkheid verschaft. Eigenaren van collectieve leidingnetten van bijvoorbeeld campings en bungalowparken kunnen een ontheffing aanvragen voor het gebruik van een andere bron dan grond- of oppervlaktewater.

Het is tot nu toe onduidelijk of dit hemelwater wettelijk beschouwd zou moeten worden als oppervlaktewater of grondwater en wat de daaruit volgende eisen aan de kwaliteit van de bron en bijbehorende kwaliteitscontroles in de vorm van een meetprogramma zouden moeten zijn.

3 Regenwater kwantiteit

Om regenwater te kunnen gebruiken als bron voor drinkwater en om iets te kunnen zeggen over de duurzaamheid van deze mogelijke nieuwe bron is het allereerst nodig om te weten hoeveel neerslag er jaarlijks in Nederland valt en hoeveel daarvan realistisch gebruikt kan worden als bron voor drinkwater. Vervolgens moet dit worden vergeleken met de waterbehoefte van een gemiddelde inwoner van Nederland om een uitspraak te kunnen doen over hoe reëel het is om het hele jaar door regenwater te kunnen gebruiken als bron voor drinkwater.

3.1 Hoeveelheid neerslag

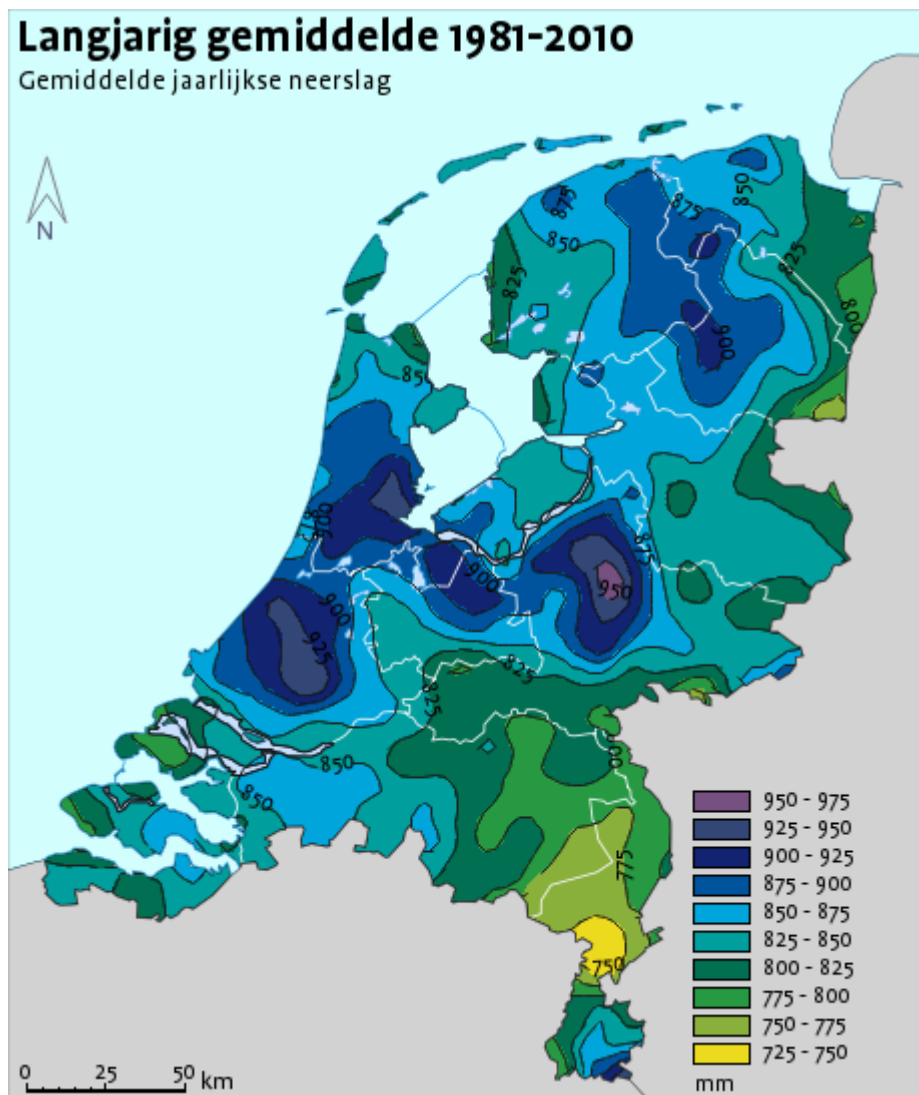
In Nederland heerst een zeeklimaat, gekenmerkt door zachte winters, koele zomers en neerslag gedurende het hele jaar. In 2017 was dit, gemiddeld genomen over het hele land, in totaal 874 mm. De hoeveelheid neerslag is in de periode van 1910 tot 2017 gelijkmatig gestegen van 690 naar 874 mm per jaar (BRON CLO indicator 0508), het wordt dus geleidelijk natter in Nederland. Met name in de kustprovincies valt relatief meer neerslag in de herfst en winter dan in het oosten en zuidoosten van het land (zie Figuur 1). De toename van neerslag gedurende de afgelopen jaren laat eenzelfde ruimtelijke spreiding zien en laat ook zien dat de kustprovincies natter worden dan de oostelijke en zuidoostelijke helft van Nederland. In de buurt van grote steden zorgt het warmte-eiland-effect er vermoedelijk voor dat het daar meer regent dan op het platteland. Meer warmte en gehinderde luchtstromen in de stad, gecombineerd met de aanwezigheid van meer condensatiekernen bevorderen het ontstaan van neerslag in deze gebieden.

De natste periode van het jaar in Nederland is gemiddeld de maanden juli tot en met december.

Extreme neerslag is in Nederland sterk toegenomen in de tijd. Het aantal dagen met zware neerslag (meer dan 50 mm neerslag) is met 68% toegenomen sinds 1951. Ook het aantal dagen met meer dan 20 mm neerslag binnen 24 uur gemiddeld over heel Nederland is gestegen, van 2.6 dagen in 1910 naar 4.6 dagen in 2017.

Gedurende een derde deel van het jaar, 122 dagen, valt er in 24 aangesloten uren geen neerslag in Nederland (gemiddeld genomen tussen 1981 en 2010). Daartegenover staan 131 dagen waarop er meer dan 1.0 mm neerslag valt in 24 aaneengesloten uren.

Het jaar 2018 was met 165 droge dagen één van de droogste jaren sinds het begin van de metingen.



Figuur 1 Gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid neerslag in Nederland van 1981-2010 – bro: www.klimaatatlas.nl

3.2 Hoeveelheid opgevangen regenwater

Om regenwater te kunnen gebruiken als drinkwater moet het opgevangen worden. De manier van opvangen heeft invloed op de hoeveelheid water die uiteindelijk gebruikt kan worden voor drinkwaterproductie. Vaak zal het regenwater primair op het dak opgevangen worden al zijn er wel andere mogelijkheden voor de opvang (bijvoorbeeld opvangbassins).

In het ideale geval, wanneer alle regen opgevangen en gebruikt zou kunnen worden, zou een gemiddeld dakoppervlak van 60 m² een totale hoeveelheid van 52 m³ neerslag per jaar kunnen verzamelen. Dit is echter niet reëel omdat tijdens het opvangen en afstromen een deel van het regenwater verloren kan gaan door infiltratie in het dakmateriaal of verdamping (Hofman-Caris and Bertelkamp, 2017).

De efficiëntie waarmee regenwater van het dak stroomt wordt aangeduid als de run-off coëfficiënt. Des te hoger deze waarde, des te minder verlies er is. Het type dakmateriaal, de helling van het dak, de windrichting en de grootte en intensiteit van de regenbui bepalen mede

de grootte van de run-off coëfficiënt (Farreny et al., 2011). Bij een run-off coëfficiënt van 1 is er geen verlies van regenwater wanneer het van het dak opgevangen wordt, bij een run-off coëfficiënt van 0 stroomt er geen regenwater meer van het dak. Run-off coëfficiënten van daken liggen gemiddeld tussen de 0.7 en 0.95.

De run-off coëfficiënt alleen is niet genoeg om te kunnen bepalen hoeveel water er uiteindelijk van het dak stroomt. Er is ook informatie nodig over de hoeveelheid neerslag en het dakoppervlak. Een groter dak kan meer neerslag opvangen dan een kleiner dak en tijdens een intensieve bui kan er meer water opgevangen worden dan wanneer het miezert. Dit wordt het opvangpotentiaal genoemd.

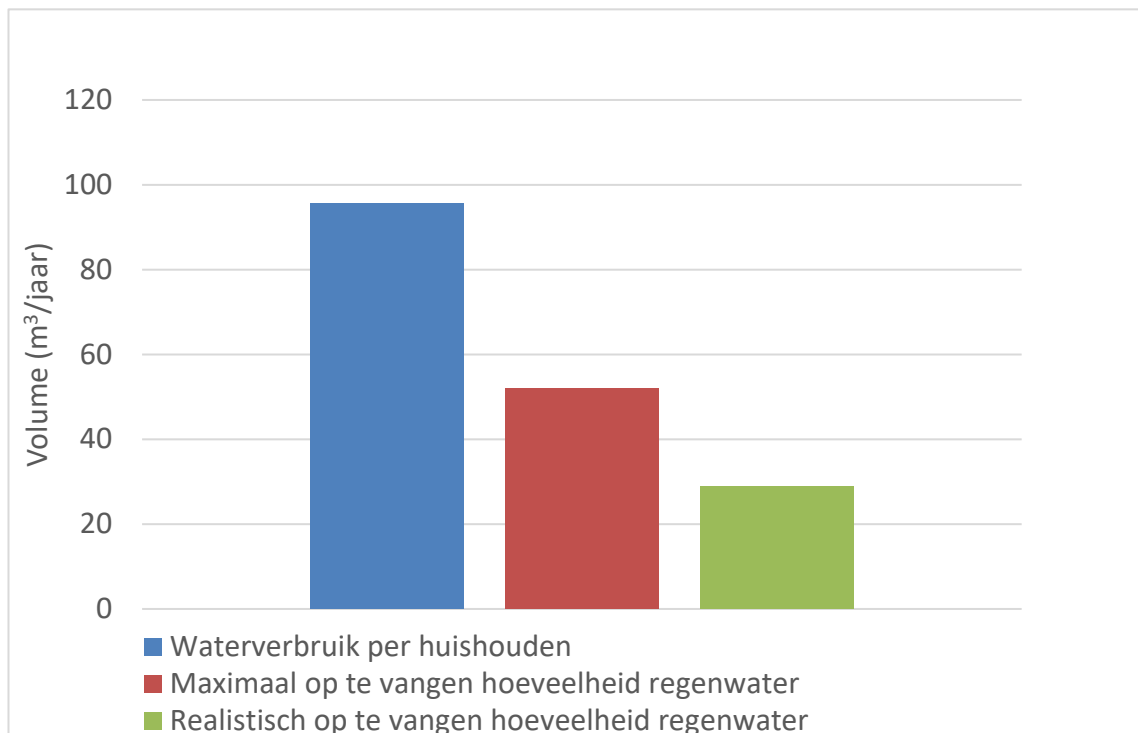
Naast het opvangpotentiaal komt het soms voor dat niet al het regenwater direct wordt gebruikt. Omdat het dak niet vrij is van verontreinigingen (zie hoofdstuk 4) wordt de eerste neerslag die op het dak valt vaak niet gebruikt. Dit wordt de first flush genoemd en bedraagt meestal de eerste 2 mm van een regenbui. De effectief te gebruiken neerslag is daarom minder dan het regenwater opvangpotentiaal. Wanneer er buien vallen die in totaal minder dan 2 mm neerslag geven wordt dit water dus niet gebruikt, tenzij het verzamelde vuil kort daarvoor door een stortbui al van het dak is verwijderd. Hofman-Caris et al. (Hofman-Caris and Bertelkamp, 2017) hebben aan de hand van deze informatie de gemiddelde hoeveelheid effectief te gebruiken neerslag berekend op 6 verschillende meetstations in Nederland. Het percentage effectieve neerslag ten opzichte van de totale neerslag bedroeg gemiddeld 48% bij een run-off coëfficiënt van 0.8 en 57% bij een run-off coëfficiënt van 0.9. Bij een gemiddeld dakoppervlakte van 60 m² zou dit tussen de 23 m³ en 29 m³ opgevangen regenwater per jaar opleveren (zie Tabel 1).

3.3 Waterverbruik in Nederland

Gemiddeld wordt er in Nederland 118.9 liter water per persoon per dag verbruikt (VEWIN, 2019). Dit komt neer op een totale hoeveelheid van 43.4 m³ per persoon per jaar. Dit is al hoger dan de hoeveelheid op te vangen regenwater van een gemiddeld Nederlands dak van 60 m² wanneer de first flush afgevangen wordt. Bij een gemiddeld huishouden van 2.2 personen wordt er dus veel meer water verbruikt dan dat theoretisch opgevangen zou kunnen worden van het dak (zie Tabel 1 en Figuur 2).

Tabel 1 Hoeveelheden hemelwater vergeleken met drinkwaterbehoefte in Nederland, uitgegaan van een gemiddeld gezin in een huis met een gemiddelde dakoppervlakte – vrij naar (Hofman-Caris and Bertelkamp, 2017)

Gemiddelde hoeveelheid neerslag in Nederland (mm per jaar in 2017)	874
Run-off coëfficiënt	0.7-0.95
Gemiddeld percentage effectief te gebruiken neerslag	48-57%
Gemiddeld Nederlands dakoppervlak	60 m ²
Gemiddeld waterverbruik per persoon per dag	118.9 liter
Gemiddeld waterverbruik per persoon per jaar	43.4 m ³
Gemiddeld Nederlands huishouden	2.2 personen
Maximaal op te vangen regenwater via gem dakoppervlak	52 m ³
Realistisch op te vangen hoeveelheid regenwater (rekening houdend met first flush)	23 m ³ - 29 m ³
Gemiddeld waterverbruik per huishouden per jaar	95.5 m ³



Figuur 2 Het gemiddelde waterverbruik per huishouden afgezet tegen de maximale en realistische hoeveelheden op te vangen regenwater

4 Kwaliteit hemelwater en opgevangen regenwater

4.1 Inleiding

Voor het bepalen van de kwaliteit van regenwater moet er een onderscheid gemaakt worden tussen hemelwater en opgevangen regenwater. Hemelwater heeft over het algemeen een betere kwaliteit dan opgevangen regenwater. Om een beeld te krijgen van de kwaliteit van hemelwater¹ en opgevangen regenwater² is een literatuurstudie uitgevoerd. Hiervoor zijn zowel wetenschappelijke artikelen als rapporten gebruikt. Verder zijn de gegevens afkomstig van het Landelijke Meetnet Regenwater (LMRe) en van STOWA (zie Tekstkader 4) gebruikt om een inschatting te doen naar de risico's van de verschillende parameters voor de Nederlandse situatie. Wanneer er geen of onvoldoende informatie aanwezig was over een specifieke parameter in regenwater in Nederland, is er gekeken naar internationale studies waarin deze parameter gemeten is. Alle informatie is verzameld in [bijlage 1](#).

Uit de literatuurstudie bleek dat de kwaliteit van hemelwater en opgevangen regenwater afhangt van verschillende factoren. Allereerst heeft **i)** het oppervlak waarop het hemelwater neerkomt invloed op de kwaliteit van het uiteindelijk te gebruiken water. Verontreinigingen afkomstig van een dak kunnen anders zijn dan die afkomstig van bijvoorbeeld een weg. Tijdens het afstromen langs oppervlakken is er bijvoorbeeld kans op besmetting met micro-organismen die bij de mens ziektes kunnen veroorzaken. Daarnaast kunnen zowel **ii)** de geografische locatie (landelijke locatie vs stedelijk gebied) als **iii)** het daarbij behorende landgebruik de kwaliteit van hemelwater beïnvloeden. Veel gassen en aerosolen afkomstig uit bijvoorbeeld de industrie, vervoersmiddelen en de verbranding van biomassa (Khan et al., 2018; Vázquez et al., 2003) kunnen ingevangen worden in hemelwater. Op locaties in de buurt van de zee kunnen er bijvoorbeeld verhoogde concentraties zouten gemeten worden. Verder kunnen **iv)** meteorologische kenmerken (bijvoorbeeld windrichting en luchtvochtigheid) een rol spelen. In kustgebieden kan het zijn dat het hemelwater oorspronkelijk afkomstig is van de zee en minder verontreinigd is dan wanneer het over verstedelijkt gebied trekt. Dit was vaak het geval in Zuid-Europese kustgebieden (Pio et al., 1991) en is afhankelijk van de windrichting. Het **v)** seizoen kan van invloed zijn op het gebruik van de diverse stoffen en daarmee op het voorkomen en de concentratie van deze stoffen in hemelwater en opgevangen regenwater. Een voorbeeld van stoffen die seizoensgebonden in hogere concentraties kunnen voorkomen zijn pesticiden (Bucheli et al., 1998). De **vi)** manier van opslag van het opgevangen regenwater en de distributie kunnen ook van invloed zijn op de uiteindelijk kwaliteit.

¹ Met hemelwater wordt het water bedoeld dat direct uit de lucht wordt opgevangen (neerslag). Het gaat om het water dat zonder tussenkomst van een verhard oppervlak op de bodem valt.

² Met opgevangen regenwater wordt al het water bedoeld dat via een oppervlak is opgevangen. Dit kunnen daken of wegen zijn, maar bijvoorbeeld ook WADI's of sloten. Afstromend regenwater kan dus van daken afstromen, maar ook van wegen of andere verharde oppervlaktes.

Ten slotte heeft de **vii)** hoeveelheid en kwaliteit van de first flush ook een invloed op de kwaliteit van het uiteindelijk opgevangen regenwater.

In dit hoofdstuk komen alle relevante chemische en microbiologische parameters aan bod die van invloed zijn op de kwaliteit van hemelwater en opgevangen regenwater en wordt een inschatting gemaakt welke verontreinigingen de kwaliteit het meeste beïnvloeden. Omdat er vaak onvoldoende informatie beschikbaar is over de mate waarop het ruwe water gezuiverd wordt, is er expliciet naar de bron gekeken en worden de in de literatuur gerapporteerde waardes, de metingen van het LMRe en de waarden uit de Stowa database vergeleken met bestaande kwaliteitseisen voor de grondstof.

Het afgeleverde water moet uiteindelijk aan de eisen uit de Drinkwaterwet voldoen om als drinkwater gebruikt te mogen worden. Met de informatie uit dit hoofdstuk kan dus een inschatting gedaan worden van de mate van zuivering die nodig is bij het gebruik van hemelwater en opgevangen regenwater als bron voor drinkwater.

4.2 Chemische risico's

Er zijn zowel chemische stoffen die via de atmosfeer in hemelwater terecht kunnen komen als chemische stoffen die vrijkomen wanneer het opvangoppervlak in contact komt met regenwater. Dit zorgt voor een grote spreiding in de oorsprong en concentraties van deze stoffen in opgevangen regenwater.

Het Drinkwaterbesluit bevat de kwaliteitseisen voor chemische stoffen en parameters waaraan het drinkwater moet voldoen (Bijlage A, tabellen II en III).

4.2.1 Zware metalen

De belangrijkste factoren die het voorkomen van zware metalen in hemelwater en opgevangen regenwater beïnvloeden zijn:

1. Het opvangoppervlak en het leidingwerk
2. Locatie

In de meeste gevallen zijn zware metalen afkomstig van stof dat neergedaald is op daken. Een deel is van natuurlijke oorsprong, maar in stedelijke gebieden kunnen zware metalen vooral in de atmosfeer komen door industrie en verbranding van fossiele brandstoffen.

In stedelijke gebieden in Turkije en Polen zijn de concentraties van de diverse zware metalen vaak hoger dan in afgelegen gebieden (Özsoy and Örnektekin, 2009; Siudek et al., 2016).

Uit een studie van Mendez et al. (2011) blijkt dat zware metalen niet alleen van metalen daken komen, ook groene daken kunnen verhoogde hoeveelheden van bijvoorbeeld lood afgeven aan het water. De gemeten loodconcentraties komen boven de Nederlandse drinkwaternormen uit in de first flush (Mendez et al., 2011). De loodconcentratie in het water opgevangen na de first flush is significant lager en ligt voor alle onderzochte type daken beneden de drinkwaternorm.

Ook een Zwitserse studie laat hetzelfde patroon zien (Zobrist et al., 2000). Daken en het bijbehorende leidingwerk (inclusief regenwaterpijpen) kunnen ook een belangrijke bron zijn voor koper en zink. Studies uit Duitsland en de VS tonen aan dat de gemeten

concentraties van deze zware metalen hoger kunnen zijn dan de Nederlandse drinkwaternormen (Chang et al., 2004; Förster, 1999). Verhoogde loodconcentraties komen niet alleen voor in afstromend regenwater van daken, maar ook in afstromend regenwater van bijvoorbeeld wegen. In de STOWA-database van opgevangen en afstromend regenwater zijn loodconcentraties gemeten (maximaal 42 µg/L) die hoger zijn dan de drinkwaternorm van 10 µg/L³. Deze waarde is gemeten in afstromend water van een gemengd oppervlak. Koper en zink komen in deze database niet boven de drinkwaternormen uit. De zware metalen die in hemelwater gemeten worden binnen het LMRe⁴ (Ar, Pb, Cd, Cu, Ni en Zn) komen nooit boven de drinkwaternormen uit.

In Nederland wordt de hemelwaterkwaliteit sinds 1992 gemonitord door het RIVM. Op een aantal stations van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit worden naast atmosferische monsters ook hemelwatermonsters genomen. In het Landelijk Meetnet Regenwater (LMRe) worden meer dan 20 parameters gemeten in hemelwater, variërend van standaard parameters zoals pH en geleidend vermogen tot zware metalen zoals arseen en lood. In het Landelijk Meetnet zijn alleen chemische parameters opgenomen. De neerslag wordt gedurende enkele weken verzameld en vervolgens geanalyseerd.

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) beheert een database Regenwaterkwaliteit waarin metingen op ongeveer 600 locaties zijn opgenomen uit onderzoeken uitgevoerd in opdracht van STOWA. De database bestaat uit metingen die tot en met 2015 verspreid over heel Nederland zijn uitgevoerd. De onderzoeken zijn gedaan naar verschillende verontreinigingen (ongeveer 250 stuks) en bij verschillende categorieën verharding zoals snelwegen, daken en overstorten.

Tekstkader 3 Regenwater meetnet en database

4.2.2 *Polyaromatische koolwaterstoffen*

Voor polyaromatische koolwaterstoffen gelden de volgende belangrijke factoren die het voorkomen in hemelwater of afstromend regenwater beïnvloeden:

1. Meteorologische kenmerken
2. Het opvangoppervlak

De atmosfeer is een belangrijke route voor het transport en neerslaan van polyaromatische koolwaterstoffen (PAK's). PAK's kunnen over lange afstanden getransporteerd worden (ze worden zelfs waargenomen in afgelegen gebieden rond de Noordpool (Lebedev et al., 2018)) en komen in het aquatische milieu terecht door neerslag, droge depositie en gasabsorptie. Een studie bij het Italiaanse Lago Maggiore wijst hemelwater aan als de belangrijkste bron van PAK's in het meer (Olivella, 2006). Maximale concentraties van de som aan PAK's in direct opgevangen hemelwater nabij het meer is 220 ng/L en komt daarmee boven de Nederlandse drinkwaternorm van 0.1 µg/L uit. Hemelwater uit Moskou bevat ook een te hoge concentratie PAK's (Polyakova et al., 2018). Metingen gedaan in afstromend regenwater langs snelwegen in

³ <https://www.stowa.nl/publicaties/database-regenwater> geraadpleegd op 24-05-2019

⁴ <https://www.rivm.nl/lucht/gevalideerde-data>

Nederland, uit de STOWA-database, laten ook overschrijdingen zien van de drinkwaternorm.

Concentraties van PAK's in hemelwater zijn over het algemeen hoger in de winter dan in de zomer. Dit zou veroorzaakt kunnen worden door verhoogde emissies in koudere periodes en lagere menghoogtes in de atmosfeer.

4.2.3 *Polychloorbifenylen*

Polychloorbifenylen (PCB's) zijn sinds de jaren '80 verboden in Nederland. Ze worden echter nog altijd aangetroffen in het milieu. PCB's worden in zowel hemelwater als in afstromend regenwater gevonden. Monsters genomen in een industrieel gebied in Zwitserland laten concentraties zien die boven de Nederlandse drinkwaternormen uitkomen (Rossi et al., 2004). In hemelwater uit Moskou zijn de concentraties ver beneden de drinkwaternorm van 0.1 µg/L met een maximale gemeten concentratie van 22 ng/L (Polyakova et al., 2018). Voor Nederland zijn er geen gegevens gevonden over PCB's in hemelwater.

4.2.4 *Pesticiden*

Pesticiden worden zowel in hemelwater zelf gedetecteerd als ook in opgevangen regenwater. De belangrijkste factoren die van invloed zijn op het voorkomen van pesticiden zijn

1. Meteorologische kenmerken
2. Locatie
3. Seizoen
4. Het opvangoppervlak

De belangrijkste route voor pesticiden om in de atmosfeer terecht te komen is door verdamping tijdens het opbrengen van de pesticiden of door verdamping van plant- of grondoppervlaktes. Verwaaiing van sproeinevel (spray drift) en winderosie kunnen echter ook een bron zijn voor deze stoffen. De concentraties zijn meestal het hoogst tijdens het applicatie seizoen (Dubus et al., 2000). Voor de vluchtige verbindingen (zoals alachlor en metolachlor) geldt dat ze voornamelijk tijdens het applicatie seizoen gemeten worden, de minder vluchtige verbindingen kunnen ook enkele weken na hun applicatie gemeten worden in hemelwater (Bucheli et al., 1998). Niet alleen pesticiden, maar ook hun metabolieten worden soms gemeten in het hemelwater. Deze verbindingen worden tot een aantal weken na de applicatie van de pesticiden gedetecteerd.

Concentraties van pesticiden in hemelwater kunnen zelfs hoger zijn dan in het oppervlaktewater, zoals het geval was in regenwater in intensief gebruikte agrarische gebieden in Flevoland (Van Boom and Heijnis, 1995). De concentraties waren daar zelfs hoger dan de norm voor oppervlaktewater. De neerslag voldoet hier op geen van de bemonsterde plekken aan de drinkwaternormen. Ook uit studies in Limburg (Van Maanen et al., 2001) en Zuid Holland (Hamers et al., 2001) blijkt dat de concentraties van diverse pesticiden boven de drinkwaternormen uitkomen. Deze overschrijdingen worden niet alleen gemeten in landbouwgebieden, maar ook in stedelijke gebieden die relatief ver verwijderd liggen van de landbouw. Ook hier is er sprake van seizoensgebondenheid en worden er verschillende concentraties gemeten op de diverse locaties.

Biociden worden voornamelijk buiten de landbouw gebruikt. Diverse bouwmaterialen bevatten biociden om de groei van algen, mos, schimmels en micro-organismen te verhinderen (Burkhardt et al., 2009). Zodoende kunnen diverse stoffen ook buiten het reguliere applicatieseizoen voor pesticiden van daken en huizen lekken. Meestal worden drie tot vijf verschillende stoffen in combinatie gebruikt. Uit een Zwitserse studie naar de uitloging van bouwmaterialen behandeld met biociden blijkt dat de stoffen in hoge concentraties vrijkomen uit het materiaal bij uitlogingstesten. Hoeveel zij echter bijdragen aan de totale regenwaterconcentraties is niet gemeten.

4.3 Fysische parameters

Voor veel van de fysische parameters geldt dat vele factoren van invloed kunnen zijn op de waardes van deze parameters:

1. Meteorologische kenmerken
2. Locatie
3. Het opvangoppervlak

De temperatuur is een belangrijke parameter omdat die van invloed kan zijn op de nagroei van verschillende micro-organismen. Ook de afbraak van sommige chemische stoffen kan hierdoor beïnvloed worden. De manier van opslaan heeft vaak de grootste invloed op de temperatuur. Ondergrondse opvangreservoirs kunnen de temperatuur constanter houden dan bijvoorbeeld regentonnen (Schets et al., 2007). De manier van opslaan lijkt echter geen grote invloed te hebben op de zuurgraad van het opgevangen water. De gemiddelde zuurgraad (pH) van Nederlands hemelwater (de pH gemeten door het LMRe ligt rond 6) is laag in vergelijking met de gemiddelde pH van bijvoorbeeld de Rijn (pH rond 8, (Stroomberg et al., 2019)). Niet alleen de samenstelling van hemelwater zelf, maar ook het type dak kan de pH beïnvloeden (Chang et al., 2004; de Kwaadsteniet et al., 2013). In een Amerikaanse studie zijn monsters met een pH van 3.5 gemeten, wat betekent dat dit opgevangen regenwater zuur was (Chang et al., 2004). Een lage pH kan leiden tot corrosie van leidingen en het oplossen van cement en dus tot meer verontreiniging van het opgevangen water. De pH van Nederlands hemelwater ligt beneden de Nederlandse drinkwaternorm ($7,0 \leq \text{pH} \leq 9,0$).

4.4 Microbiologische risico's

De aanwezigheid van microbiologische verontreinigingen afkomstig van het dak kan een probleem zijn voor de kwaliteit van opgevangen regenwater. Deze verontreinigingen zijn meestal afkomstig van uitwerpselen van dieren, vnl. vogels. Niet alleen het afgestroomde water van het dak (run-off) kan microbiologische verontreinigingen bevatten, de waterkwaliteit kan ook verslechteren door de opslag (Schets et al., 2005; Schets et al., 2010). De kwaliteit van het opgevangen regenwater is van meerdere factoren afhankelijk, zoals de regenduur, de intensiteit, de windrichting en de omstandigheden voorafgaand aan de bui (Evans et al., 2006).

Fecale verontreinigingen op daken zijn meestal afkomstig van uitwerpselen van dieren. Deze uitwerpselen blijven er gedurende een droge periode liggen en zullen afspoelen wanneer het regent. Aan het

begin van de regenbui zal de grootste hoeveelheid fecale verontreinigingen afspoelen. Ruwweg de eerste 2 mm van een bui bevat daardoor de hoogste concentraties microbiologische verontreinigingen (first flush). Dit getal hangt nauw samen met de regenintensiteit en hangt ook af van de lengte van de voorafgaande droge periode. De kwaliteit van het afstromende regenwater neemt weer toe naarmate de bui vordert, omdat op een zeker moment het grootste gedeelte van de fecale verontreinigingen van het dak afgespoeld is. In het Drinkwaterbesluit zijn de microbiologische normen benoemd waaraan het drinkwater moet voldoen. *E. coli* en intestinale enterococci hebben een vastgelegde waarde die te vinden is in Bijlage A tabel I van het Drinkwaterbesluit.

4.4.1 Bacteriën

Escherichia coli en enterococci zijn indicatoren voor fecale verontreiniging waarvan de concentraties in hemelwater en opgevangen regenwater door een aantal factoren kunnen worden beïnvloed:

1. Het opvangoppervlak
2. Meteorologische kenmerken
3. Opslag en distributie

Er zijn veel studies naar de afspoeling van fecale verontreinigingen, gedaan. In 100 mL drinkwater mogen geen *E. coli* bacteriën aanwezig zijn. In opgevangen regenwater komen echter vaak veel hogere concentraties voor, variërend van 0 tot 10.000 kolonievormende eenheden (kve)/100 mL. Zo worden in Nederlandse studies uit 2005 en 2007, die niet alleen directe afspoeling maar ook ondergrondse opslagreservoirs hebben bemonsterd, *E.coli* concentraties aangetoond tot zelfs 10.000 kve/100 mL (Schets et al., 2005; Schets et al., 2007). Er bestond ook een correlatie tussen de concentraties bacteriën en (hevige) regenval (Schets et al., 2010). Uit deze studie bleek dat afspoeling van *E.coli* vanaf gladde daken gemakkelijker verloopt dan vanaf een dak met een laag vegetatie. Ook in het buitenland worden sterk verhoogde concentraties *E. coli* gevonden in afstromend regenwater (Ahmed et al., 2011). Niet alleen *E. coli*, maar ook intestinale enterococci worden in concentraties boven de drinkwaternorm van 0 kve/100 mL gevonden (Ahmed et al., 2008; Spinks et al., 2006).

4.4.2 Bacteriële pathogenen

Bacteriële pathogenen kunnen in opgevangen regenwater voorkomen. De belangrijkste factoren die hier van invloed op kunnen zijn, zijn:

1. Seizoen
2. Meteorologische kenmerken
3. Opslag en distributie

Het is aangetoond dat opgevangen regenwater *Campylobacter* kan bevatten (Albrechtsen, 2002; Schets et al., 2010). De aanwezigheid van deze pathogeen heeft al eens een uitbraak kan veroorzaken (Eberhart-Phillips et al., 1997). Naast *Campylobacter*, wordt *Legionella* ook in regenwaterreservoirs aangetroffen. De aanwezigheid van deze ziekteverwekker in opgevangen regenwater heeft zelfs tot een uitbraak van de Veteranenziekte geleid (Lye, 2009; Simmons et al., 2008). *Legionella* heeft het potentieel om zich te vermeerderen in drinkwater

distributiesystemen, zeker wanneer de temperatuur in deze systemen omhoog gaat (Van Heijnsbergen et al., 2015) of wanneer er biofilm aanwezig is (Abu Khweek and Amer, 2018). Ook in plassen kan *Legionella* voorkomen (Van Heijnsbergen et al., 2014).

Aeromonas spp. dienen als proces-indicator voor nagroei in drinkwater distributiesystemen en moet aan het tappunt gemeten worden. Daarnaast kunnen *Aeromonas spp.* ook nagroeien tijdens de opslag van opgevangen regenwater (Lye, 2002). *Aeromonas spp.* worden niet altijd aangetroffen in opgevangen regenwater (Schets et al., 2010). Er is wel beschreven dat *Aeromonas spp.* aanwezig in drinkwater opvangsystemen sporadisch diarree kunnen veroorzaken (Simmons et al., 2001).

In een studie van Ahmed et al. (Ahmed et al., 2010) is een zodanige concentratie van *Salmonella spp.* aangetroffen in regenwateropslag tanks dat dit een risico vormde voor de gezondheid.

4.4.3 Protozoa

Protozoa worden ook vaak aangetroffen in regenwater. Op de Virgin eilanden zijn tijdens een studie in 81% van de opgevangen regenwater monsters (n=44) *Cryptosporidium oöcysten* of *Giardia* cysten aangetroffen (Crabtree et al., 1996). Ook dichterbij huis (bijvoorbeeld in Denemarken) en in Nederland zijn deze protozoa al eens aangetroffen in opgevangen regenwater (Albrechtsen, 2002; Schets et al., 2010). Maximale concentraties zijn met 50 protozoa/L hoger dan gemiddeld wordt aangetroffen in grondwater of oppervlaktewater monsters die jaarlijks door de drinkwaterbedrijven worden geanalyseerd. Een studie uit Australië liet zien dat de kans op een infectie met *Giardia lamblia* door het drinken van ongezuiverd en niet gedesinfecteerd regenwater tussen de 10 en 65 infecties per 10.000 personen is (Ahmed et al., 2010). Dit ligt 10 tot 65 keer hoger dan de waarde waaraan Nederlands drinkwater moet voldoen.

4.4.4 Virussen

Informatie over virussen in hemelwater of opgevangen regenwater is schaars. Monsters van regenwater uit opvangtanks genomen in Zuid-Afrika wijzen op de aanwezigheid van adenovirus in het opgevangen regenwater. In alle monsters is DNA van adenovirus aangetroffen, zij het in lage concentraties (Waso et al., 2018). In Nederland zijn in een eerdere studie geen adenovirussen in regenwater aangetroffen (Schets et al., 2010).

5 Regenwater als bron voor drinkwater - relevante parameters voor meetprogramma

Uit hoofdstuk 4 blijkt dat hemelwater en opgevangen regenwater niet vrij zijn van chemische en microbiologische verontreinigingen. De kwaliteit kan nogal fluctueren, met als belangrijkste oorzaken de seizoenen, de ligging van het gebouw, het perceel en de windrichting. De kwaliteit van opgevangen regenwater is zeker niet te vergelijken met een relatief schone bron zoals grondwater. Om te kunnen voldoen aan de eisen die gesteld worden aan drinkwater is het dus nodig om het hemelwater of opgevangen regenwater te zuiveren.

De kwaliteit van het opgevangen regenwater/hemelwater speelt een belangrijke rol bij het vaststellen van het meetprogramma. Vanwege de gelijkenis met oppervlaktewater ligt het voor de hand om een meetprogramma van oppervlaktewater als bron voor drinkwater als uitgangspunt te nemen.

Net als eigen winningen kunnen regenwaterwinningen zeer waarschijnlijk niet meer dan 1000 m³ per dag leveren, wat neerkomt op een levering aan maximaal 3800 huishoudens (uitgaand van 2,2 personen per huishouden en een gemiddeld waterverbruik van 120 liter per persoon per dag). Het meetprogramma voor eigen winningen die oppervlaktewater gebruiken als bron lijkt dus een goede optie vanwege de grootte van de winningen. Hierdoor zou tabel IIIb van de Drinkwaterregeling (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2011b) van toepassing zijn.

Tabel IIIb van de Drinkwaterregeling beschrijft welke parameters en hoe vaak deze gemeten moeten worden voor een eigen winning waarbij oppervlaktewater wordt gebruikt als grondstof. Hierbij wordt per parameter aangegeven waar deze gemeten moet worden, in de grondstof (ruwe water) of aan de tap.

Aan de hand van het voorkomen in de bron en de gemeten concentraties uit de literatuurstudie ([zie bijlage 1](#) voor gedetailleerde informatie) is voor alle parameters uit tabel IIIb bepaald of de beschreven eisen toereikend zouden zijn wanneer hemelwater of opgevangen regenwater als bron voor drinkwater gebruikt zouden worden. De in de literatuur genoemde concentraties zijn vergeleken met de Nederlandse drinkwaternorm zoals genoemd in het Drinkwaterbesluit.

5.1 Parameters die vaak en/of in hoge concentraties worden aangetroffen

Op basis van literatuurgegevens is in Tabel 2 een selectie van parameters uitgelicht die vaak aanwezig zijn in hemelwater of opgevangen regenwater en waarvan de concentraties vaak boven de drinkwaternormen uitkomen. Deze parameters kunnen verhoogde risico's met zich mee kunnen brengen.

Microbiologische parameters

Vrijwel alle microbiologische parameters die vermeld zijn in Tabel IIIb van de Drinkwaterregeling worden ook aangetroffen in hemelwater of afstromend regenwater. Parameters zoals *Cryptosporidium* of *Giardia* worden in een veel lagere frequentie dan *E. coli* waargenomen, maar op het moment dat deze parameters worden aangetroffen zijn de concentraties wel direct boven de drinkwaternorm. Deze parameters kunnen dus een verhoogd risico vormen.

Enterococci worden ook vaak waargenomen in regenwater, soms zelfs in hogere concentraties dan *E. coli*. Enterococci zijn resistenter tegen desinfectie dan *E. coli* en hierdoor dus van belang voor de vaststelling van een meetprogramma voor hemelwater/afstromend regenwater.

Een bacterie die niet in tabel IIIb wordt genoemd maar waarvan uit de literatuur naar voren is gekomen dat deze aangetroffen wordt in regenwater, is *Legionella pneumophila*. *Legionella* heeft de potentie om zich te vermeerderen in opvangsystemen waarin biofilm aanwezig is en kan dus een verhoogd risico vormen bij het gebruik van hemelwater of opgevangen regenwater, zelfs al wordt *Legionella* slechts sporadisch aangetroffen. Het vermeerderen gaat sneller naarmate de watertemperatuur hoger is.

Chemische parameters

Er is zowel een aantal chemische parameters dat sporadisch wordt aangetroffen in hemelwater of opgevangen regenwater, als een aantal parameters dat vaak en in concentraties boven de norm wordt aangetroffen. Daarnaast is er over een groot deel van de parameters nog weinig bekend over het voorkomen en de concentraties in hemelwater of opgevangen regenwater.

Het materiaal waarvan daken en leidingen gemaakt zijn, kan een grote invloed hebben op de chemische kwaliteit van het opgevangen water. Voorbeelden van stoffen die afgegeven kunnen worden door daken en leidingen zijn arseen, koper, lood en ijzer. Van deze stoffen is lood de belangrijkste. Van lood (Tabel 2) is uit de literatuurstudie gebleken dat deze stof vaak en in hoge concentraties voorkomt in opgevangen regenwater. De gemeten concentraties overschrijden regelmatig de drinkwaternorm. Recentelijk heeft de Europese Commissie een voorstel gedaan om de norm voor lood te halveren in de nieuwe Drinking Water Directive, wat zal leiden tot nog meer overschrijdingen (European Parliament and Council, 2020). Zelfs de concentraties die gemeten worden in hemelwater door het LMRe komen heel dicht in de buurt van deze nieuwe norm.

Ook van pesticiden is uit de literatuurstudie gebleken dat zij vaak en in hoge concentraties worden aangetroffen in opgevangen regenwater. De concentraties overschrijden dikwijls de drinkwaternorm en kunnen niet alleen hoog zijn in de buurt van intensieve landbouwgebieden, maar ook in stedelijke gebieden. De concentraties zijn vooral hoog tijdens en vlak na het applicatieseizoen van de pesticiden. Buiten het applicatieseizoen is het risico van deze stoffen aanzienlijk lager. Biociden kunnen ook gebruikt worden in dakmaterialen om bepaalde insecten en mossen te weren.

Een andere belangrijke parameter is de zuurgraad van het opgevangen regenwater. Wanneer het water te zuur is, kan er corrosie optreden in het leidingnet of kan huishoudelijke apparatuur aangetast worden. Dit kan ook nadelige effecten hebben op de waterkwaliteit. De zuurgraad is niet alleen afhankelijk van het hemelwater, maar ook van het type dak. Bij bepaalde daken kan afstromend regenwater een zeer lage zuurgraad hebben.

Tabel 2 Parameters afkomstig uit tabel IIIb van de Drinkwaterregeling die, op basis van beschikbare literatuurgegevens, vaak en/of in concentraties boven de drinkwaternorm worden aangetroffen in hemelwater of opgevangen regenwater.

Parameter	Aanwezig in de bron (hemelwater of opgevangen regenwater)	Concentratie boven de drinkwaternorm
<i>Cryptosporidium</i>	soms	vaak
<i>Escherichia coli</i>	vaak	vaak
<i>Giardia</i>	soms	vaak
Enterococcen	vaak	vaak
Lood	vaak	vaak
Pesticiden	vaak	vaak
Zuurgraad	Nvt	vaak (kan ook onder de norm zijn)

5.2 Parameters die zelden en/of in lage concentraties worden aangetroffen

Naast parameters waarvan uit de literatuur is gebleken dat ze vaak en/of in hoge concentraties voorkomen in opgevangen regenwater, zijn er ook parameters die zelden en/of in lage concentraties worden aangetroffen. Tabel 3 toont een aantal van deze parameters. Wat opvalt is dat er relatief veel chemische parameters zijn waarvoor de aangetroffen concentraties in regenwater aan de drinkwaternormen voldoen. Een voorbeeld van een dergelijke chemische parameter is arseen. In Nederland wordt deze stof niet waargenomen in opgevangen regenwater. Arseen zou wel afkomstig kunnen zijn van daken, maar de concentraties na afgifte blijven ver onder de drinkwaternorm. Dit geldt ook voor koper en zink, die wel worden aangetroffen, maar waarvan de concentraties vrijwel altijd onder de drinkwaternorm liggen. Bovendien zijn de concentraties aanzienlijk lager in het water dat opgevangen wordt na de first flush. Andere voorbeelden zijn nitraat en cadmium. De concentraties gemeten door het LMRe zijn altijd lager dan de drinkwaternorm.

Tabel 3 Voorbeelden van parameters afkomstig uit tabel IIIb van de Drinkwaterregeling die zelden en/of in lage concentraties aangetroffen worden in hemelwater of opgevangen regenwater.

Parameter	Aanwezig in de bron	Concentratie boven de drinkwaternorm
Arseen	zelden	zelden
Koper	soms	zelden
Nitraat	vaak	zelden
Zink	soms	zelden
Cadmium	vaak	zelden
Kwik	soms	zelden

5.3 Parameters waarover onvoldoende informatie uit de literatuur beschikbaar is

Van een aantal parameters uit tabel IIIb van de Drinkwaterregeling is niet voldoende informatie beschikbaar in de literatuur om een inschatting te kunnen maken van het voorkomen en de concentratie in hemelwater of opgevangen regenwater (bijvoorbeeld voor diglyme, ETBE en trihalomethanen). Dit geldt ook voor overige antropogene stoffen, zoals medicijnresten en industriële stoffen. Uit de Drinkwaterregeling blijkt dat er een meetverplichting geldt voor overige antropogene stoffen indien er aanleiding toe is of op verzoek van de Inspectie ILT. Overige antropogene stoffen is een verzamelterm voor alle (nieuwe) chemische stoffen die van menselijke oorsprong zijn. Voor een groot deel van deze stoffen in oppervlaktewater zijn afvalwaterzuiveringen of industriële lozingen en zuiveringen de bron. Dit geldt bijvoorbeeld voor geneesmiddelen. Uit de literatuur blijkt echter niet dat deze stoffen zijn aangetoond in regenwater. Dit geldt voor veel stoffen waarvan de afvalwaterzuivering de belangrijkste bron is. Stoffen die in de atmosfeer terecht kunnen komen (als industriële uitstoot, bijvoorbeeld PCB's) kunnen echter wel degelijk een risico vormen voor het regenwater.

5.4 Gevolgen voor het meetprogramma

Op basis van de beschreven literatuur komen een aantal parameters naar voren die vaak en in hoge concentraties in hemelwater of opgevangen regenwater worden aangetroffen (Tabel 2). Er zijn echter ook parameters die vaak worden aangetroffen in hemelwater of opgevangen regenwater maar waarvan de concentratie nooit boven de norm uitkomt. Bovengenoemde parameters zijn dus belangrijk, maar de frequentie waarmee ze gemeten moeten worden kan wellicht lager zijn dan van parameters waarvan de concentratie altijd boven de norm uit komt. Voor hemelwater en opgevangen regenwater zou wellicht een aangepast meetprogramma gemaakt kunnen worden waarin zowel de frequentie als de parameters aangepast zouden kunnen worden.

Of voor bepaalde parameters een verhoogde meetinspanning geleverd moet worden, wordt bepaald voor de grondstof en niet aan de tap omdat de manier van zuiveren niet gestandaardiseerd is en erg verschilt tussen alle studies.

Met de informatie over het voorkomen en de concentraties van bepaalde verontreinigingen kan een risico-gebaseerde inschatting gemaakt worden van parameters die aan tabel IIIb toegevoegd zouden moeten worden of waarvan de meetfrequentie verhoogd zou moeten worden. De meetfrequentie voor veel parameters in tabel IIIb van de Drinkwaterregeling is 1 keer per jaar. Of de genoemde frequenties in deze tabel ook volstaan voor regenwater, moet nader onderzocht worden. Voor de parameters die vaak en in hoge concentraties voorkomen zou de frequentie wellicht verhoogd moeten worden, afhankelijk van zowel de lokale situatie, het seizoen en de hoeveelheid te produceren drinkwater.

Wanneer de parameters beïnvloed kunnen worden tijdens de opslag of in het distributienet, is het daarnaast van belang om zowel de grondstof als aan de tap te bemonsteren.

6 Zuiveringsmogelijkheden en kosten

6.1 Zuiveringsmogelijkheden

Zoals blijkt uit hoofdstuk 4 is de kwaliteit van hemelwater of opgevangen regenwater niet dusdanig dat het direct gebruikt kan worden als drinkwater. Om te voldoen aan de kwaliteitseisen zoals beschreven in de Drinkwaterwet, moet het water gezuiverd worden. Hierbij moet rekening gehouden worden met de efficiëntie en capaciteit van de zuiveringsmethode om de verontreinigingen te verwijderen of te reduceren. Ondanks dat er mogelijkheden zijn om regenwater te zuiveren (Hofman-Caris and Bertelkamp, 2017), is de productie van drinkwater sterk afhankelijk van de werking van het zuiveringssysteem en de mate van verontreiniging in het regenwater.

Een standaard zuivering om van opgevangen regenwater drinkwater te maken kan er als volgt uit zien: als eerste zal het grove vuil (zoals bladeren) uit het water verwijderd moeten worden. Meestal wordt het water daarna verzameld in een buffervat, voordat het de zuivering in gaat. Omdat het water veel verontreinigingen kan bevatten die relatief moeilijk te verwijderen zijn, zijn er geavanceerde technieken nodig om het water schoon te krijgen. Deze technieken moeten niet alleen metalen en organisch materiaal kunnen verwijderen, maar ook organische microverontreinigingen en micro-organismen. Om ervoor te zorgen dat het water altijd microbiologisch veilig is, is het aan te raden van een dubbele barrière gebruik te maken. Niet alle micro-organismen worden namelijk met dezelfde zuiveringstechniek verwijderd. Mocht het voorkomen dat één van beide technieken uitvalt of minder goed functioneert, is er altijd nog een tweede zuiveringsstap voorhanden. Zuiveringsstappen die hierbij vaak gebruikt worden zijn omgekeerde osmose gecombineerd met een desinfectie stap of UV/H₂O₂ met een actief kool filter. Om aan de wettelijke kwaliteitseisen te voldoen worden deze stappen vaak gevolgd door re-mineralisatie. De beschreven systemen zijn geavanceerd en zijn, mits goed onderhouden, zeer goed in staat water van de benodigde kwaliteit te leveren. Hierdoor is het ook mogelijk regenwater te gebruiken dat op andere verharde oppervlaktes valt dan alleen daken.

Er zijn diverse commerciële partijen die waterfilters specifiek voor huishoudelijk gebruik aanbieden, afwisselend van membranen tot meer natuurlijke filters zoals helofytenfilters. Deze filters zijn over het algemeen goedkoper dan de meer geavanceerde technieken zoals hierboven beschreven en worden op hele kleine schaal gebruikt. De aanwezigheid van een zuiveringssysteem betekent echter niet dat er automatisch veilig drinkwater wordt geproduceerd. Het kan bijvoorbeeld zo zijn dat een gedeelte van het zuiveringssysteem niet naar behoren werkt en dit niet meteen opgemerkt wordt door de beheerder van dit systeem.

6.2 Controle en controlemetingen

Om de werking van de zuiveringssystemen te kunnen garanderen moeten ze goed en vaak gecontroleerd worden op bijvoorbeeld de

integriteit van de membranen of correcte dosis van de UV-lampen (dit kan ook (semi)automatisch plaatsvinden). Naast deze controles dient er ook frequent een uitgebreid programma aan waterkwaliteitsparameters geanalyseerd te worden. Aan de tap moet bijvoorbeeld gecontroleerd worden of het zuiveringssysteem nog doet wat het beloofd heeft. Dit maakt de toepassing van dergelijke systemen op huishoudniveau (per huishouden) lastig (door zowel de kosten als de benodigde expertise om de meetgegevens te kunnen duiden).

Hoewel de verwijderingsefficiëntie van geavanceerde systemen hoog is, kan met name voor microbiologische verontreinigingen vrijwel nooit een verwijdering van 100% worden bereikt (Hofman-Caris and Bertelkamp, 2017).

6.3 Milieuwinst

Hofman-Caris et al. (Hofman-Caris and de Waal, 2018) hebben de kosten van verschillende scenario's doorerekend voor het gebruik van regenwater als drinkwater in zowel een stedelijke omgeving (Centrumeiland in Amsterdam) als een landelijke omgeving (Holysloot). Hierbij is gebruik gemaakt van verschillende zuiveringstechnieken en opvangmogelijkheden.

In Hofman-Caris et al. (Hofman-Caris and de Waal, 2018) werden de hieruit volgende totale kosten over 20 jaar en de levenscyclusanalyse gebruikt om drinkwater uit regenwater te kunnen vergelijken met centraal geleverd drinkwater voor wat betreft de impact op het milieu en de kosten per m³ drinkwater. In de levenscyclusanalyse zijn de aan te leggen leidingnetten en apparatuur niet meegenomen omdat het heel lastig is een decentrale zuivering te vergelijken met de huidige situatie waarin al bestaande leidingnetten en zuiveringen zijn. Voor het Centrumeiland resulteerde dit in een tweetal scenario's (gebruik van twee verschillende zuiveringstypes, omgekeerde osmose & geavanceerde oxidatie), voor de woning in Holysloot in 4 scenario's (gebruik van dezelfde zuiveringstypes als in Centrumeiland gecombineerd met opvang in een gesloten tank of in een open vijver). De impact van de zuivering op het milieu (uitgedrukt in ecopunten) in Holysloot is hoger dan op Centrumeiland, omdat de zuivering in Holysloot overgedimensioneerd is. Omdat de kwaliteit van ongezuiverd, opgevangen water snel achteruit gaat, moet de zuivering namelijk tijdens piekbuien een grote hoeveelheid water snel kunnen zuiveren. Om dit te doen is een robuuste zuivering nodig, die echter niet altijd in bedrijf is. De impact op het milieu van de zuivering van het Centrumeiland is in beide scenario's lager dan die van Holysloot.

In vergelijking met de centrale drinkwaterzuivering is de impact op het milieu van regenwater voor alle scenario's (zowel in de stad als op het platteland) kleiner (1.9 Pt/jaar voor een centrale zuivering tegenover 0.65 of 1.45 Pt/jaar voor een decentrale zuivering in de stad of op het platteland). Hierbij moet wel worden vermeld dat de impact van de aanleg van de zuivering niet is meegenomen, en de totaal te behalen milieuwinst zeer klein is ten opzichte van de gemiddelde voetafdruk van een West-Europeaan in ecopunten (Frischknecht et al., 2008) (totale winst van 1,35 Pt/jaar op een gemiddelde voetafdruk van 1000 Pt/jaar).

6.4 Kosten

De kosten voor de drinkwaterbereiding uit regenwater uit deze voorbeelden zijn hoger dan de kosten voor een centrale drinkwaterzuivering (Hofman-Caris and de Waal, 2018). In de eerdergenoemde pilot 'De Ceuvel' (Tekstkader 1) is vanwege de hoge kosten voor controles en onderhoud uiteindelijk gekozen om drinkwater niet lokaal te produceren.

Uit een studie van (Hofman-Caris and de Waal, 2018) blijkt dat de kosten in de stad voor de productie van drinkwater twee keer zo hoog zijn bij een decentrale zuivering als bij een centrale zuivering (€2,70-€3,50 respectievelijk €1,95 per m³ geproduceerd drinkwater). Op het platteland is dat zelfs 30-50 keer zo hoog (€64 - €111 per m³ geproduceerd drinkwater). Dit grote verschil wordt voor een deel veroorzaakt door de analysekosten voor de kwaliteitscontroles. De kosten voor deze meetprogramma's zijn hoog (ongeveer €2500 per jaar, alleen voor het gezuiverde water), zeker als een enkel huishouden die kosten zou moeten dragen.

Voor drie afgelegen gebieden in Limburg zijn recentelijk de mogelijkheden voor decentrale zuivering bekeken, waarbij regenwater ook als een optionele bron voor drinkwater is meegenomen (Hofman-Caris et al., 2019). Bij alle casussen blijkt uit de berekeningen dat de kosten voor het opvangen en zuiveren van regenwater tot drinkwater hoger uitkomen dan als oppervlaktewater of grondwater gebruikt zouden worden als bron voor het drinkwater. Dit wordt met name veroorzaakt door het aanschaffen van de benodigde opvangsystemen en buffers om over voldoende water te kunnen beschikken. In twee van de drie gevallen is het op het dak opgevangen regenwater namelijk niet voldoende om aan de vraag te voldoen. De kosten voor decentrale zuivering vallen überhaupt hoger uit dan bij een centrale zuivering.

7 Discussie

7.1 Wet- en regelgeving

Mensen die regenwater gebruiken als bron voor drinkwater of om mee te douchen zijn zich er lang niet altijd van bewust dat er eisen worden gesteld aan dit water. Op sommige internet-platforms wordt gesuggereerd dat regenwater niet alleen makkelijk in de tuin gebruikt kan worden, maar ook als water om kleren mee te wassen of om mee te douchen. Hierbij wordt vaak niet vermeld dat dit water volgens het drinkwaterbesluit van drinkwaterkwaliteit dient te zijn om gezondheidsrisico's te voorkomen. Het is van belang dat consumenten zich dit realiseren.

7.2 Kwantiteit

Uit hoofdstuk 3 is gebleken dat een gemiddeld Nederlands dak niet groot genoeg is om voor een heel huishouden aan de jaarlijkse drinkwaterbehoefte te voldoen. Wanneer er aan de drinkwaterbehoefte voldaan zou moeten worden, zou het hemelwater niet alleen opgevangen moeten worden van daken, maar ook van andere verharde oppervlaktes of in open opvangbassins. Een aansluiting op het bestaande distributienet zou ook een mogelijkheid kunnen zijn om ook in droge periodes aan de drinkwaterbehoefte te kunnen voldoen. Dit zal worden getest in het SuperLocal project van WML (zie Tekstkader 1), waarin de reinwaterkelder niet alleen gevoed zal worden door opgevangen regenwater, maar ook met regulier drinkwater uit het bestaande distributiesysteem. De kwaliteit van het gezuiverde regenwater moet dan wel vergelijkbaar zijn met die van het drinkwater om besmetting van het drinkwaterleidingnet te voorkomen. De verwachting is dat weliswaar de uurpiek in het centrale net kan worden verlaagd, maar niet de dagpieken. De omvang van de reinwaterkelder zou dus ongeveer gelijk blijven.

De verwachting is dat Nederland in de toekomst steeds vaker te maken krijgt met zowel hevige regenval als langere periodes van droogte (van den Hurk et al., 2014). De opslag bassins moeten tijdens hevige regenval groot genoeg zijn om alles op te kunnen vangen, en moeten ook in staat zijn droge periodes te overbruggen zodat de huishoudens niet zonder water komen. Dit heeft tot gevolg dat het straatbeeld drastisch zou kunnen veranderen en er diepe opvangbassins zouden komen die een groot deel van de tijd leeg zouden komen te staan. In landelijke gebied speelt dit waarschijnlijk een minder grote rol omdat de dakoppervlaktes gemiddeld genomen groter zijn. Andere opties voor regenwateropslag kunnen waterlopen, waterpleinen, vijvers en ondergrondse opslag zijn.

7.3 Kwaliteit

Uit de literatuur (hoofdstuk 4) blijkt dat er een grote verscheidenheid aan verontreinigingen voor kan komen in zowel hemelwater als opgevangen regenwater. Nog niet voor alle parameters kan worden aangetoond in welk bereik de concentraties liggen in Nederland. Het SuperLocal project van WML zal daardoor van wezenlijk belang zijn om

meer informatie te genereren over de kwaliteit van hemelwater en opgevangen regenwater. Om deze informatie te kunnen verzamelen, zal WML gedurende een jaar monitoren aan de hand van tabel IIIb uit de Drinkwaterregeling. Zodra er genoeg informatie beschikbaar is over de kwaliteit van het regenwater en het daaruit geproduceerde drinkwater zal in overleg met ILT een ontheffing aangevraagd worden om het drinkwater te mogen leveren, indien de risico's voldoende bekend zijn en beheerst worden.

Voor de parameters waarbij de geografische locatie van belang is zal geen eenduidig en volledig beeld gegeven kunnen worden voor heel Nederland. Voor deze parameters zal een gedegen risico-inschatting helpen om het meetprogramma vast te kunnen stellen.

7.4 Zuivering

Uit de literatuur (hoofdstuk 4) is gebleken dat het opgevangen regenwater van zodanige kwaliteit is dat het in alle gevallen een zuiveringsstap moet ondergaan voordat het aan de kwaliteitseisen van drinkwater kan voldoen. Dit is technisch mogelijk, maar niet alle verontreinigingen kunnen door dezelfde zuiveringstechnieken uit het hemelwater en opgevangen regenwater gezuiverd worden.

Cryptosporidium is bijvoorbeeld extreem resistent tegen desinfectie met chloor, maar kan wel goed uit het opgevangen regenwater gefilterd worden door een langzame zandfiltratie (WHO, 2017). *Giardia* daarentegen is veel minder resistent tegen desinfectie met chloor en zou op die manier dus goed te verwijderen zijn. In de praktijk is langzame zandfiltratie voor een individueel huishouden waarschijnlijk geen optie vanwege het benodigde volume.

Voor veel chemische verontreinigingen zijn stappen zoals een actief kool filter of omgekeerde osmose de manier om de stoffen uit het water te halen. Persistente stoffen worden niet tegengehouden door eenvoudige zandfilters en hebben deze geavanceerdere technieken nodig om verwijderd te worden. Ook een stof als nitraat is niet effectief te verwijderen door reguliere zuiveringstechnieken.

Binnen het SuperLocal project van WML zullen verschillende zuiveringstechnieken getest worden die zowel robuust zullen moeten zijn als relatief makkelijk in onderhoud. Vanwege de wettelijk voorgeschreven minimale buffer vermogen is re-mineralisatie van het regenwater vereist.

Voor consumenten die op zoek zijn naar zuiveringsapparatuur om van regenwater drinkwater te maken is het lastig alle benodigde informatie te krijgen. Op diverse internetfora delen bewoners van tiny houses tips en tricks voor het zuiveren van het regenwater omdat er naast veel verkopende partijen ook veel verschillende soorten zuiveringen zijn. Voor welke doeleinden de apparatuur gebruikt kan worden is niet altijd duidelijk. Het is ook van groot belang dat consumenten de apparatuur regelmatig (laten) controleren en op tijd vervangen, om te voorkomen dat het drinkwater (tijdelijk) niet aan de kwaliteitseisen voldoet (bijvoorbeeld door excessieve groei van micro-organismen).

7.5 Kosten en milieuwinst

De kosten voor het leveren van veilig drinkwater spelen een belangrijke rol in de haalbaarheid van het inzetten van regenwater als bron voor

drinkwater. Binnen het project 'De Ceuvel' in Amsterdam was het technisch mogelijk lokaal drinkwater te produceren dat aan de veiligheidsnormen voldeed, maar waren de productiekosten dermate hoog dat uiteindelijk is afgezien van de lokale productie. Uit kostenberekeningen bij drie afgelegen gebieden in Limburg blijkt dat de kosten voor het gebruik van regenwater hoger liggen dan wanneer oppervlaktewater of grondwater worden gebruikt als bron voor drinkwater. Dit geldt voor een decentrale zuivering.

De aansluitingsgraad op het drinkwaternet is in Nederland erg hoog, waardoor het de vraag is of de (geringe) milieuwinst opweegt tegen de extra kosten voor een regenwatersysteem.

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

Er valt in Nederland te weinig regen om aan de drinkwaterbehoefte te voldoen met slechts via het dak opgevangen regenwater. Daarom zullen ook andere bronnen moeten worden aangesproken, zoals het opvangen van regenwater op andere (on)verharde oppervlaktes of het aanvullen van drinkwater via het bestaande drinkwaternet.

De huidige Nederlandse drinkwaterwet- en regelgeving gaat uit van grond- en oppervlaktewater als grondstof voor drinkwaterbereiding. Hemelwater wordt wel genoemd als bron voor huishoudwater (toiletspoeling) maar niet als grondstof voor drinkwater. Om hemelwater te mogen gebruiken als grondstof voor drinkwaterbereiding en ter beschikking te stellen aan derden, moet aangetoond worden dat de kwaliteit van de bron en de zuivering voldoende zijn om te waarborgen dat het drinkwater continu aan de kwaliteitseisen voldoet.

De kwaliteit van zowel hemelwater als opgevangen regenwater is niet voldoende om het water zonder zuivering te kunnen drinken. De kwaliteit van hemelwater, maar voornamelijk van opgevangen regenwater, is over het algemeen slechter dan van grondwater. Daarom wordt aanbevolen aan het meetprogramma voor eigen winningen die gebruik maken van oppervlaktewater (tabel IIIb uit de Drinkwaterregeling) te voldoen.

Er zijn zowel microbiologische als chemische parameters die een risico vormen voor de kwaliteit van het opgevangen regenwater. De parameters die vaak en in hoge concentraties voorkomen in hemelwater of opgevangen regenwater zijn zowel microbiologisch: *Cryptosporidium parvum*, *Giardia lamblia*, *Escherichia coli* en enterococci als chemisch: lood en pesticiden. Er zal ook gelet moeten worden op de zuurgraad van het opgevangen water vanwege de kans op corrosie van leidingen en het oplossen van bijvoorbeeld cement van daken en in opvangbassins. Om diezelfde reden dient het water ook geremineraliseerd te worden.

Daarnaast zijn er ook parameters waarvoor de huidige kwaliteitseisen toereikend lijken te zijn voor regenwater en waarvan de meetfrequentie niet omhoog zou hoeven te gaan. Dit geldt bijvoorbeeld voor een aantal zware metalen zoals cadmium, zink en kwik.

Er zijn een aantal parameters waarvoor onvoldoende informatie beschikbaar is over het voorkomen en concentraties in Nederland of in de literatuur in het algemeen. Van veel overige antropogene stoffen is niet bekend of en in welke concentratie ze voorkomen in regenwater. Ook van stoffen zoals diglyme en ETBE is relatief weinig informatie beschikbaar.

Er is een gedegen risico inschatting van bron tot tap nodig om te bepalen welke meetfrequenties passend zijn voor regenwaterwinningen. Dit geldt ook voor de monsternamenpunten.

Over het algemeen geldt dat de technische mogelijkheden voorhanden zijn om veilig drinkwater te maken van regenwater, maar dit kan kostbaar zijn. De kosten voor een huishouden vallen vermoedelijk hoger uit dan drinkwater uit het reguliere net. Ook ontbreekt het consumenten of eigenaren van deze installaties vaak aan kennis en expertise.

8.2 Aanbevelingen

Het wordt aanbevolen om tabel IIIb uit de Drinkwaterregeling als uitgangspunt te nemen voor het op te stellen meetprogramma voor winningen die regenwater als bron voor drinkwater gebruiken. Daarnaast kunnen lopende pilots met regenwater worden benut om meer informatie te verzamelen over de aanwezigheid van alle parameters uit tabel IIIb in regenwater. Hierdoor zullen de risico's beter ingeschat kunnen worden.

De ervaringen uit deze pilots zullen daarnaast helpen om de benodigde robuustheid van de zuivering beter in beeld te krijgen en kunnen een beter inzicht geven in de consequenties voor het meetprogramma (zowel parameters, monsterlocaties als meetfrequenties).

Het verdient aanbeveling consumenten in het algemeen en initiatiefnemers van regenwaterprojecten in het bijzonder beter voor te lichten over de eisen waaraan drinkwater moet voldoen en de gezondheidsrisico's als hieraan niet wordt voldaan.

9 Referenties

- Abu Khweek, A. and Amer, A.O. 2018. Factors mediating environmental biofilm formation by *Legionella pneumophila*. *Frontiers in cellular and infection microbiology* 8, 38.
- Ahmed, W., Gardner, T. and Toze, S. 2011. Microbiological Quality of Roof-Harvested Rainwater and Health Risks: A Review. *Journal of Environment Quality* 40(1), 13.
- Ahmed, W., Huygens, F., Goonetilleke, A. and Gardner, T. 2008. Real-time PCR detection of pathogenic microorganisms in roof-harvested rainwater in Southeast Queensland, Australia. *Appl Environ Microbiol* 74(17), 5490-5496.
- Ahmed, W., Vieritz, A., Goonetilleke, A. and Gardner, T. 2010. Health risk from the use of roof-harvested rainwater in Southeast Queensland, Australia, as potable or nonpotable water, determined using quantitative microbial risk assessment. *Appl. Environ. Microbiol.* 76(22), 7382-7391.
- Albrechtsen, H.J. 2002. Microbiological investigations of rainwater and graywater collected for toilet flushing. *Water Science and Technology* 46(6-7), 311-316.
- Bucheli, T.D., Müller, S.R., Heberle, S. and Schwarzenbach, R.P. 1998. Occurrence and behavior of pesticides in rainwater, roof runoff, and artificial stormwater infiltration. *Environmental Science & Technology* 32(22), 3457-3464.
- Bundesministerium für Gesundheit 2018. Verordnung zur Neuordnung trinkwasserrechtlicher Vorschriften. *Bundesgesetzblatt Teil I Nr. 2*.
- Burkhardt, M., Zuleeg, S., Vonbank, R., Haag, R., Schmid, P., Hean, S., Bester, K. and Boller, M. 2009. Diffuse Belastung von Regenabwasser durch organische Problemstoffe und offene Fragen zum Regenwasser-Management. *Hamburger Bericht zur Siedlungswasserwirtschaft* 70, 37-42.
- Chang, M., McBroom, M.W. and Beasley, R.S. 2004. Roofing as a source of nonpoint water pollution. *Journal of environmental management* 73(4), 307-315.
- Crabtree, K.D., Ruskin, R.H., Shaw, S.B. and Rose, J.B. 1996. The detection of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in cistern water in the US Virgin Islands. *Water Research* 30(1), 208-216.
- de Kwaadsteniet, M., Dobrowsky, P.H., van Deventer, A., Khan, W. and Cloete, T.E. 2013. Domestic Rainwater Harvesting: Microbial and Chemical Water Quality and Point-of-Use Treatment Systems. *Water, Air, & Soil Pollution* 224(7).
- des Wasserhaushalts, B.z.O. 2009. Wasserhaushaltsgesetz (WHG). *BGBI. I (58)*, 1695.
- Dubus, I., Hollis, J. and Brown, C. 2000. Pesticides in rainfall in Europe. *Environmental pollution* 110(2), 331-344.
- Eberhart-Phillips, J., Walker, N., Garrett, N., Bell, D., Sinclair, D., Rainger, W. and Bates, M. 1997. Campylobacteriosis in New Zealand: results of a case-control study. *Journal of Epidemiology Community Health* 51(6), 686-691.

- European Commission 2015 Commission Directive (EU) 2015/1787 of 6 October 2015. Amending Annexes II and III to Council Directive 98/83/EC on the Quality of Water Intended for Human Consumption., pp. 6-17.
- European Parliament and Council 2020 Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the quality of water intended for human consumption (recast) - Political Agreement, 6060/1/20, Interinstitutional File 2017/0332(COD), Brussels.
- Evans, C.A., Coombes, P.J. and Dunstan, R.H. 2006. Wind, rain and bacteria: The effect of weather on the microbial composition of roof-harvested rainwater. *Water Res* 40(1), 37-44.
- Farreny, R., Morales-Pinzón, T., Guisasola, A., Taya, C., Rieradevall, J. and Gabarrell, X.J.W.r. 2011. Roof selection for rainwater harvesting: quantity and quality assessments in Spain. 45(10), 3245-3254.
- Fernandes, T., Schout, C., Husman, A.D.R., Eilander, A., Vennema, H. and Van Duynhoven, Y. 2007. Gastroenteritis associated with accidental contamination of drinking water with partially treated water. *Epidemiology & Infection* 135(5), 818-826.
- Förster, J. 1999. Variability of roof runoff quality. *Water Science and Technology* 39(5), 137-144.
- Frischknecht, R., Steiner, R. and Jungbluth, N. 2008. *Ökobilanzen: Methode der ökologischen Knappheit-Ökofaktoren 2006*. Zürich: öbu.
- Hamers, T., Smit, M.G., Murk, A.J. and Koeman, J.H. 2001. Biological and chemical analysis of the toxic potency of pesticides in rainwater. *Chemosphere* 45(4-5), 609-624.
- Hofman-Caris, R. and Bertelkamp, C. 2017 *Decentraal zuiveren: mogelijkheden voor gebruik van opgevangen regenwater*, KWR WaterCycle Institute.
- Hofman-Caris, R., Cirkel, D.G., Huiting, H. and de Waal, L. 2019 *Stand-alone decentrale zuivering voor afgelegen gebieden*, KWR Watercycle Insitute.
- Hofman-Caris, R. and de Waal, L. 2018 *Regenwater als bron voor drinkwater; productiekosten en milieuaspecten*, KWR WaterCycle Institute.
- Keessen, A. and de Graaff, T. 2017 *Alternatieven voor de drinkwatervoorziening*, Utrecht Centre for Water, Oceans and Sustainability Law, Utrecht University.
- Khan, M.F., Maulud, K.N.A., Latif, M.T., Chung, J.X., Amil, N., Alias, A., Nadzir, M.S.M., Sahani, M., Mohammad, M., Jahaya, M.F., Hassan, H., Jeba, F., Tahir, N.M. and Abdullah, S.M.S. 2018. Physicochemical factors and their potential sources inferred from long-term rainfall measurements at an urban and a remote rural site in tropical areas. *Sci Total Environ* 613-614, 1401-1416.
- Langeveld, J.G. 2019 *Afkoppelen: kansen en risico's van anders omgaan met hemelwater in de stad*, STOWA.
- Lebedev, A., Mazur, D., Polyakova, O., Kosyakov, D., Kozhevnikov, A.Y., Latkin, T., Yu, I.A. and Artaev, V. 2018. Semi volatile organic compounds in the snow of Russian Arctic islands: Archipelago Novaya Zemlya. *Environmental Pollution* 239, 416-427.
- Lye, D.J. 2002. Health risks associated with consumption of untreated water from household roof catchment systems. *Journal of the Americam Water Resources Association* 38(5), 1301-1306.

- Lye, D.J. 2009. Rooftop runoff as a source of contamination: a review. *Sci Total Environ* 407(21), 5429-5434.
- Mendez, C.B., Klenzendorf, J.B., Afshar, B.R., Simmons, M.T., Barrett, M.E., Kinney, K.A. and Kirisits, M.J. 2011. The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. *Water Res* 45(5), 2049-2059.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu 2009. Wet van 18 juli 2009, houdende nieuwe bepalingen met betrekking tot de productie en distributie van drinkwater en de organisatie van de openbare drinkwatervoorziening (Drinkwaterwet). Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden 2009 [370] 's-Gravenhage.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu 2011a. Besluit van 23 mei 2011, houdende bepalingen inzake de productie en distributie van drinkwater en de organisatie van de openbare drinkwatervoorziening (Drinkwaterbesluit). . Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden 2011 [293] 's-Gravenhage.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu 2011b. Regeling van de Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu van 14 juni 2011, nr. BJZ2011046947 houdende nadere regels met betrekking tot enige onderwerpen inzake de voorziening van drinkwater, warm tapwater en huishoudwater (Drinkwaterregeling). Staatscourant Nr. 10842 (27juni 2011).
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat 1998 Vierde Nota waterhuishouding.
- Olivella, M.À. 2006. Polycyclic aromatic hydrocarbons in rainwater and surface waters of Lake Maggiore, a subalpine lake in Northern Italy. *Chemosphere* 63(1), 116-131.
- Özsoy, T. and Örnektekin, S. 2009. Trace elements in urban and suburban rainfall, Mersin, Northeastern Mediterranean. *Atmospheric Research* 94(2), 203-219.
- Pio, C.A., Salgueiro, M.L. and Nunes, T.V. 1991. Seasonal and air-mass trajectory effects on rainwater quality at the south-western European border. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics* 25(10), 2259-2266.
- Polyakova, O.V., Artaev, V.B. and Lebedev, A.T. 2018. Priority and emerging pollutants in the Moscow rain. *Science of The Total Environment* 645, 1126-1134.
- Roest, K., Smeets, P., Brand, T.v.d., Cortial, H. and Klaversma, E. 2016 TKI Loop-closure Cleantech Playground, KWR Water Cycle Institute.
- Rossi, L., De Alencastro, L., Kupper, T. and Tarradellas, J. 2004. Urban stormwater contamination by polychlorinated biphenyls (PCBs) and its importance for urban water systems in Switzerland. *Science of the total environment* 322(1-3), 179-189.
- Schets, F.M., Berg, H.H.J.L.v.d., Lodder, W.J., Leeuwen, A.E.D.v., Veld, S.i.t. and Husman, A.M.d.R. 2005 De microbiologische kwaliteit van hemelwater toegepast voor toiletspoeling schoonmaken en tuinsproeien, p. 24, RIVM.
- Schets, F.M., Italiaander, R., Berg, H.H.J.L.v.d. and Husman, A.M.d.R. 2007 RIVM invloed weersomstandigheden op de microbiologische kwaliteit van hemelwater toegepast voor toiletspoeling en schoonmaken, p. 32, RIVM.

- Schets, F.M., Italiaander, R., Berg, H.H.J.L.v.d. and Husman, A.M.d.R. 2010. Rainwater harvesting: quality assessment and utilization in the Netherlands. *Journal of water and health* 08.2, 224-235.
- Simmons, G., Hope, V., Lewis, G., Whitmore, J. and Gao, W. 2001. Contamination of potable roof-collected rainwater in Auckland, New Zealand. *Water Research* 35(6), 1518-1524.
- Simmons, G., Jury, S., Thornley, C., Harte, D., Mohiuddin, J. and Taylor, M. 2008. A Legionnaires' disease outbreak: A water blaster and roof-collected rainwater systems. *Water research* 42(6-7), 1449-1458.
- Siudek, P., Kurzyca, I. and Siepak, J. 2016. Atmospheric deposition of mercury in central Poland: sources and seasonal trends. *Atmospheric research* 170, 14-22.
- Spinks, J., Phillips, S., Robinson, P. and Van Buynder, P. 2006. Bushfires and tank rainwater quality: a cause for concern? *Journal of water and health* 4(1), 21-28.
- Stroomberg, G., Neefjes, R.E.M., Bannink, A.D., De Jonge, J.A., Zwamborn, C.C., Zeegers, I. and Pronk, T.E. 2019 RIWA Jaarrapport 2018, RIWA-Rijn.
- Tangena, B. (2018) Het gaat bijna altijd goed - Drinkwaterincidenten, statistieken, analyses en anekdotes, Het Boekenschap.
- Van Boom, L. and Heijnis, J. 1995. Ernstige vervuiling van oppervlaktewater en neerslag door bestrijdingsmiddelen in een agrarisch gebied. *H2O*, 489-489.
- van den Hurk, B., Siegmund, P. and Klein Tank, A. 2014 KNMI'14: Climate Change scenarios for the 21st Century - A Netherlands perspective, KNMI.
- Van Heijnsbergen, E., de Roda Husman, A., Lodder, W., Bouwknecht, M., Docters van Leeuwen, A., Bruin, J., Euser, S., den Boer, J. and Schalk, J. 2014. Viable Legionella pneumophila bacteria in natural soil and rainwater puddles. *Journal of applied microbiology* 117(3), 882-890.
- Van Heijnsbergen, E., Schalk, J.A., Euser, S.M., Brandsema, P.S., den Boer, J.W. and de Roda Husman, A.M. 2015. Confirmed and potential sources of Legionella reviewed. *Environmental science & technology* 49(8), 4797-4815.
- Van Maanen, J., De Vaan, M., Veldstra, A., Hendrix, W.J.E.m. and assessment 2001. Pesticides and nitrate in groundwater and rainwater in the province of Limburg in the Netherlands. *72(1)*, 95-114.
- Vázquez, A., Costoya, M., Pena, R.M., García, S. and Herrero, C. 2003. A rainwater quality monitoring network: a preliminary study of the composition of rainwater in Galicia (NW Spain). *Chemosphere* 51(5), 375-386.
- VEWIN 2019 Kerntegevens Drinkwater 2018.
- Vlaamse Regering 2013. Besluit van de Vlaamse Regering houdende vaststelling van een gewestelijke stedenbouwkundige verordening inzake hemelwaterputten, infiltratievoorzieningen, buffervoorzieningen en gescheiden lozing van afvalwater en hemelwater. Codex.
- Waso, M., Khan, S. and Khan, W. 2018. Microbial source tracking markers associated with domestic rainwater harvesting systems: Correlation to indicator organisms. *Environmental research* 161, 446-455.

WHO (2017) Guidelines for Drinking-water Quality, 4th edition.
Zobrist, J., Müller, S., Ammann, A., Bucheli, T., Mottier, V., Ochs, M.,
Schoenenberger, R., Eugster, J. and Boller, M. 2000. Quality of
roof runoff for groundwater infiltration. Water research 34(5),
1455-1462.

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag