

KWR 2019.126 | December 2019

# Waterhergebruik op de Friese Waddeneilanden

Verkenning van de mogelijkheden voor het  
terugvoeren van RWZI-effluent naar het  
hydrologisch systeem



# Waterhergebruik op de Friese Waddeneilanden

**Verkenning van de mogelijkheden voor het  
terugvoeren van RWZI-effluent naar het  
hydrologisch systeem**

KWR 2019.126 | December 2019

## Opdrachtnummer

402356

## Projectmanager

dr. K.J. (Klaasjan) Raat

## Opdrachtgever

Provincie Fryslân

## Kwaliteitsborger(s)

dr. ir. R.P. (Ruud) Bartholomeus, dr. K.J. (Klaasjan) Raat

## Auteur(s)

T.C.G.W. (Teun) van Dooren, MSc

dr. K.G. (Koen) Zuurbier

ing. H. (Hans) Huiting

## Verzonden aan

Provincie Fryslân

Jaar van publicatie

2019

### Meer informatie

525

T

E

Postbus 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511

F +31 (0)30 60 61 165

E [info@kwrwater.nl](mailto:info@kwrwater.nl)

I [www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl)

The logo for KWR (Kwaliteitswater Rijswijk) features the letters 'KWR' in a bold, dark blue, sans-serif font. The letter 'K' is stylized with a light blue diagonal stroke.

KWR 2019.126 | December 2019 © KWR

### Alle rechten voorbehouden.

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





# Samenvatting

De vier Friese Waddeneilanden beschikken over eigen duinwaterwinningen, die grondwater onttrekken uit de zoetwaterlens voor de productie van drinkwater. Ameland en Terschelling worden aanvullend van drinkwater voorzien door leidingen (“wadleiding”) vanaf het vasteland. De Friese Waddeneilanden hebben de ambitie uitgesproken om in 2025 volledig zelfvoorzienend te zijn qua zoetwatervoorziening. Daarnaast zorgt het veranderende klimaat, in combinatie met een toename van het toerisme, voor een toenemende druk op de zoetwatervoorziening, voor drinkwater én de landbouw.

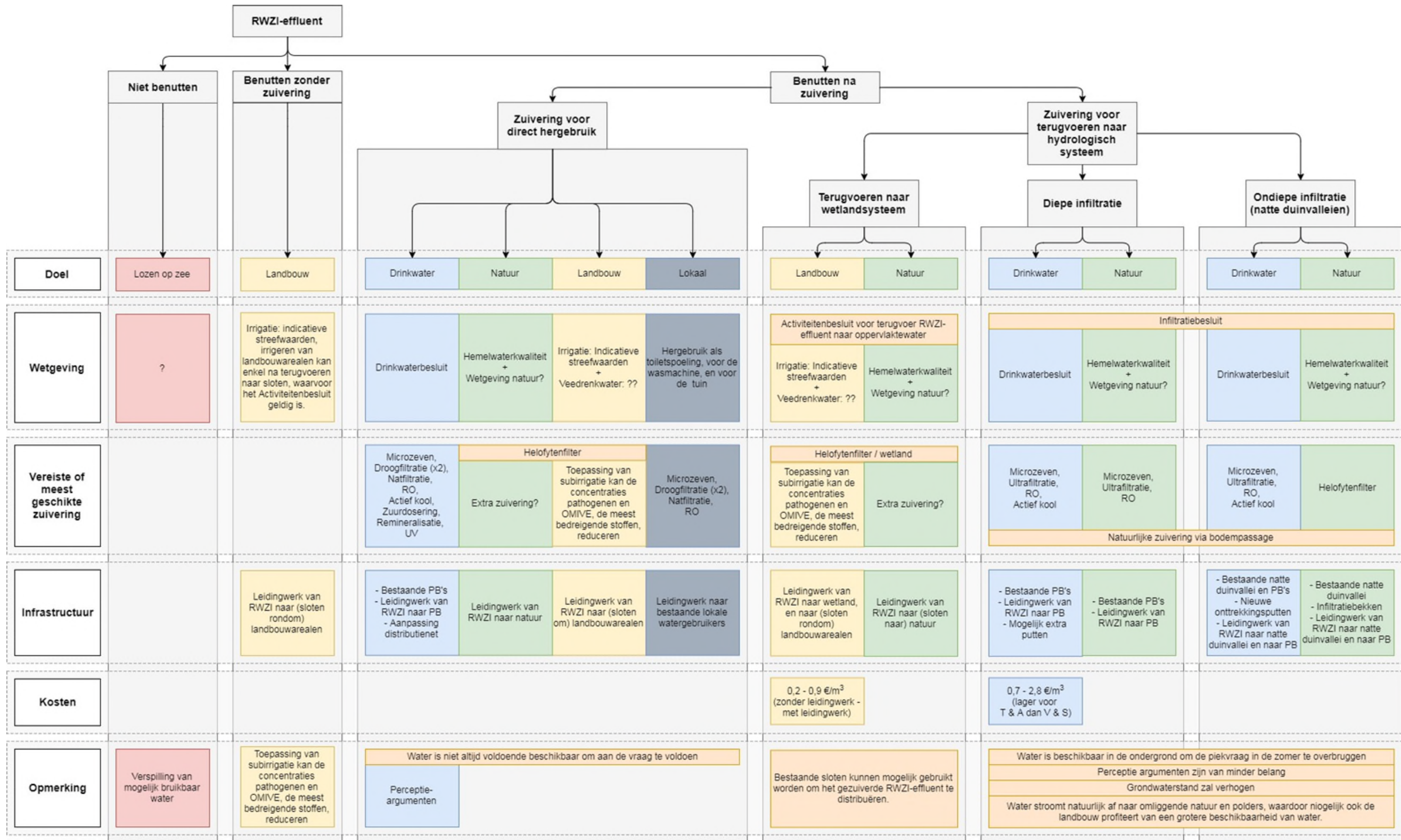
Op elk van de vier Friese Waddeneilanden is een RWZI aanwezig die een continue stroom van gezuiverd effluent levert. Deze waterstroom wordt momenteel op de Waddenzee geloosd. Het benutten van gezuiverd RWZI-effluent kan juist uitkomst bieden voor een duurzame en robuustere lokale zoetwatervoorziening. Hergebruik van RWZI-effluent is niet nieuw en wordt op verschillende plekken in de wereld reeds succesvol toegepast voor vele doeleinden, waaronder de productie van irrigatiewater, industriewater, en zelfs drinkwater. Het doel van deze verkennende studie is *het inventariseren van de mogelijkheden om de huidige en toekomstige effecten van de drinkwaterproductie op de Waddeneilanden tegen te gaan door het hergebruiken van RWZI-effluent*.

Het aanbod van RWZI-effluent varieert per Waddeneiland en weerspiegelt de dynamiek van het toerisme. Er is voldoende RWZI-effluent beschikbaar op de eilanden om in combinatie met een duurzame grondwaterwinning te voorzien in de totale drinkwatervraag. Dit zou onderdeel kunnen zijn van een drinkwatervoorziening voor Terschelling en Ameland zonder wadleidingen. RWZI effluent behoeft een minder vergaande (aanvullende) zuivering als het wordt toegepast voor andere doeleinden dan drinkwater, zoals voor irrigatie of proceswater in de industrie.

In een conceptueel hydrologisch model zijn de belangrijkste componenten, stromingen, en functies van het hydrologisch systeem van de Friese Waddeneilanden gevisualiseerd. Gebruikmakend van dit model en een nadere, gedetailleerde beschouwing van aanbod van effluent en vraag naar water vanuit verschillende sectoren (drinkwater, landbouw, natuur en lokale watergebruikers als zwembaden, campings en industrie) is een beeld geschetst van de mogelijkheden om RWZI-effluent te hergebruiken. Dit is gevisualiseerd in onderstaande praatplaat (Figuur 0.1) en bijhorend stroomschema (Figuur 0.2). In het stroomschema zijn de verschillende mogelijkheden voor waterhergebruik op de Waddeneilanden (van direct hergebruik in de landbouw of voor drinkwater tot terugvoeren naar het hydrologisch systeem ten behoeve van natuur of drinkwater) samengevat, met daarbij een beschouwing van de van toepassing zijnde wet- en regelgeving, vereiste (aanvullende) zuivering, benodigde infrastructuur en van de kosten.



geven (nog) niet als hoog genoeg ervaren. Bovendien is vooralsnog niet duidelijk welke partij het initiatief en eigenaarschap op zich zou moeten nemen. Op Schiermonnikoog lijkt momenteel de grootste behoefte aan een bredere beoordeling van het huidige watersysteem en watervoorziening, waarbinnen de inzet van RWZI-effluent opnieuw overwogen kan worden.



Figuur 1.2: Stroomschema behorend bij de praatplaat in Figuur 6.1.



# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Hergebruik RWZI-effluent: in perspectief</b>	<b>11</b>
2.1	Drinkwatervoorziening	11
2.2	Landbouw	14
2.3	Natuur	15
2.4	Grijswater	16
2.5	Industrie, energieproductie, en terugwinning grondstoffen	16
2.6	Zuiveringstechnieken	17
2.7	Beleid en wetgeving	17
<b>3</b>	<b>Conceptueel hydrologisch model Friese Waddeneilanden</b>	<b>18</b>
3.1	Duinsystemen	18
3.2	Kweldersystemen	18
3.3	Poldersystemen	19
<b>4</b>	<b>Beschikbaarheid RWZI-effluent en afstromend water</b>	<b>22</b>
4.1	RWZI-effluent	22
4.2	Afstromend water	28
<b>5</b>	<b>Watervraag</b>	<b>30</b>
5.1	Drinkwater	30
5.2	Landbouw	38
5.3	Lokale watergebruikers	46
5.4	Natuur	48
<b>6</b>	<b>De praatplaat</b>	<b>51</b>
6.1	Direct hergebruik	53
6.2	Drinkwaterproductie en diepe infiltratie	53
6.3	Ondiepe infiltratie	56
6.4	Wetlandstelsel	56
6.5	Lokaal hergebruik	58
6.6	Aanvullende opmerkingen	58
<b>7</b>	<b>Workshop: kansen en belemmeringen voor hergebruik van RWZI-effluent</b>	<b>59</b>
7.1	Inleiding	59
7.2	Standpunten	60
7.3	Kennisleemtes	62
7.4	Uitwerking van kansen voor de afzonderlijke eilanden	62
7.5	Conclusies	63

<b>8</b>	<b>Conclusies</b>	<b>64</b>
<b>9</b>	<b>Referenties</b>	<b>66</b>
	<b>Bijlage I Geologische opbouw van de Friese Waddeneilanden</b>	<b>69</b>
	<b>Bijlage II Meteorologie van de Friese Waddeneilanden</b>	<b>72</b>
	<b>Bijlage III Overzichtskaarten van de Friese Waddeneilanden, met daarin de RWZI's en de belangrijkste watergebruikers en waterleveraars</b>	<b>73</b>
	<b>Bijlage IV Paragraaf 3.1.4a, artikelen 3.5e-3.5g uit het Activiteitenbesluit</b>	<b>78</b>
	<b>Bijlage V Bijlage A uit het Drinkwaterbesluit (geldend van 1/7/2018 - heden)</b>	<b>81</b>
	<b>Bijlage VI Indicatieve streefwaarden voor de samenstelling van irrigatiewater in Nederland voor akkerbouw en grasland (Cirkel et al., 2017)</b>	<b>87</b>
	<b>Bijlage VII Bijlagen I en II uit het infiltratiebesluit bodembescherming (geldend van 22/12/2009 - heden)</b>	<b>88</b>
	<b>Bijlage VIII Kwaliteit hemelwater in het kustgebied van Nederland (Stuyfzand, 1993)</b>	<b>92</b>
	<b>Bijlage IX Referentiekader zuiveringskosten: Nieuw-Prinsenland t.b.v. demiwaterproductie</b>	<b>94</b>
	<b>Bijlage X Praatplaten Workshop</b>	<b>95</b>



# 1 Inleiding

Voor de vier Friese Waddeneilanden is de ambitie uitgesproken om in 2025 volledig zelfvoorzienend te zijn qua drinkwatervoorziening. Voor Vlieland en Schiermonnikoog is dit al het geval. Momenteel ligt er nog een Wadleiding die de eilanden Ameland en Terschelling, aanvullend op een beperkte winning op de eilanden zelf, vanaf het vasteland moet voorzien van drinkwater. De verwachting is dat op termijn deze leiding niet meer zal worden vervangen, wat zou betekenen dat op termijn op deze eilanden drie keer zoveel drinkwater geproduceerd moet worden vergeleken met de huidige situatie. In eerder uitgevoerde verkenningen geeft Vitens aan het liefst gebruik te maken van zoet grondwater als grondstof voor de drinkwaterbereiding. Op de Waddeneilanden is het echter maar zeer de vraag of er wel (meer) zoet grondwater gewonnen kan worden zonder ongewenste natuurschade en/of verzilting.

Het veranderende klimaat maakt dat de zoetwaterbeschikbaarheid in Nederland zowel in plaats als tijd verandert ten opzichte van de huidige situatie. De verwachting is dat in de toekomst langduriger en meer extreme droge perioden zullen voorkomen. Dit zorgt voor een grotere druk op de drinkwatervoorziening, maar bij onvoldoende aanvoer van irrigatiewater ook voor schade aan tuin- en landbouwgewassen. Voor de Waddeneilanden geldt daarnaast dat de aanwezige zoetwaterlens in de ondergrond qua omvang kan krimpen door de verwachte steeds snellere zeespiegelstijging. Bovendien kan toenemend toerisme op de Waddeneilanden voor een toenemende watervraag zorgen.

Hergebruik van gezuiverd RWZI-effluent kan een oplossing zijn voor de onzekere zoetwaterbeschikbaarheid en deels een toenemende watervraag compenseren. Met gezuiverd RWZI-effluent is een omvangrijke hoeveelheid water continu en op alle vier de eilanden beschikbaar. Momenteel wordt gezuiverd RWZI-effluent in het geval van de Waddeneilanden direct op de zee geloosd. Deze onnodige verspilling kan worden tegengegaan door RWZI-effluent juist te benutten en te hergebruiken. Hiermee kan de lokale/regionale waterkringloop beter worden gesloten, wat resulteert in een duurzamere watervoorziening.

Het doel van deze verkennende studie is *het inventariseren van de mogelijkheden om de huidige en toekomstige effecten van de drinkwaterproductie op de Waddeneilanden tegen te gaan door het hergebruiken van RWZI-effluent*. De productie van drinkwater en het terugvoeren naar het hydrologisch systeem zijn hierbij twee belangrijke mogelijkheden. Daarnaast zal worden gekeken naar de inzet van RWZI-effluent als irrigatiewater voor de landbouw en als grijswater voor lokale grote watergebruikers.

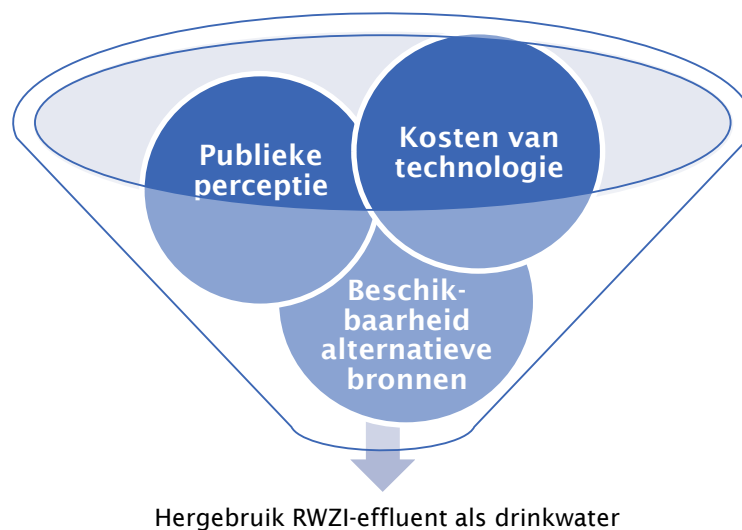


## 2 Hergebruik RWZI-effluent: in perspectief

In binnen- en buitenland zijn er al vele studies gewijd aan de inzetbaarheid van RWZI-effluent, zowel voor de drinkwatervoorziening als voor de natuur, de industrie, en de landbouw. Daarnaast kan RWZI-effluent ook ingezet worden voor de energieproductie. Lokaal kan tevens afvalwater worden opgewerkt tot grijswater.

### 2.1 Drinkwatervoorziening

In het verleden zijn meerdere verkenningen uitgevoerd naar alternatieve bronnen voor drinkwater op de Waddeneilanden. Hierbij is ook de inzet van gezuiverd RWZI-effluent overwogen (Van Dijk, 1993). Deze optie viel onder andere af vanwege hoge kosten, welke met name volgen uit de in te bouwen beveiligingsstappen (Van Tuijn, z.d.). Belangrijker zijn misschien nog wel de meespelende perceptie bezwaren. Vanuit de bevolking zou er namelijk weerstand bestaan tegen het (direct) hergebruiken van gezuiverd huishoudelijk afvalwater. Dit probleem wordt vaker geschetst bij hergebruikstudies, en wordt met name bij de drinkwatervoorziening gezien als belangrijkste knelpunt. Hoewel er genoeg technologie voorhanden is om RWZI-effluent te zuiveren tot een dusdanige kwaliteit dat het kan fungeren als drinkwater, ligt de uitdaging vooral bij de acceptatie van waterhergebruik door de samenleving en de wetgeving (Law, 2003). Het beeld dat wordt geschetst door politiek, onderwijs en media, en de communicatie van dit beeld naar de samenleving zijn daarbij sturend. Naast de kosten en het publieke sentiment, is de beschikbaarheid van alternatieve waterbronnen een derde factor die meespeelt in de afweging voor het hergebruiken van RWZI-effluent als drinkwater. Roorda (2001) en Van Tuijn (z.d.) stellen dat in Nederland RWZI-effluent voorlopig niet zal worden ingezet als drinkwater, vanwege de hoge kosten, de geringe acceptatie, én door de beschikbaarheid van zoet grondwater en oppervlaktewater. Vier landen waar het wel is gelukt om deze radicale omschakeling te maken zijn Namibië, Singapore, Australië, en België.



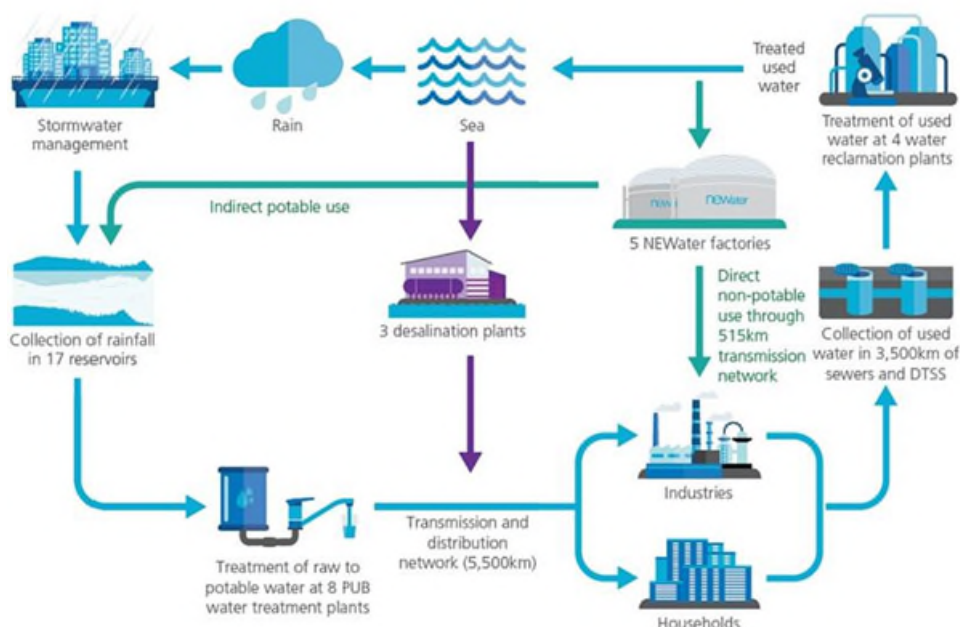
Figuur 2.1: De belangrijkste knelpunten bij het hergebruiken van RWZI-effluent als drinkwater.

### 2.1.1 Namibië

De Goreangab RWZI in Windhoek (Namibië) is pionier in het op grote schaal zuiveren van huishoudelijk afvalwater ten behoeve van de drinkwatervoorziening. Door het gebrek aan voldoende schone natuurlijke bronnen, wordt al sinds 1968 RWZI-effluent biologisch gezuiverd om te fungeren als drinkwater voor tegenwoordig ruim 300 000 inwoners. Perceptie heeft bij deze ontwikkeling geen grote rol gespeeld, gezien de urgentie van de watervraag en de geringe zeggenschap van het volk tijdens het apartheid-tijdperk in de jaren 60. Maar ook later zijn er geen klachten geweest over het drinken van gezuiverd RWZI-effluent, en is de lokale bevolking zelfs trots op het pionierend initiatief (Meijer, 2006; Gross, 2016).

### 2.1.2 Singapore

In 1998 is Singapore gestart met het NEWater-project. Binnen dit project werd onderzocht of Singapore in staat is om RWZI-effluent te hergebruiken voor de watervoorziening en onafhankelijk te zijn van geïmporteerd water vanuit Maleisië. Als resultaat van dit project zuiveren tegenwoordig vijf RWZI's effluent met behulp van microfiltratie, omgekeerde osmose, en UV-desinfectie tot een hoge kwaliteit NEWater en kunnen zo voldoen aan 40% van de watervraag van heel Singapore. Het water wordt met name benut door de industrie. NEWater wordt in tijden van droogte ook indirect ingezet voor de drinkwatervoorziening na het te mengen met water in regenwaterbekkens, waarna het via een extra zuiveringsstap wordt geleverd aan de consument (Figuur 2.2). NEWater is door de maatschappij geaccepteerd door een positieve beeldvorming en goede voorlichting en communicatie naar de inwoners. Deze beeldvorming wordt onder meer uitgedragen door het NEWater Visitor Centre. Dit interactieve water museum promoot de duurzaamheid van het geproduceerde water en neemt bezoekers en burgers mee in het zuiveringsproces (PUB, 2018).



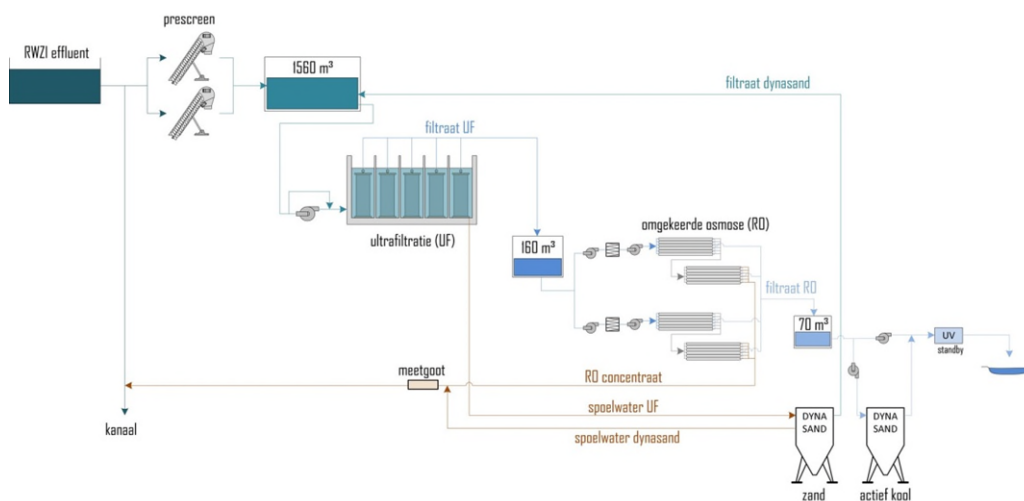
Figuur 2.2: Watersysteem van Singapore. NEWater vormt hierin de belangrijke schakel van afvalwater naar industriewater en drinkwater (<https://www.pub.gov.sg/watersupply/waterprice>).

### 2.1.3 Australië

Bij een derde casus in Perth (Australië) is duidelijk geworden dat de 'yuck'-factor (het idee dat hergebruik van RWZI-effluent onbetrouwbaar en niet fris is) vanuit de maatschappij grotendeels ook kan worden overwonnen door gezuiverd afvalwater terug te brengen naar de natuur alvorens het in te zetten voor de drinkwatervoorziening. Bij de Beenyup RWZI wordt afvalwater met behulp van ultrafiltratie, omgekeerde osmose (RO), en UV-desinfectie gezuiverd tot drinkwater. Het water wordt vervolgens ondergronds geborgen in een aquifer, en weer teruggewonnen na jaren van bodempassage. Er heerst een maatschappelijke perceptie dat wanneer gezuiverd afvalwater terug wordt gebracht naar de natuur, de natuur zijn werk doet en het water nog verder, beter, en betrouwbaarder zuivert dan in de artificiële zuivering (Dollery, 2018). Het vormt een extra barrière. Dit is in principe ook terug te zien in de huidige drinkwatervoorziening van Nederland. Daarnaast is er vanuit de Nederlandse maatschappij weinig weerstand tegen de drinkwaterproductie vanuit rivierwater, wat in vele gevallen flink wordt gevoed door RWZI-effluent, zeker in droge perioden.

### 2.1.4 België

Bij pompstation Torreele van de IWVA in België wordt RWZI-effluent, afkomstig van het RWZI Wulpen, gezuiverd middels een grove filtratiestap, ultrafiltratie, omgekeerde osmose, en eventueel met UV en actief kool als extra zuiveringsstappen (Figuur 2.3). Vervolgens wordt het naar twee infiltratiebekkens in de duinen geleid, waar het naar de ondergrond infiltreert en na bodempassage weer kan worden teruggewonnen met de aanwezige productieputten ten behoeve van de drinkwatervoorziening. De bodempassage zorgt met name voor verwijdering van bacteriologische verontreinigingen en voor opname van calcium en ijzer. Het infiltratiesysteem is later uitgebreid met een ondergrondse infiltratie via infiltratiekratten, wat als voordeel heeft dat er geen contaminatie is van bovenaf en de temperatuur stabiel blijft (IWVA, 2018).



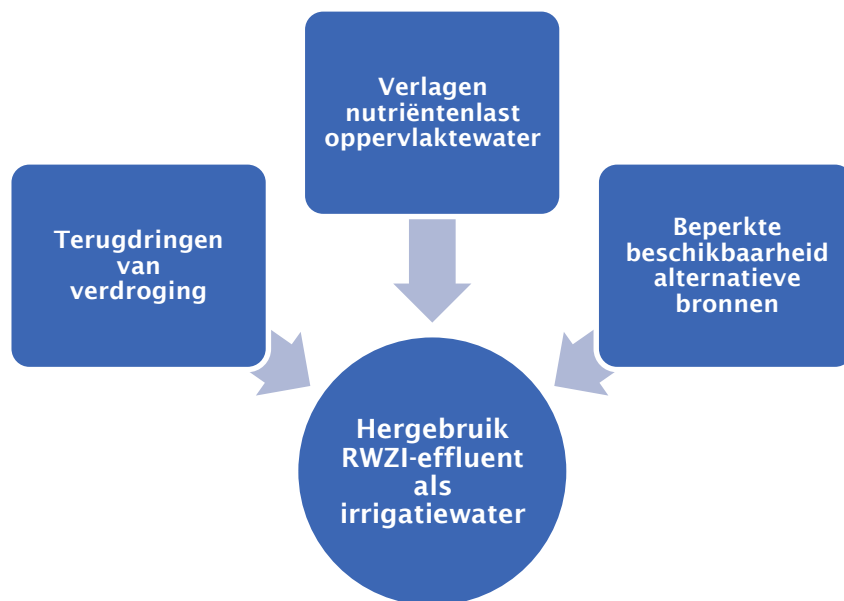
Figuur 2.3: Zuiveringsstappen van RWZI-effluent afkomstig van RWZI Wulpen voordat het naar het duinsysteem wordt geïnfilteerd ten behoeve van de drinkwatervoorziening (<https://www.iwva.be/drinkwater/waterwinning/hergebruik>).

Om hergebruik van RWZI-effluent als drinkwater op de Waddeneilanden tot een succes te brengen, kan het voor de acceptatie en de betrouwbaarheid verstandig zijn om gezuiverd RWZI-effluent eerst terug te brengen naar het hydrologisch systeem alvorens het in te zetten voor de drinkwatervoorziening.

## 2.2 Landbouw

Hergebruik van RWZI-effluent voor de landbouw is nog geen gemeengoed in Nederland. Er heerst bij overheden en belanghebbenden nog veel onbekendheid over de mogelijkheden en risico's gerelateerd aan het toepassen van effluent bij irrigatie. Door KWR is onderzoek gedaan naar het hergebruiken van RWZI-effluent voor de watervoorziening van de landbouw, uitvoerig beschreven door Cirkel et al. (2017). De kernpunten die uit dat onderzoek zijn gekomen zijn als volgt:

- De drie belangrijkste drivers voor het hergebruiken van RWZI-effluent voor de landbouw zijn: beperkte lokale beschikbaarheid van zoet grond- en oppervlaktewater, reduceren van verdroging en verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit (Figuur 2.4).
- Het inzetten van RWZI-effluent voor irrigatie voor grondgebonden landbouw is economisch interessant tijdens droge periodes. Over een heel jaar gezien is het echter niet kosteneffectief voor agrariërs.
- Pathogenen aanwezig in RWZI-effluent vormen een risico bij het hergebruik voor de landbouwirrigatie. Deze risico's kunnen worden gereduceerd door via subirrigatie te irrigeren in plaats van via beregening. Bodempassage blijkt namelijk een zeer effectieve methode om pathogenen te reduceren. Buiten Europa is chloreren van effluent staande praktijk om risico's terug te dringen. De risico's van bacteriën en antibiotica resistentiegenen in RWZI-effluent dienen nog nader te worden onderzocht.
- De concentraties van zware metalen zijn door effectieve bronmaatregelen laag in RWZI-effluent. Zware metalen lijken bij irrigatie met effluent daarom geen risico te vormen voor de lange termijn bodem-, grondwater- en gewaskwaliteit.
- De in effluent aanwezige nutriënten vormen een beperkte belasting voor de nutriëntenbalans bij irrigatie vergeleken met andere bronnen zoals dierlijke mest.
- Conventioneel gezuiverd RWZI-effluent vormt een bron van organische microverontreinigingen voor het milieu. Bodempassage blijkt een effectieve methode voor het verwijderen van het merendeel van de in effluent aanwezige stoffen. De mate van verwijdering is echter sterk afhankelijk van de stoffeïenschappen, bodemsamenstelling, irrigatieregime en bodemtemperatuur en zal dus verschillen per stof en per locatie. Bronmaatregelen of extra zuiveringsstappen kunnen de toepasbaarheid en acceptatie van RWZI-effluent als bron voor landbouwirrigatie sterk vergroten.
- RWZI-effluent wordt met name in droge perioden reeds onbewust gebruikt door de landbouw door het afnemen van met RWZI-effluent belast oppervlaktewater. Tijdens de droogte in de zomer van 2018 werd RWZI-effluent bovendien direct bij RWZI's afgehaald door agrariërs voor het irrigeren van hun land. Het heersende standpunt van agrariërs tijdens droogte is namelijk: 'vuil water is beter dan geen water'.
- Acceptatie en draagvlak, zowel technisch, bestuurlijk als maatschappelijk, lijken de aspecten die hergebruik van gezuiverd RWZI-effluent belemmeren.
- Beperkte informatie is beschikbaar over de lange termijn effecten van irrigatie met effluent en over de opname van organische microverontreinigingen door gewassen.



Figuur 2.4: De belangrijkste drivers voor het hergebruiken van RWZI-effluent als irrigatiewater.

### 2.3 Natuur

De toepassing van RWZI-effluent als natuurwater wordt in principe reeds toegepast in Nederland. RWZI-effluent wordt immers geloosd op oppervlaktewater. Maar ook specifiek gericht op verdrogingsbestrijding bestaan er veel mogelijkheden (Roorda, 2001), zoals het aanvullen van grondwater. Verschillende RWZI's zijn in Nederland daarnaast uitgebreid met een moerasgebied waar effluent onder natuurlijke omstandigheden wordt gezuiverd tot bruikbaar oppervlaktewater, de zogenaamde waterharmonica (Schomaker et al., 2005; Van Tuijn, z.d.). Tevens wordt op Texel, het niet-Friese Waddeneiland, een moerasstelsel met helofyten en waterplanten gevoed door RWZI-effluent. Dit natuurlijke zuiveringssysteem resulteert in bruikbaar oppervlaktewater (Schreijer et al., 2000).

De natuur kan ook als middel dienen voor andere doeleinden. RWZI-effluent kan bijvoorbeeld in duinsystemen of diepere natuurlijke systemen worden geïnfilterd. Denk hierbij aan de drinkwatervoorziening, zoals in Perth (Australië) en in Torrelee (België), maar bijvoorbeeld ook aan het tegenwerken van zeewater-intrusie. Perceptiebezwaren van de burger jegens hergebruik van RWZI-effluent gelden in mindere mate ook voor het terugvoeren naar het hydrologisch systeem. In Perth, Australië, is echter al gebleken dat dit knelpunt minder belangrijk is dan bij hergebruik voor directe drinkwater-doeleinden.

## 2.4 Grijswater

Grijswater wordt als overkoepelende term gebruikt voor mogelijk licht verontreinigd communaal afvalwater dat afkomstig is uit wasmachine, douche en keuken. Afvalwater afkomstig uit het toilet wordt zwartwater genoemd en valt dus niet onder grijswater. Grijswatersystemen zijn technische systemen om grijs water te hergebruiken. Na behandeling zou grijswater ingezet kunnen worden voor toiletspoeling, wasmachine, en tuinbevloeiing. Deze gebruiksdoelen hebben namelijk minder strenge kwaliteitseisen dan de eisen die gelden voor drinkwater. In droge landen, zoals Australië, wordt een dergelijk systeem naast het gebruikelijke drinkwatersysteem aangelegd vanwege de schaarsheid en de hoge kosten van drinkwater.

In Nederland werd in 2003 een verbod aangekondigd op de grootschalige levering van grijswater vanwege de ontoelaatbare gezondheidsrisico's die daaraan verbonden zijn (Van Geel, 2003). Het kleinschalig gebruik van grijswater is in Nederland echter niet verboden. Een decentraal grijswatersysteem zou voor de grootste waterverbruikers op de Waddeneilanden dus bij kunnen dragen aan het reduceren van het drinkwaterverbruik. Denk hierbij bijvoorbeeld aan toiletspoeling, douche, en schoonmaak bij zwem-, sport- of kampeergelegenheden, of wasmachinespoeling bij linnenservices.

## 2.5 Industrie, energieproductie, en terugwinning grondstoffen

RWZI-effluent wordt momenteel ook indirect ingezet voor de energieproductie vanuit fossiele brandstoffen. NieuWater is ontwerper van de Puurwaterfabriek in Emmen, waarin RWZI-effluent wordt opgewerkt tot demiwater. Dit demiwater wordt vervolgens door de NAM afgenomen en als stoom geïnjecteerd in het olieveld van Schoonebeek om stroperige olie vloeibaar en makkelijker winbaar te maken (NWTR, 2016). RWZI-effluent dat is behandeld door een membraanbioreactor (MBR) bij Waterschap Scheldestromen in Terneuzen wordt door Evides ook opgewerkt tot demiwater. Daar wordt het vervolgens door de chemieproducent Dow Chemical gebruikt als ketelvoedingswater (Veering, z.d.).

Aangezien er enkel kleinschalige industrie aanwezig is op de Friese Waddeneilanden, is enkel het lokaal inzetten van RWZI-effluent als industriewater interessant binnen deze casus. Hiervoor zal per Waddeneiland bekeken worden wat de industriële vraag is en wat de mogelijkheden zijn.

Naast water en energie, kunnen ook andere componenten uit RWZI-effluent worden teruggewonnen. Fosfaat, stikstof, CZV, CO<sub>2</sub>, alginaat, en cellulose zijn grondstoffen die op basis van concentratie, kosten, vraag, en marktwaarde met name interessant zijn om terug te winnen (Voorthuizen et al., 2013). Momenteel is KWR betrokken bij de ontwikkeling van CoRe water, wat staat voor 'Concentration and Reuse'. Het doel van dit concept is om middels voorwaartse osmose zo veel mogelijk energie en grondstoffen terug te winnen uit RWZI-effluent, en om de emissie van broeikasgassen en medicijnresten te beperken (KWR, 2017).

## 2.6 Zuiveringstechnieken

Tegenwoordig is er een breed scala aan zuiveringstechnieken beschikbaar om een bepaald soort water te laten voldoen aan de gerelateerde kwaliteitseisen. Doordat vrijwel iedere zuiveringstechniek een ander doel heeft, worden verschillende zuiveringstechnieken vaak in serie geschakeld. De keuze voor de meest geschikte zuiveringsmethode(n) wordt hoofdzakelijk bepaald door de kwaliteit van het te zuiveren water, de gewenste en vereiste kwaliteit van het product, en de kosten van de toepassing. Voor de bepaling van de zuiveringstechniek en de gerelateerde kosten op de Waddeneilanden zal in dit rapport een inschatting worden gemaakt van de mogelijkheden en doeleinden voor het hergebruiken van RWZI-effluent.

## 2.7 Beleid en wetgeving

Beleid ten aanzien van (her)gebruik van (gezuiverd) RWZI-effluent heeft te maken met de volgende relevante aspecten (WHO, 2006):

- Gezondheidsrisico voor mens, dier en milieu;
- Watervoorziening onder droge omstandigheden;
- Beschikbaarheid van restwater voor (her)gebruik in tijd en ruimte;
- De acceptatie van restwater in de landbouw;
- Soorten beschikbaar restwater voor (her)gebruik;
- Benedenstroomse toepassing van restwater na lozing op oppervlaktewater;
- Kwaliteit van geoogste producten in de landbouw na toepassing van restwater;
- Manier van toepassing van restwater in de landbouw.

De Nederlandse wet- en regelgevingen die in meer of mindere mate daarbij komen kijken, zijn:

- Waterwet;
- Warenwet;
- Wet hygiëne en veiligheid badinrichtingen en zwemgelegenheden;
- Afvalstoffenwet – Productregelgeving – plicht tot vergunning/melding/registratie;
- Activiteitenbesluit en Besluit lozingen buiten inrichtingen;
- Drinkwaterwet;
- Waterschapswet – zorgplicht zuivering stedelijk afvalwater, dienstbaar;
- Wet Milieubeheer;
- Meststoffenwet;
- Omgevingswet.

Daarnaast komt op EU-niveau tenminste ook de volgende wetgeving kijken:

- Kaderrichtlijn Water (2000/60/EG);
- Kaderrichtlijn Afvalstoffen (2008/98/EG);
- REACH Verordening (1907/2006) (voor chemische stoffen);
- Meststoffen Verordening (2003/2003/EG).

De regelgeving vereist dat er voorafgaand aan het hergebruik van gezuiverd RWZI-effluent duidelijkheid moet zijn over de samenstelling van het water en eventuele hiermee samenhangende gezondheids- en ecotoxicologische effecten. De beschikbaarheid van onvoldoende gegevens van de kwaliteit van RWZI-effluent door onvolledige monitoring kan hierbij een knelpunt vormen.

## 3 Conceptueel hydrologisch model Friese Waddeneilanden

Een conceptueel hydrologisch model is een denkmodel dat de belangrijkste componenten, stromingen, en functies in een hydrologisch systeem op een vereenvoudigde wijze visualiseert. Een conceptueel model helpt bij het begrijpen van het hydrologisch systeem en het identificeren van kennishiaten. De hydrologische systemen van de Friese Waddeneilanden zijn goed met elkaar te vergelijken. Daarom wordt in dit hoofdstuk een conceptueel hydrologisch model gepresenteerd, welke geldig is voor alle vier de Friese Waddeneilanden (Figuur 3.4 en Figuur 3.5).

De geomorfologie van Schiermonnikoog beschrijft die van een typisch model-Waddeneiland (Figuur 3.1). Deze geomorfologie geldt ook in het algemeen voor de andere Friese Waddeneilanden. De eilanden bestaan uit een duingebied met aan de zuidzijde een kwelder (met uitzondering van Vlieland), waarvan het westelijke gedeelte is ingedijkt tot polder voor de aanbouw van woonkernen en voor het ontwikkelen van grasland en weiland ten behoeve van de veeteelt (Beukeboom, 1976). Het hydrologisch systeem van een Waddeneiland kan daarom grofweg worden onderverdeeld in de subsystemen duingebied, kwelder, en polder. In de volgende alinea's worden deze subsystemen nader toegelicht en een conceptueel model is opgenomen in Figuur 3.4 en Figuur 3.5. Voor een nadere bespreking van de diverse onderdelen in Figuur 3.1, wordt verwezen naar Leeuw et al. (2008) of Arens et al. (2009).

### 3.1 Duinsystemen

De duinsystemen bestaan uit een duinboog die op de Waddeneilanden voornamelijk is gestabiliseerd door aanplant van vegetatie, en is in de meeste gevallen niet meer als karakteristieke boog herkenbaar. De duinrand bestaat voornamelijk uit zand (Figuur 3.2) en neemt een hoogte aan van ongeveer 5 tot 15 mNAP, met uitschieters tot 45 mNAP (op Vlieland). Deze duinrand beslaat met name het noordwestelijke deel van een Waddeneiland, met uitzondering van Vlieland, en vormt het voedingsgebied van de zoetwaterlens onder het eiland. De zoetwaterlens reikt tot een diepte van -45 mNAP, -90 mNAP, -60 mNAP, en -80 mNAP onder respectievelijk Vlieland, Terschelling, Ameland, en Schiermonnikoog. Dit is doorgaans minder diep dan berekend kan worden met behulp van het Ghyben-Herzberg principe (Figuur 3.4 en Figuur 3.5). Dit komt door de aanwezigheid van slecht doorlatende lagen van de glaciale Drente en Peelo formaties (Bijlage I en Figuur 3.5). Het neerslagoverschot (Bijlage II) voedt de zoetwaterlens in de duinen en veroorzaakt een stromingspatroon dat resulteert in kwelzones aan de randen van de duingebieden naar de kwelders en polders. Dit uittredend duinwater zou kunnen fungeren als zoetwaterbron (Figuur 3.4 en Figuur 3.5).

### 3.2 Kweldersystemen

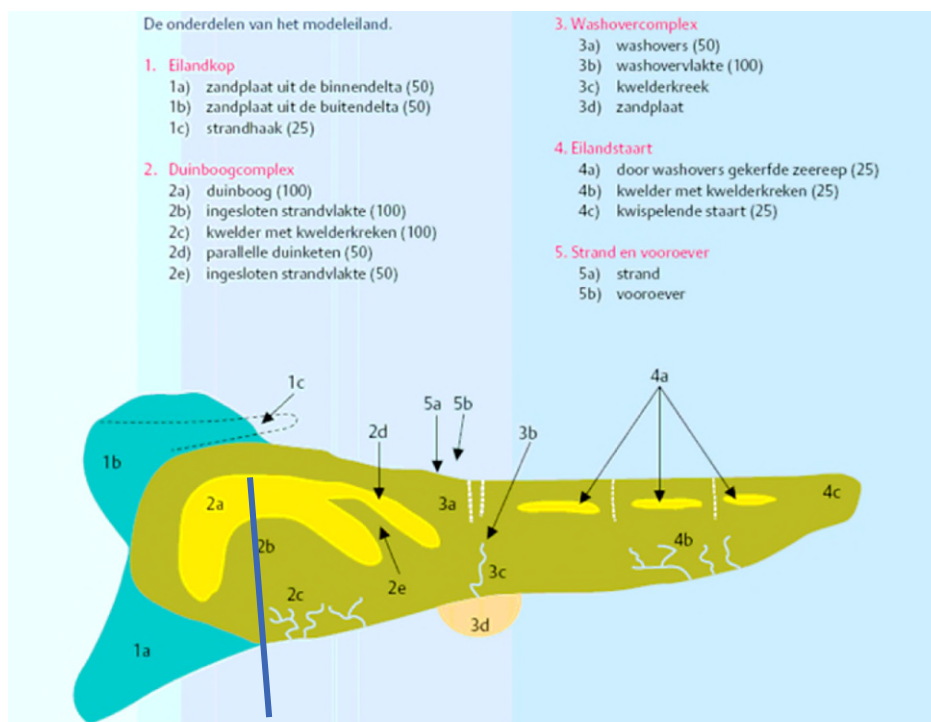
Kweldersystemen zijn aanwezig aan de zuidoostelijke rand van een Waddeneiland, met uitzondering van Vlieland. Deze worden naast het neerslagoverschot gevoed door zoete kwel vanaf de duingebieden. De kwelders bestaan voornamelijk uit fijne afzettingen (fijn zand, silt en klei), nemen een hoogte aan van 1 tot 2 mNAP, en hebben een open verbinding met de Waddenzee via getijdengeulen. Daardoor dringt zeewater tweemaal per dag bij hoogtij, of in de herfst en winter tijdens stormvloed, in de getijdegeulen.



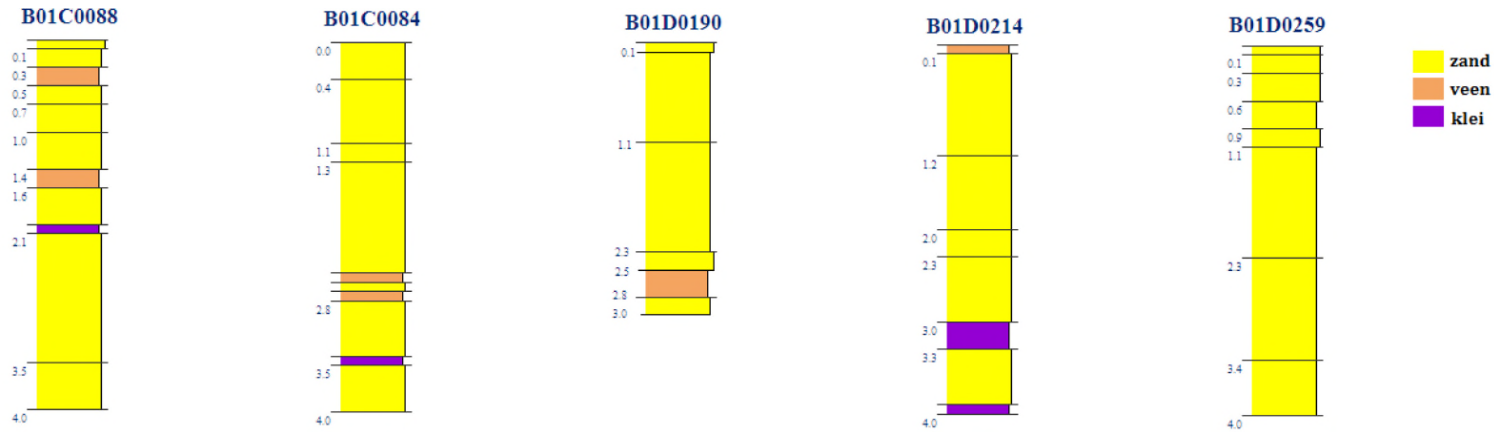
Het grondwater rondom de getijdegeulen is als gevolg van het indringende zeewater zout, en wordt brak en uiteindelijk zoet dicht naar de duinrand toe.

### 3.3 Poldersystemen

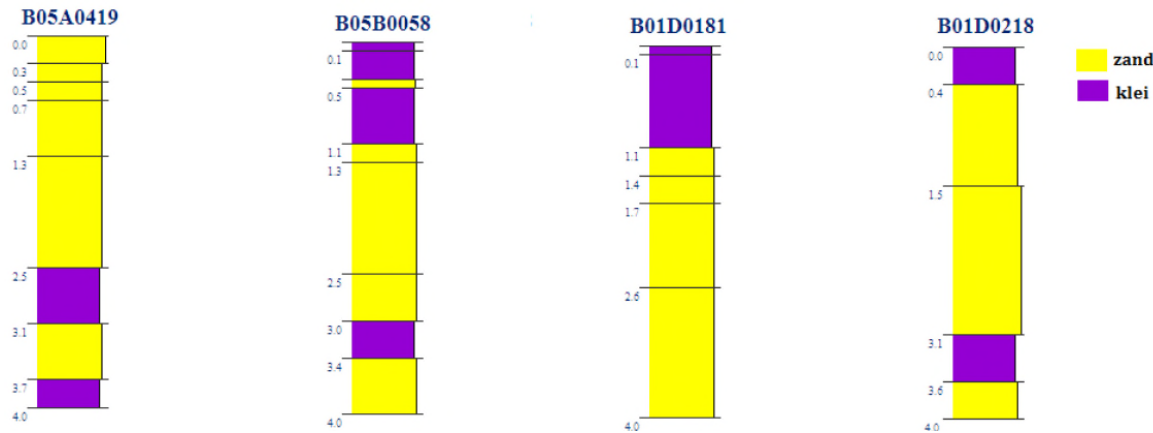
De aanwezige polders zijn kwelders die voor of in de 19<sup>e</sup> eeuw zijn ingedijkt. Ze bestaan dus ook voornamelijk uit fijn zand en klei (Figuur 3.3). De woonkernen van de eilanden zijn hier voornamelijk gevestigd. Aan de noord- en westzijden zijn de polders omgeven door de duinrand. Het niveau van de polders is ongeveer 1 tot 2 mNAP op Ameland en Schiermonnikoog, en 0 tot 1 mNAP op Terschelling. In deze poldergebieden is een netwerk van sloten aanwezig, waarin het oppervlaktewater wordt gereguleerd door stuwen. In de polders wordt ook de grondwaterstand gecontroleerd lager gehouden dan in de duinrand. Daardoor wordt het grondwater en het oppervlaktewater in de polders net als de kwelders naast het neerslagoverschot ook gevoed door een kwelstroom van zoet water vanuit de duingebieden. Dit zorgt voor een goede kwaliteit van het oppervlaktewater in sloten aan de duinrand in de polder. Hoewel de Waddenzeedijk voorkomt dat zeewater de polder direct instroomt, is er naast zoete kwel ook een grote zoute kwelstroom vanaf de Waddenzee aanwezig aan de zuidkant van de polders (Figuur 3.4). Hierdoor is het oppervlaktewater van sloten in dit zuidelijke deel ook brak (Schuurman, 2011). Het grootste deel van deze zoute kwel vindt plaats in de winter, omdat het oppervlaktewaterpeil in de polders dan lager is. De afvoer van overtollig oppervlaktewater vindt plaats door een of meer getijdesluizen in de Waddenzeedijk. Daarnaast stroomt ook zoet grondwater af naar de zee middels kwel.



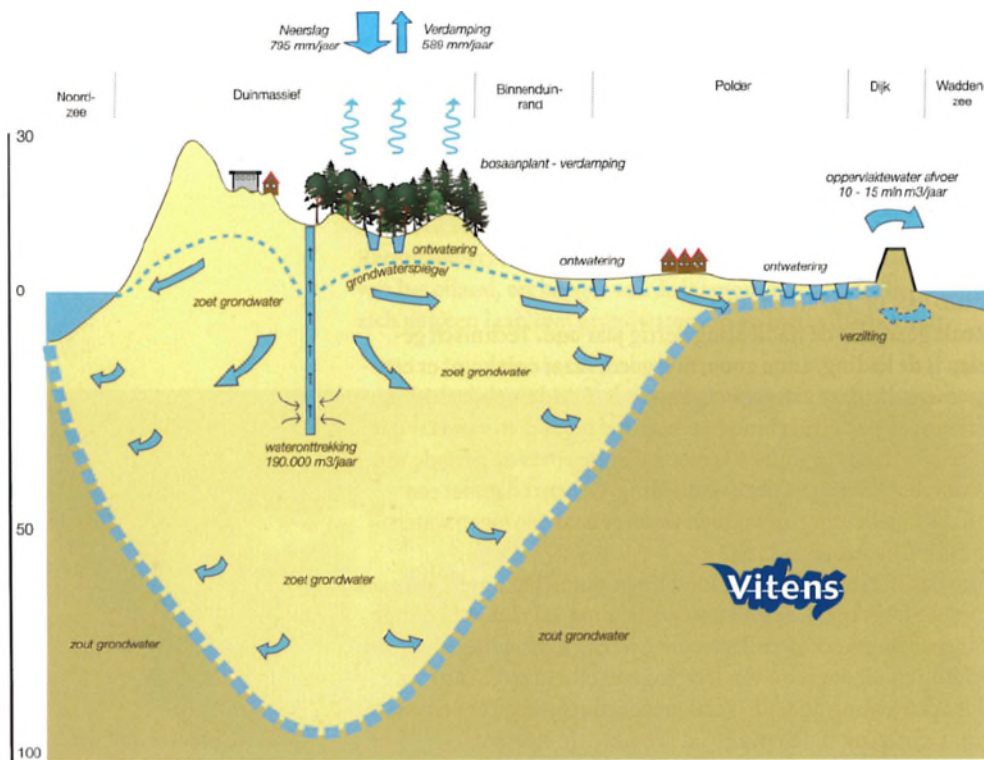
Figuur 3.1: Opbouw van een 'model'-Waddeneiland. Het Waddeneiland als geheel heeft enkele millennia nodig om zich te ontwikkelen. Binnen eeuwen ontstaan daarbinnen vijf hoofdvormen, die op hun beurt weer zijn opgebouwd uit andere onderdelen. Van die onderdelen is de ontwikkelingstijd over het algemeen decennia (Arens et al., 2009, naar De Leeuw et al., 2008). De blauwe lijn representeert een typische dwarsdoorsnede door een modern Waddeneiland (Figuur 3.4).



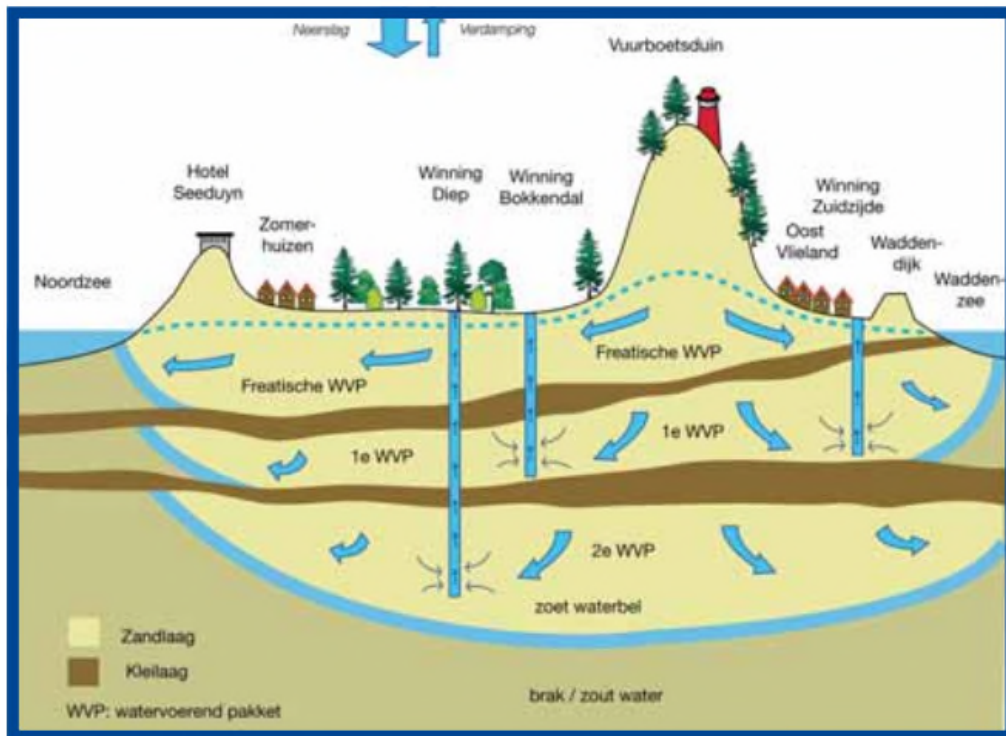
Figuur 3.2: Typische bodemopbouw in de duinrand (uit Schuurman, 2011). De diepte is aangegeven in m-mv.



Figuur 3.3: Typische bodemopbouw in de polder (uit Schuurman, 2011). De diepte is aangegeven in m-mv.



Figuur 3.4: Conceptuele N-Z doorsnede door Terschelling, die representatief is voor de algemene hydrologie van de huidige Waddeneilanden (Kok, 2009).



Figuur 3.5: Conceptuele N-Z doorsnede door Vlieland, met een afwijkende opbouw maar vergelijkbare principes als Figuur 3.4. De aanwezige kleilagen beïnvloeden de grondwaterstroming en de verdeling van de zoetwaterlens (Kok et al., 2007).

## 4 Beschikbaarheid RWZI-effluent en afstromend water

In dit hoofdstuk zullen de beschikbaarheid en de kwaliteit van RWZI-effluent en afstromend water worden toegelicht. In hoofdstuk 5 zal vervolgens worden bepaald of deze gegevens kansrijk zijn voor het hergebruiken van RWZI-effluent voor verschillende doeleinden.

### 4.1 RWZI-effluent

#### 4.1.1 Locatie

Op elk Fries Waddeneiland is een RWZI gevestigd. De locaties van de RWZI's zijn weergegeven in Figuur 4.1. Hieruit blijkt dat de RWZI's zijn gevestigd in de polders in het zuidwesten van Terschelling, Ameland, en Schiermonnikoog, en in het noordoosten van Vlieland.



Figuur 4.1: Locaties van de RWZI's op de vier Friese Waddeneilanden.

#### 4.1.2 Kwantiteit

Het jaarlijks totale debiet van het effluent is per RWZI bekend voor de jaren 2013 tot en met 2017 (Tabel 4.1). Voor de jaren 2017 en 2018 is van de RWZI's het dagelijkse inkomende debiet bekend (Figuur 4.2). Als hoogseizoen is de totale duur van de zomervakantie van basis- en voortgezet onderwijs aangehouden (in 2017: 8 juli tot 3 september, en in 2018: 7 juli tot 2 september). Het debiet van het influent is volgens Wetterskip Fryslân vrijwel gelijk aan dat van het effluent.

RWZI-influent bestaat zowel uit communaal en industrieel afvalwater, als uit neerslag dat via wegverhardingen en het riool wordt aangevoerd. Niet alleen de variatie in het watergebruik, maar ook het weer kan dus worden herleid uit de variatie van de kwaliteit en de kwantiteit van RWZI-influent. De droogweerafvoer (DWA) van RWZI-effluent is empirisch bepaald en weergegeven als baseline in Figuur 4.2.

Uit deze gegevens blijkt dat het aanbod van RWZI-effluent op Terschelling en Ameland het grootst is. Deze twee eilanden hebben de grootste inwoneraantallen en de grootste jaarlijkse toestroom van toeristen (Tabel 4.2). Omdat de bevolking inclusief de toeristen op beide eilanden vrijwel gelijk is, is het gemiddelde jaarlijkse debiet van RWZI-effluent tevens vergelijkbaar (Tabel 4.1). Het hogere gemiddelde debiet van RWZI-effluent op Terschelling is zeer waarschijnlijk te verklaren door het grotere landoppervlak, waardoor meer neerslag de kans heeft om in het riool terecht te komen. Het debiet van RWZI-effluent neemt voor zowel Terschelling als voor Ameland tijdens het hoogseizoen met ~30% toe, wat te verklaren is door de grote toestroom van toeristen in die periode.

Vlieland kent het laagste debiet van RWZI-effluent omdat de bevolking inclusief toeristen het laagst is, maar kent de grootste relatieve toename van RWZI-effluent in het hoogseizoen (~55%) omdat de toestroom van toeristen ongeveer tweemaal zo groot is als het aantal officiële inwoners (Tabel 4.2). Op Schiermonnikoog is de jaarlijkse toestroom van toeristen zelfs viermaal zo groot als het aantal inwoners. Deze toename is echter niet terug te zien in de relatieve toename van RWZI-effluent in het hoogseizoen.

Tabel 4.1: Jaarlijks debiet van RWZI-influent per Fries Waddeneiland (Bron: Wetterskip Fryslân). De laatste rijen geven het gemiddelde jaarlijkse debiet weer, het gemiddelde debiet dat in de hoogseizoenen van 2017 en 2018 aangevoerd werd, en het percentage daarvan t.o.v. het gemiddelde debiet van 2017.

	Eenheid	Vlieland	Terschelling	Ameland	Schiermonnikoog
2013	m <sup>3</sup> /d	533	1905	1796	769
2014	m <sup>3</sup> /d	581	1987	1723	693
2015	m <sup>3</sup> /d	586	2102	1879	772
2016	m <sup>3</sup> /d	565	2073	1901	793
2017	m <sup>3</sup> /d	591	2218	2159	919
<b>Gemiddeld</b>	<b>m<sup>3</sup>/d</b>	<b>571</b>	<b>2057</b>	<b>1892</b>	<b>789</b>
<b>Hoogseizoen</b>	<b>m<sup>3</sup>/d</b>	<b>920</b>	<b>2950</b>	<b>2738</b>	<b>946</b>
<b>2017 &amp; 2018</b>	<b>% van 2017</b>	<b>155%</b>	<b>133%</b>	<b>127%</b>	<b>103%</b>
<b>DWA:</b>					
<i>minimum</i>	<i>m<sup>3</sup>/d</i>	<b>196</b>	<b>908</b>	<b>761</b>	<b>329</b>
<i>gemiddeld 2017</i>	<i>m<sup>3</sup>/d</i>	<b>466</b>	<b>1616</b>	<b>1577</b>	<b>655</b>
<i>hoogseizoen</i>	<i>m<sup>3</sup>/d</i>	<b>800</b>	<b>2359</b>	<b>2224</b>	<b>737</b>

Tabel 4.2: Inwoneraantallen en jaarlijkse toestroom van toeristen op de Friese Waddeneilanden

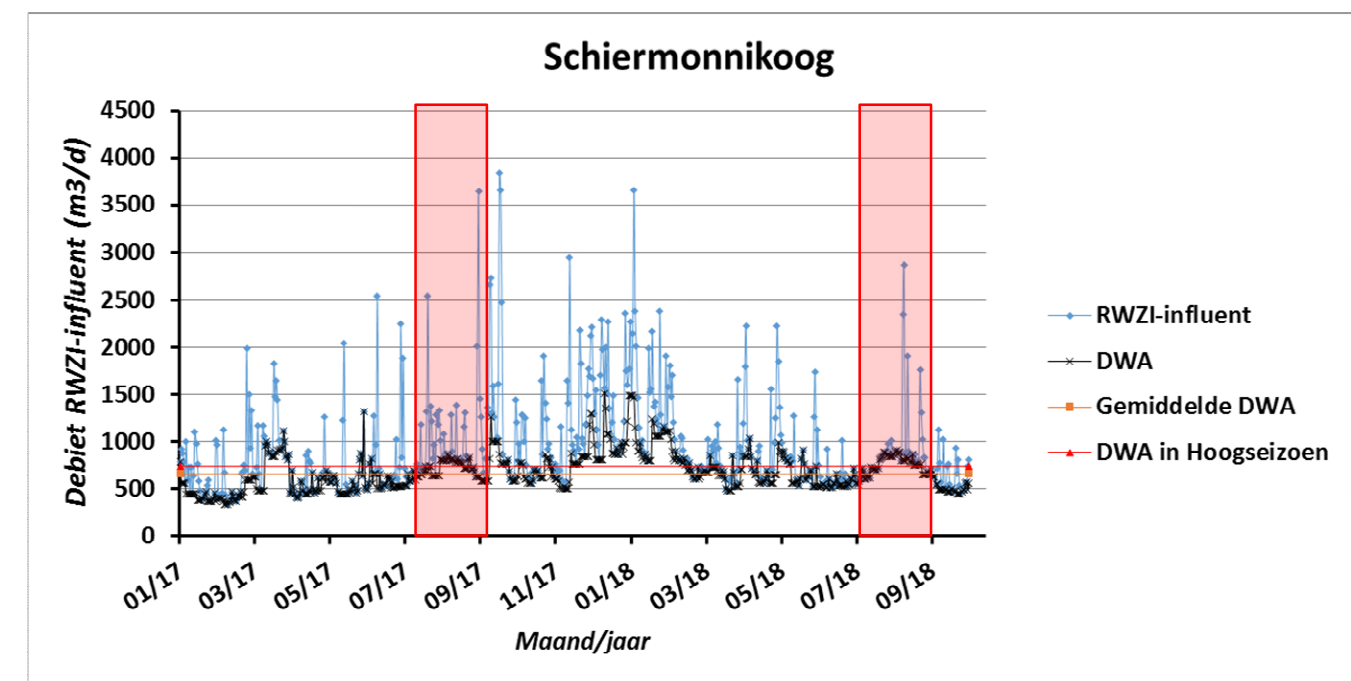
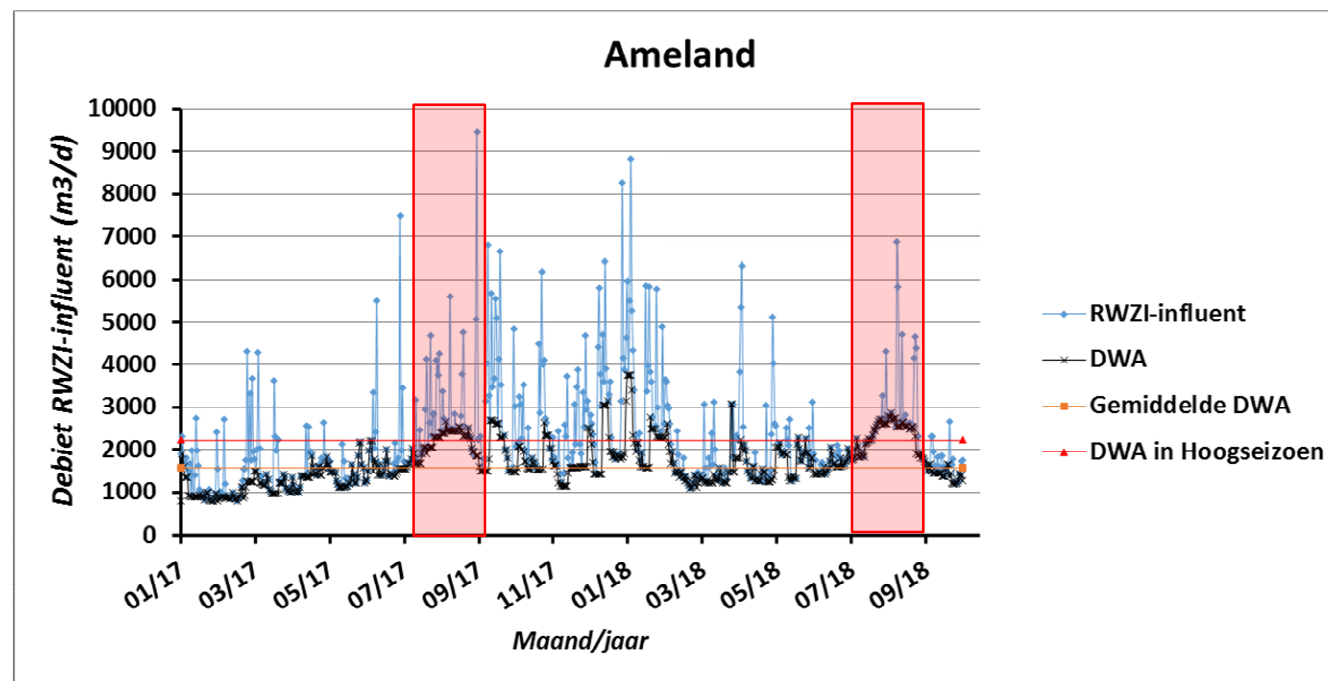
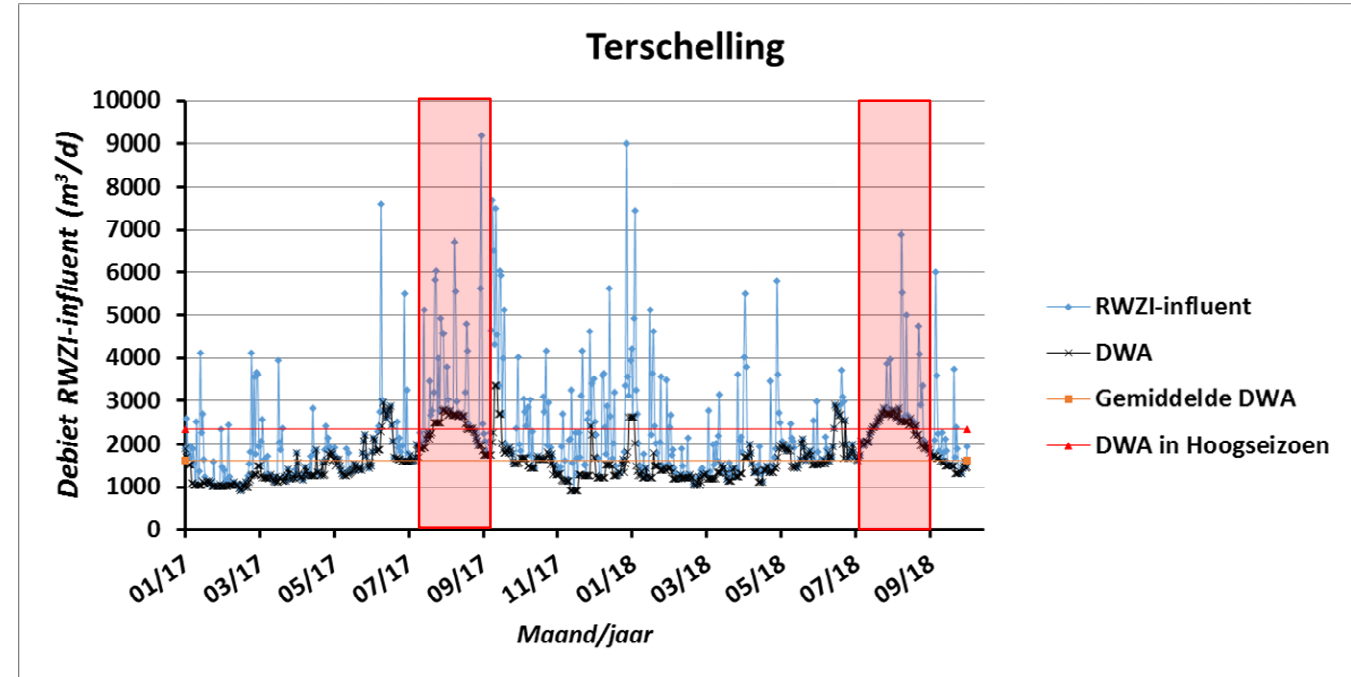
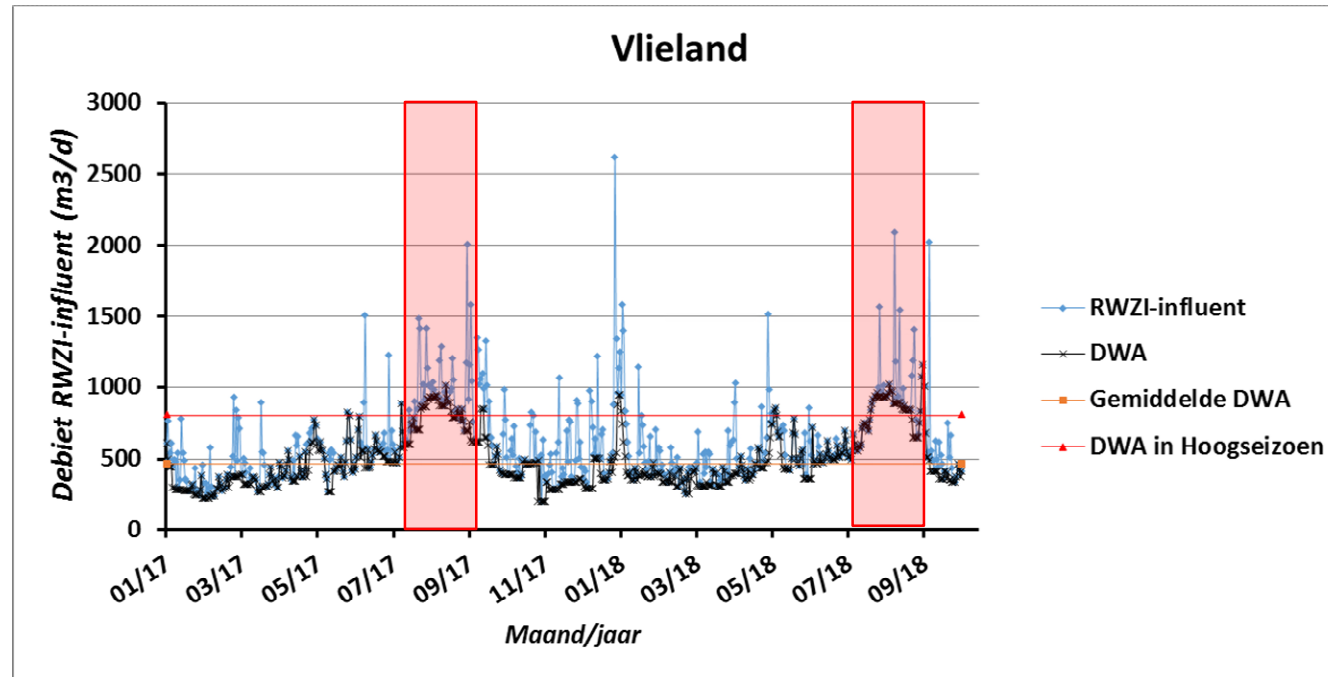
	Vlieland	Terschelling	Ameland	Schiermonnikoog
Landoppervlak (ha)	3613	8616	5883	4399
Aantal inwoners (31 mei 2018)	1.149	4.888	3.655	937
Aantal jaarlijkse toeristen (2013) <sup>1</sup>	184.987	444.338	551.843	269.142
Geschaald aantal toeristen <sup>2</sup>	2.129	5.113	6.350	3.097
<b>Bevolking inclusief toeristen</b>	<b>3.278</b>	<b>10.001</b>	<b>10.005</b>	<b>4.034</b>

<sup>1</sup> <http://www.veerbootinfo.nl/2014/07/toename-aantal-toeristen-friese-waddeneilanden-in-2013/>

<sup>2</sup> Geschaald naar jaarlijks verblijf: een gemiddeld verblijf van een toerist op de Waddeneilanden is 4,2 nachten:

<https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2016/31/1-3-miljoen-toeristen-op-vakantie-naar-de-wadden>





Figuur 4.2: Debiet van RWZI-influent op de vier Friese Waddeneilanden gedurende 2017 en 2018 (blauw). De droogweerafvoer (DWA) is empirisch bepaald en weergegeven in zwart. De oranje lijn is de gemiddelde DWA van het (volledige) jaar 2017. De rode vlakken stellen de hoogseizoenen voor en de rode lijn is de gemiddelde DWA tijdens de hoogseizoenen van 2017 en 2018.

### 4.1.3 Kwaliteit

De kwaliteitsgegevens van het RWZI-effluent op de vier Friese Waddeneilanden zijn weergegeven in Tabel 4.3. Het effluent is in alle gevallen zoet (<300 mg Cl<sup>-</sup>/L) en licht basisch (pH > 7) met relatief weinig vaste stof in suspensie (<4,2 mg/L).

Aangezien het effluent op de Waddenzee wordt geloosd, heeft het al een eerste zuiveringsstap moeten ondergaan. De prestatie van de zuivering is voor enkele kwaliteitscomponenten uitgedrukt in Tabel 4.3. Het chemisch zuurstofverbruik (CZV) en het biologisch zuurstofverbruik (BZV) worden tijdens de zuivering met 92-99% gereduceerd en bedragen in het effluent respectievelijk ~40 mg/L en ~2 mg/L. De zuivering op Vlieland lijkt het meest effectief op basis van deze componenten. De totale hoeveelheid stikstof (N-tot) en fosfor (P-tot) worden doorgaans het minst verwijderd tijdens het zuiveren met percentages van 85-95% en 81-88%, respectievelijk. De gemiddelde concentratie van N-tot in het RWZI-effluent varieert van 3,6 tot 11,2 mg/L en die van P-tot van 1,1 tot 1,7 mg/L. Op basis van deze componenten lijkt de zuivering van Vlieland juist het minst effectief, wat ook blijkt uit de nitraatconcentratie. De RWZI op Ameland en Terschelling zijn het meest effectief in het verwijderen van respectievelijk N-tot en P-tot. Er wordt bij alle RWZI's voldaan aan de emissiegrenswaarden uit het Activiteitenbesluit, welke is opgenomen in Bijlage IV.

Tabel 4.3: Gemiddelde chemische kwaliteit van RWZI-effluent op de vier Friese Waddeneilanden in 2017, aangeleverd door Wetterskip Fryslân. De percentages die tussen haakjes zijn weergegeven bij CZV, BZV, N-tot, en P-tot drukken de hoeveelheid reductie (de zuiveringsprestatie) uit.

	Eenheid	Vlieland	Terschelling	Ameland	Schiermonnikoog
pH	-	7,6	7,9	7,9	7,8
CZV	mg O <sub>2</sub> /L	36 (95%)	42 (94%)	36 (94%)	43 (92%)
BZV	mg O <sub>2</sub> /L	2,4 (99%)	2,6 (99%)	1,8 (99%)	2,3 (99%)
N-tot	mg/L	11,2 (85%)	5,4 (92%)	3,6 (95%)	4,5 (90%)
P-tot	mg/L	1,7 (84%)	1,1 (88%)	1,4 (85%)	1,3 (81%)
NO <sub>3</sub>	mg/L	7,3	12,3	5,9	8,9
NH <sub>4</sub>	mg/L	10,2	1,0	1,0	0,9
Cl <sup>-</sup>	mg/L	179	157	130	123
Zwevend stof	mg/L	3,4	3,8	3,0	4,2

Informatie over zware metalen in RWZI-effluent op de Friese Waddeneilanden is beschikbaar via de Watson database van Rijksoverheid ([www.emissieregistratie.nl/erpubliek/erpub/wsn/default.aspx](http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/erpub/wsn/default.aspx)). Aangezien de hoeveelheid zwevend stof in effluent erg laag is, wordt verwacht dat zware metalen grotendeels verwijderd worden in de al aanwezige zuiveringsstap. De minimale, maximale, en gemiddelde concentraties zware metalen die in 2013 en 2014 zijn waargenomen in RWZI-effluent op de eilanden zijn weergegeven in Tabel 4.4. Aanvullende informatie van de gemiddelde concentraties van zware metalen in RWZI-effluent in Nederland voor het jaar 2014 is tevens beschikbaar (CBS, 2016; Tabel 4.5).

Naast zware metalen komt ook een breed scala aan organische microverontreinigingen voor in RWZI-effluent (Cirkel et al., 2017). Op de Friese Waddeneilanden zijn een aantal organische microverontreinigingen waargenomen in RWZI-effluent (Tabel 4.4). De concentraties van geneesmiddelen in RWZI-effluent op de Waddeneilanden zijn onbekend. Daarom zijn ter illustratie de geneesmiddelen met de hoogste concentraties in het gemiddelde RWZI-effluent in Nederland bepaald en weergegeven in Tabel 4.6 (Cirkel et al., 2017).

Tabel 4.4: Minimale, maximale, en gemiddelde concentraties van micro-verontreinigingen, gemeten in RWZI-effluent op de Friese Waddeneilanden (Watson Database, Rijksoverheid)..

	Vlieland			Terschelling			Ameland			Schiermonnikoog		
	Min	Gem	Max	Min	Gem	Max	Min	Gem	Max	Min	Gem	Max
<b>Metalen gemeten in RWZI-effluent op de Friese Waddeneilanden tussen 2013 en 2014 in µg/L</b>												
Al	0	7,4	31,0				0	10,0	31,0	0	13,9	39,0
As	0	0,4	1,0	0	0,3	1,0	0	0,6	2,3	0,6	1,7	2,50
Ba	0	2,2	4,0	0	2,8	5,2	0	2,8	6,3	0	3,0	6,2
Co	0	0,7	1,4	0	0,8	1,6	0	0,2	0,4	0,3	0,6	1,2
Cu	1,0	2,8	5,9	1,8	5,1	22,0	1,4	5,7	22,0	0	2,7	5,9
Fe	84	232	560	68	117	220	50	81	120	59	182	530
Mn	38,0	65	92	15,0	52	92	25,0	48	80	38,0	72	120
Ni	0	1,0	2,9	0	0,6	2,5	0	0,4	3,1	0	1,1	2,5
Pb	0	0,3	1,2	0	0,2	1,2				0	0,3	1,3
Sb	0	0,08	0,7							0	0,4	0,7
Si	6600	12580	16000	9100	14260	16000	8300	11400	14000	6600	11680	18000
V	0,5	0,9	1,5	0,5	0,9	1,5	0,6	1,0	2,0	1,0	1,6	2,0
Zn	15,0	27,9	39,0	15,0	29,9	38,0	14,0	22,1	32,0	19,0	31,8	45
<b>Overige anorganische verbindingen gemeten in RWZI-effluent op de Friese Waddeneilanden tussen 2005 en 2009 in µg/L</b>												
Mo	0	1,4	15	0	2,1	26	0	1,5	19	0	2,2	22
Koolstofdisulfide				0	2800	5600	0	20	100	0	85	170
<b>Bestrijdingsmiddelen gemeten in RWZI-effluent op de Friese Waddeneilanden tussen 2005 en 2009 in µg/L</b>												
alfa-endosulfan										0	0,0005	0,002
beta-hexachloorcyclohexaan				0	0,0004	0,001						
Diazinon							0	0,02	0,1			
Dichlobenil	0,2	0,2	0,2	0	0,03	0,05						
endosulfan (som alfa- en beta-isomeer)	0	0,005	0,01							0	0,0005	0,002
gamma-hexachloorcyclohexaan (lindaan)				0	0,002	0,003	0	0,002	0,003	0	0,001	0,002
Isodrin				0	0,0004	0,001						
Mecoprop	0	0,03	0,06	0,04	0,06	0,09	0	0,04	0,2	0	0,03	0,07
Mepanipyrim												
Monolinuron							0	0,04	0,3			
2-methyl-4-chloorfenoxiazijnzuur							0	0,2	1,1	0	0,01	0,04
2,4'-dichloordifenyldichloorethaan							0	0,0004	0,002			
<b>PAK's gemeten in RWZI-effluent op de Friese Waddeneilanden tussen 2005 en 2009 in µg/L</b>												
Antraceen										0	0,001	0,003
benzo(a)antraceen										0	0,01	0,04
benzo(b)fluorantheen										0	0,01	0,04
benzo(a)pyreen										0	0,01	0,04
benzo(ghi)peryleen				0	0,002	0,007	0	0,002	0,01	0	0,01	0,02
benzo(k)fluorantheen	0,1	0,2	0,3							0	0,007	0,02
Chryseen										0	0,01	0,04
Fenantreen				0	0,005	0,008	0	0,003	0,01	0	0,01	0,03
Fluoreen										0	0,002	0,006
Fluorantheen										0	0,04	0,1
indeno(1,2,3-cd)pyreen				0	0,002	0,007				0	0,007	0,02
Pyreen										0	0,02	0,07
som benzo(b)fluorantheen en benzo(k)fluorantheen										0,06	0,06	0,06
som benzo(ghi)peryleen en indeno(1,2,3-cd)pyreen				0	0,003	0,01						
<b>Overige organische microverontreinigingen gemeten in RWZI-effluent op de Friese Waddeneilanden tussen 2005 en 2009 in µg/L</b>												
1,2-xyleen										0	0,07	0,1
1,2,3-trimethylbenzeen										0	0,04	0,08
1,4-dichloorbenzeen										0	0,07	0,1
2,2',4,4',5,5'-hexachloorbifenyl	0	0,0002	0,0005	0	0,0008	0,003				0	0,0003	0,0008
2,2',3,4,4',5,5'-heptachloorbifenyl				0	0,0003	0,0008						
Benzeen										0	0,1	0,3
Benzylbutylftalaat	0	0,003	0,009							0	0,06	0,1
Caffeine	0,001	0,004	0,009	0	0,05	0,1				0	0,05	0,1
Dimethyldisulfide	0	0,05	0,1	0,1	0,2	0,2	0	0,3	0,4	0,2	0,8	1,3
Diethylftalaat	0,2	0,3	0,3	0	0,05	0,09				0	0,06	0,1
Dibutylftalaat	0	0,5	1	0	0,1	0,2						
Diocetylftalaat	0	0,01	0,02									
Diethyltoluamide	0	0,0005	0,002	0	0,02	0,04	0	0,03	0,05	0	0,09	0,2
Tolueen				0	0,1	0,19	0	0,1	0,57			
trichloormethaan (chloroform)				0	0,03	0,06	0	0,02	0,08			



Tabel 4.5: Gemiddelde totaal concentraties van zware metalen in effluent van Nederlandse RWZI's in 2014 (CBS, 2016).

Zware metalen	Cu	Cr	Zn	Pb	Cd	Ni	Hg	As
Concentraties ( $\mu\text{g/L}$ )	4,4	1,2	39,7	1,2	0,1	4,1	0,0	1,8

Tabel 4.6: Gemiddelde concentraties per medicijngroep in effluent van Nederlandse RWZI's (top 10) (Bron: UBA Pharmaceuticals in the environment database, uit Cirkel et al. (2017)).

Medicijngroep	Gemiddeld ( $\mu\text{g/l}$ )	Standaard afwijking ( $\mu\text{g/l}$ )	n
Anti-epileptica	1,24	0,35	11
Anxiolytica	0,46	0,22	107
Radiocontrast agents	0,45	0,43	10
Antihypertensiva	0,36	0,32	29
Antihelminthica	0,27	0,10	2
Hypnotica	0,25	0,13	98
Antibiotica	0,18	0,14	20
Statinen	0,16	0,28	21
Antihistamine	0,13	0,24	44
Morfine derivaten	0,10	0,12	203

Aangezien RWZI's niet gedimensioneerd zijn om pathogenen te verwijderen, zijn ook deze aanwezig in RWZI-effluent. Indien RWZI-effluent hergebruikt wordt, moet altijd rekening worden gehouden met de mogelijke aanwezigheid van ziekteverwekkers. De concentraties van pathogenen in afvalwater op de Friese Waddeneilanden zijn onbekend. Daarom zijn ter illustratie de concentraties van pathogenen in effluent van de RWZI in Raalte tussen 1999 en 2001 weergegeven in Tabel 4.7. Hieruit blijkt dat de concentratie van de fecale coliform *E. Coli* in RWZI-effluent zeer hoog is.

Tabel 4.7: Pathogenen gemeten in effluent van de RWZI in Raalte tussen 1999 en 2001. De concentraties van pathogenen in effluent dat is behandeld met een halofytenfilter zijn ook weergegeven. (Blom et al., 2003).

Parameter	Eenheid	RWZI-effluent Raalte 1999-2001	Effluent helofytenfilter
<i>E. Coli</i> (PCR-methode)	aantal/100 ml	$1,5 \cdot 10^3 - 3,1 \cdot 10^6$	$< 1,0 \cdot 10^2$
<i>E. Coli</i> (kweekmethode)	aantal/100 ml	$2,1 \cdot 10^2 - 4,2 \cdot 10^3$	niet detecteerbaar
Virussen	aantal/10 l	niet detecteerbaar	niet geanalyseerd
<i>Giardia</i>	aantal/10 l	niet detecteerbaar	niet geanalyseerd
<i>Cryptosporidium</i>	aantal/10 l	niet detecteerbaar	niet geanalyseerd

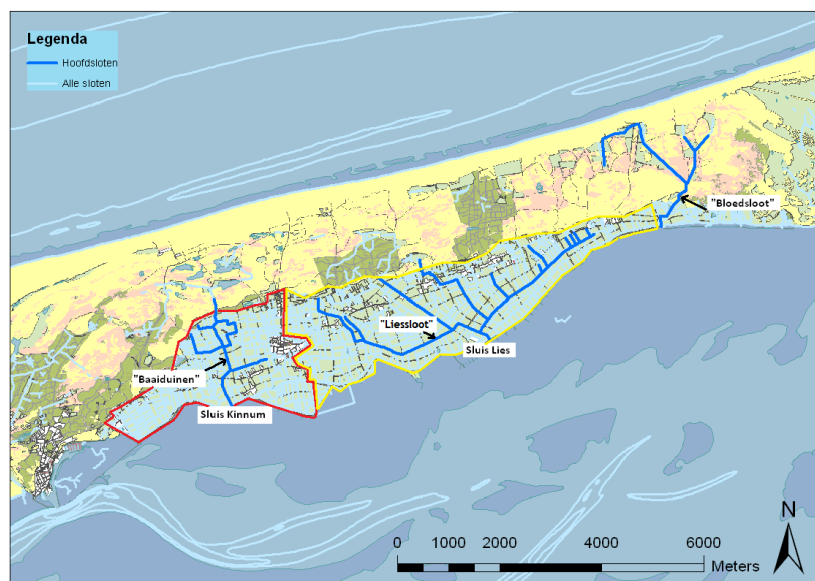
## 4.2 Afstromend water

Gegevens van afstromend oppervlaktewater zijn enkel beschikbaar voor Terschelling. Schuurman (2011) heeft onderzoek gedaan naar de kwantiteit en kwaliteit van afstromend oppervlaktewater op Terschelling.

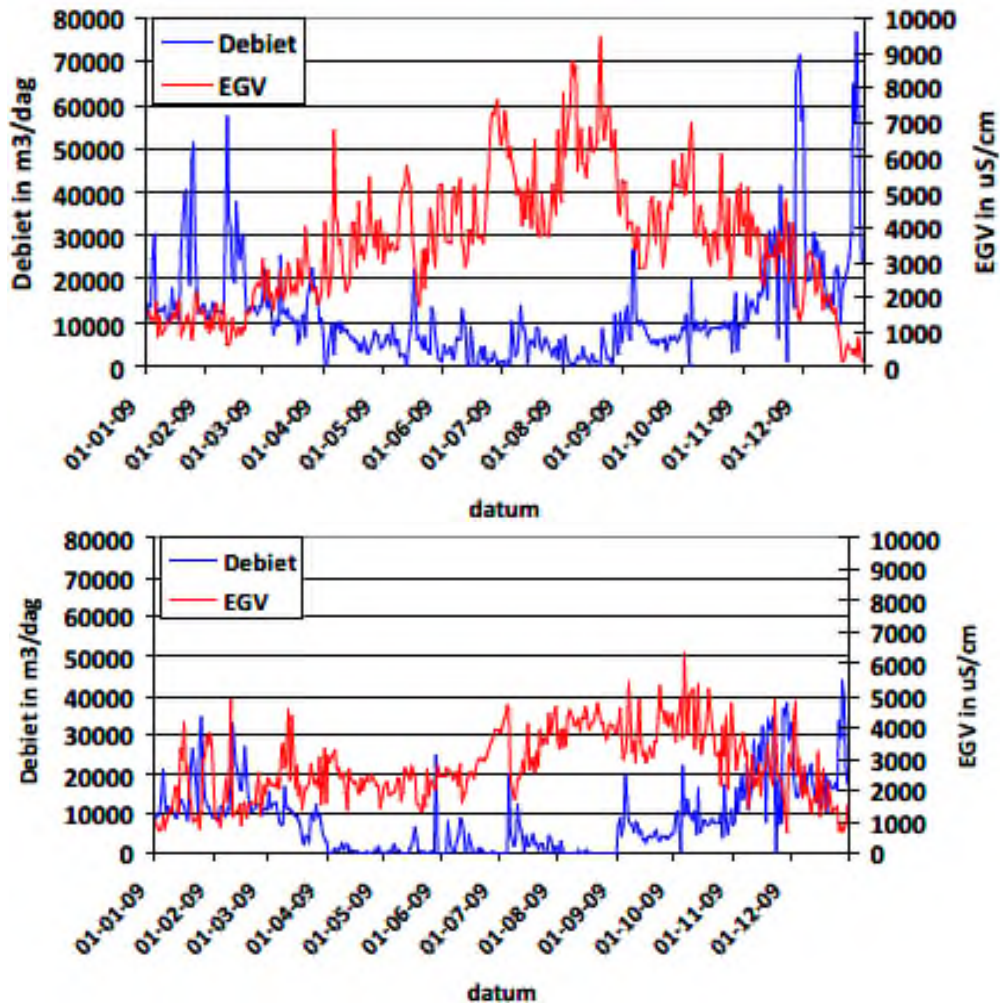
Afstromend oppervlaktewater wordt in de polders momenteel door twee sluisen op de Waddenzee gespuid, nabij Lies en nabij Kinnum (Figuur 4.3). Alleen al vanuit de Liessluis op Terschelling wordt jaarlijks ruim 735 000 m<sup>3</sup> water met EGV < 1000 µS/cm op de Waddenzee geloosd. Helaas is dit water enkel gedurende een korte tijd beschikbaar (Figuur 4.4), waardoor het lastig te benutten is. Tijdens een groot deel van het jaar is aan de zuidkant van de polder de kwelstroom vanaf de Waddenzee te groot, wat resulteert in brakke sloten. Uittredend duinwater aan de duinrand van de polders is daarentegen van betere kwaliteit. Het maximaal beschikbare debiet van de sloot bij Baaiduinen, welke de sluis bij Kinnum voedt, wordt geschat op 504.000 m<sup>3</sup>/jaar (Schuurman, 2011). Helaas heeft deze sloot tevens geen constante waterkwaliteit. De concentraties chloride en natrium zijn daar aan de hoge kant, en fosfaat en zwevend stof vereisen aandacht.

Schuurman (2011) stelt dat de buitendijkse Bloedsloot in het oosten van Terschelling het meest kansrijk is voor oppervlaktewateronttrekking door de goede en constante kwaliteit (Figuur 4.4). De Bloedsloot is namelijk grondwater gestuurd, terwijl de afvoer in de poldersloten grotendeels door neerslag wordt bepaald. Enkel de concentratie ijzer is relatief hoog, en concentraties chroom en zwevend stof vereisen aandacht. De maximale oppervlaktewaterinname uit de Bloedsloot bedraagt naar schatting 236.000 m<sup>3</sup>/jaar. De totale maximale inname van oppervlaktewater uit de Bloedsloot, de sloot bij Baaiduinen, en de Liessluis bedraagt ~1,475 Mm<sup>3</sup>/jaar, wat overeenkomt met 4041 m<sup>3</sup>/dag. Dit is tweemaal hoger dan het jaargemiddelde debiet van RWZI-effluent.

In tegenstelling tot RWZI-effluent, bevindt de afvoerpiek van afstromend oppervlaktewater zich echter in de wintermaanden en varieert de kwaliteit, waardoor het veelal te lastig te benutten is.



Figuur 4.3: Hoofdsloten op Terschelling (Schuurman, 2011).



Figuur 4.4: Debiet ( $\text{m}^3/\text{dag}$ ) en EGV ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) in 2009 bij de Liessluis (boven) en de Kinnumsluis (onder).

In het geval oppervlaktewater wel goed en efficiënt te benutten zou zijn, kunnen de resultaten van Terschelling met behulp van de strekkende meters duin en de gemiddelde breedte van de duinrand worden geschaald naar beschikbaar oppervlaktewater op de overige Friese Waddeneilanden (Tabel 4.8). Dit geeft een grove schatting van de totale hoeveelheid afstromend oppervlaktewater, aangezien de duinen het oppervlaktewater in de polders en kwelders voeden. Voor Vlieland is bekend dat er weinig tot geen afstromend oppervlaktewater beschikbaar is.

Tabel 4.8: Geschatte debieten van afstromend oppervlaktewater, gebaseerd op Schuurman (2011)..

	Vlieland	Terschelling	Ameland	Schiermonnikoog
<i>Strekkende kilometers duin (km)</i>	n.v.t.	16	16	5
<i>Gemiddelde breedte duinrand (km)</i>	n.v.t.	1.5	0.75	1.7
<i>Debiet van afstromend oppervlaktewater (<math>\text{Mm}^3/\text{jaar}</math>)</i>	n.v.t.	1,48	0,74	0,52

## 5 Watervraag

### 5.1 Drinkwater

Het doel van deze studie is om te inventariseren wat de mogelijkheden zijn om de huidige en toekomstige effecten van de drinkwaterproductie op de Friese Waddeneilanden tegen te gaan. Daarom zal in eerste instantie worden geïnventariseerd hoe RWZI-effluent ingezet kan worden als drinkwater.

#### 5.1.1 Locatie en distributie

Op ieder eiland zijn productielocaties gevestigd die hun water winnen via grondwateronttrekkingen. De filterdieptes van de grondwateronttrekkingen zijn opgenomen in Tabel 5.1. Op Terschelling en Ameland zijn grondwateronttrekkingen momenteel niet volledig toereikend voor de drinkwatervraag. Daarom lopen er nog Wadleidingen van het vaste land van Friesland naar de twee Waddeneilanden. Drinkwater dat is geproduceerd bij pompstations Spannenburg en Noardburgum wordt via deze Wadleidingen naar respectievelijk Terschelling en Ameland getransporteerd.

Tabel 5.1: Filterdieptes van grondwateronttrekkingen voor de drinkwaterproductie (Bron: ArcGIS).

Winveld	Vlieland			Terschelling	Ameland		Schiermonnikoog	
	Bokkendal	Diep	Zuid		Hollum	Buren	Hertenbos	Westerplas
Filtertop (m-NAP)	13	27	10	24	16	18	12	18
Filterbodem (m-NAP)	20	33	18	32	26	22	21	32

Het drinkwater wordt via de verschillende productiebedrijven geleverd aan de gebruikers. Indien RWZI-effluent ingezet wordt als drinkwater, dient het óf met nieuw leidingwerk vanaf het RWZI vervoerd te worden naar deze productiebedrijven voor verdere zuivering en distributie, óf op het RWZI tot drinkwaterkwaliteit te worden gezuiverd en (bestaande) distributieleidingen te voeden. De hemelsbrede afstanden van de RWZI's tot aan de drinkwaterproductielocaties zijn weergegeven in Tabel 5.2. Hieruit blijkt dat de RWZI's op Vlieland, Terschelling, en Schiermonnikoog binnen een straal van ~3 km van huidige productielocaties zijn gevestigd. Op Ameland is de RWZI minder gunstig gelegen, met een minimale afstand van 5 km tot een productiebedrijf. De kosten voor de realisatie van een nieuw leidingnetwerk zullen op Ameland dus mogelijk hoger uitpakken. Omdat de RWZI op Ameland relatief dichtbij de Wadleiding is gevestigd, lijkt het logistiek handiger om met het RWZI-effluent hierop aan te takken.

Tabel 5.2: Afstanden van RWZI's tot de drinkwaterproductielocaties op de eilanden. De locatie van het productiebedrijf behorend bij de Wadleiding van Ameland is onbekend.

	Productiebedrijf	Afstand van RWZI tot productielocatie (m, hemelsbreed)
Vlieland	Vlieland	1.880
Terschelling	Terschelling	1.300
	Wadleiding	6.400
Ameland	Hollum	7.570
	Buren	5.090
	Wadleiding	1.500
Schiermonnikoog	Schiermonnikoog	3.070

### 5.1.2 Kwantiteit

De verdeling van de hoeveelheid drinkwater dat afkomstig is van grondwateronttrekkingen op de Friese Waddeneilanden en van de hoeveelheid drinkwater dat wordt geleverd via de Wadleidingen is bekend vanaf 2013 en is weergegeven in Tabel 5.3. Door productieverliezen na de verwerking van grondwater tot drinkwater, zijn de gewonnen volumes doorgaans 10 - 20% groter dan de drinkwatervraag, welke is opgenomen in Tabel 5.4. Om de variatie van de drinkwatervraag zo goed mogelijk te kunnen vergelijken met die van het wateraanbod uit de RWZI's, is voor de drinkwatervraag ook de periode vanaf 2017 als uitgangspunt gebruikt (Tabel 5.4 en Figuur 5.1). Als hoogseizoen is opnieuw de totale duur van de zomervakantie van basis- en voortgezet onderwijs aangehouden (in 2017: 8 juli tot 3 september, en in 2018: 7 juli tot 2 september).

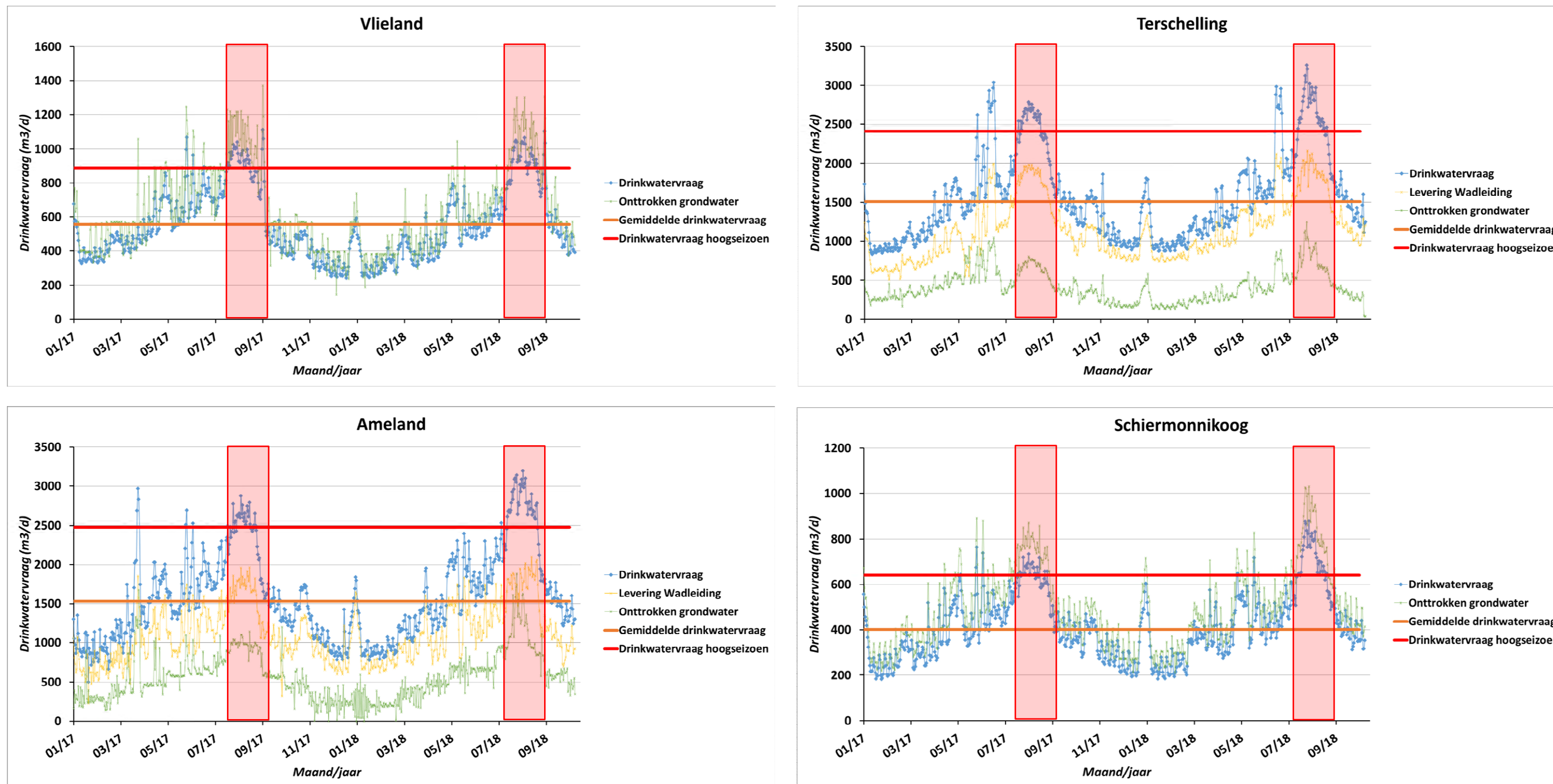
Tabel 5.3: Jaarlijks gemiddeld debiet van de grondwaterwinningen (GW) en van de wadleidingen (WL) per eiland, aangeleverd door Vitens. De laatste twee rijen geven het debiet tijdens een gemiddeld hoogseizoen weer, uitgedrukt als debiet en als percentage van het jaarlijks gemiddelde.

	Eenheid	Vlieland	Terschelling		Ameland		Schiermonnikoog
		GW	GW	WL	GW	WL	GW
2013	m <sup>3</sup> /d	435	444	1071	525	993	464
2014	m <sup>3</sup> /d	561	429	1108	517	1001	469
2015	m <sup>3</sup> /d	580	444	1015	538	1082	469
2016	m <sup>3</sup> /d	634	417	1060	539	1106	466
2017	m <sup>3</sup> /d	640	429	1079	544	1073	478
<b>Gemiddeld 2013 - 2017</b>	<b>m<sup>3</sup>/d</b>	<b>570</b>	<b>433</b>	<b>1067</b>	<b>532</b>	<b>1051</b>	<b>469</b>
<b>april-oktober 2017-2018</b>	<b>m<sup>3</sup>/d</b>	<b>783</b>	<b>536</b>	<b>1378</b>	<b>739</b>	<b>1310</b>	<b>594</b>
	<b>% gem. 2017</b>	<b>122%</b>	<b>125%</b>	<b>127%</b>	<b>136%</b>	<b>122%</b>	<b>124%</b>
<b>Hoogseizoen 2017 &amp; 2018</b>	<b>m<sup>3</sup>/d</b>	<b>1017</b>	<b>660</b>	<b>1747</b>	<b>1006</b>	<b>1629</b>	<b>754</b>
	<b>% gem. 2017</b>	<b>159%</b>	<b>154%</b>	<b>162%</b>	<b>185%</b>	<b>152%</b>	<b>158%</b>

Tabel 5.4: Jaarlijkse gemiddelde drinkwatervraag per eiland (Bron: Vitens). De laatste twee rijen geven het verbruik tijdens een gemiddeld hoogseizoen weer, uitgedrukt als debiet en als percentage van het jaarlijks gemiddelde.

	Eenheid	Vlieland	Terschelling	Ameland	Schiermonnikoog
2013	m <sup>3</sup> /d	447	1515	1435	386
2014	m <sup>3</sup> /d	483	1537	1437	389
2015	m <sup>3</sup> /d	503	1459	1543	390
2016	m <sup>3</sup> /d	551	1477	1562	388
2017	m <sup>3</sup> /d	556	1507	1530	401
<b>Gemiddeld 2013 - 2017</b>	<b>m<sup>3</sup>/d</b>	<b>508</b>	<b>1499</b>	<b>1502</b>	<b>391</b>
<b>april-oktober 2017-2018</b>	<b>m<sup>3</sup>/d</b>	<b>681</b>	<b>1914</b>	<b>1937</b>	<b>502</b>
	<b>% gem. 2017</b>	<b>123%</b>	<b>127%</b>	<b>127%</b>	<b>125%</b>
<b>Hoogseizoen 2017 &amp; 2018</b>	<b>m<sup>3</sup>/d</b>	<b>889</b>	<b>2407</b>	<b>2480</b>	<b>641</b>
	<b>% gem. 2017</b>	<b>160%</b>	<b>160%</b>	<b>162%</b>	<b>160%</b>





Figuur 5.1: Drinkwatervraag op de vier Friese Waddeneilanden gedurende 2017 en 2018 (blauw). De oranje lijn is de gemiddelde watervraag gedurende het (volledige) jaar 2017. De rode vlakken stellen de hoogseizoenen voor en de rode lijn is de gemiddelde drinkwatervraag gedurende de hoogseizoenen van 2017 en 2018.

Uit Tabel 5.3 en Figuur 5.1 blijkt dat de drinkwatervragen op Terschelling en Ameland het grootst en vergelijkbaar zijn. Dit komt overeen met de eerdere constatering dat de inwoneraantallen op de twee eilanden (inclusief toeristen) het grootst en vrijwel gelijk zijn (Tabel 4.2). Schiermonnikoog en Vlieland kennen de laagste gemiddelde drinkwatervraag door de lagere inwoneraantallen op deze eilanden (inclusief toeristen). Het feit dat Vlieland, ondanks het lagere totale inwoneraantal, een hogere drinkwatervraag heeft dan Schiermonnikoog is opvallend. Met name de gemiddelde drinkwatervraag op Vlieland is de afgelopen jaren sterk toegenomen.

De drinkwatervraag op de eilanden neemt tijdens het hoogseizoen met meer dan 60% toe, wat te verklaren is door de grote toestroom van toeristen in die periode (Tabel 4.2) en de hogere temperaturen. Naast de hoogseizoenen zijn pieken in de drinkwatervraag te verklaren door weekenden, andere vakantieperiodes (voorjaar, Pasen), en lokale evenementen. Voorbeelden van de laatstgenoemde categorie zijn 'Into the Great Wide Open' op Vlieland in het eerste weekend van september en Oerol festival op Terschelling in de tweede/derde week van juni. De dynamiek van de beschikbaarheid van RWZI-effluent volgt logischerwijs de dynamiek van de drinkwatervraag, aangezien bijna al het kraanwater na gebruik terecht komt bij een RWZI.

De potentie van hergebruik van RWZI-effluent voor de drinkwatervoorziening op de Waddeneilanden zit hem dus met name in het feit dat de pieken van aanbod en vraag goed met elkaar corresponderen. Gemiddeld in een jaar is er voldoende RWZI-effluent beschikbaar om te kunnen voldoen aan de complete drinkwatervraag van de Friese Waddeneilanden (Tabel 5.5). Ook in het hoogseizoen is er voldoende RWZI-effluent beschikbaar. Op Vlieland is het overschot aan RWZI-effluent het kleinst, gevolgd door Schiermonnikoog, Ameland, en Terschelling. Het overschot wordt grotendeels veroorzaakt door de beschikbaarheid van neerslag dat via de riolen wordt afgevoerd naar de RWZI's. Het overige aandeel van RWZI-effluent, de droogweerafvoer (DWA), benadert de drinkwatervraag, aangezien het grootste deel van de drinkwatervraag na gebruik of consumptie terecht komt in een RWZI. Afwijkingen kunnen ontstaan door lekkages, door de empirische benadering van de DWA, of door rioolvreemd water dat onbedoeld in het riool belandt, zoals infiltrerend grond- of oppervlaktewater (Liefthing en De Man, 2017).

Ondanks het gemiddelde overschot aan RWZI-effluent kan er in perioden van droogte op de korte termijn een tekort zijn aan RWZI-effluent om aan de momentane drinkwatervraag te kunnen voldoen. Daarnaast moet men rekening houden met productieverliezen bij zuivering van RWZI-effluent tot drinkwaterkwaliteit. Het handhaven van een eigen productiecapaciteit of het gebruik van een buffer waar RWZI-effluent tijdelijk in kan worden opgeslagen voordat het benut wordt is dus vereist voor de realisatie van een volledige drinkwatervoorziening uit RWZI-effluent. Dit kan bijvoorbeeld in de ondergrond om zo hoge kosten voor opslag te voorkomen.

Terschelling en Ameland zijn momenteel erg afhankelijk van de Wadleidingen, die de twee eilanden voorzien van zo'n 70% van de totale drinkwatervraag (Tabel 5.3). Het debiet van de Wadleidingen is vergeleken met de beschikbaarheid van RWZI-effluent (Tabel 5.5). Daaruit blijkt dat er meer dan voldoende RWZI-effluent beschikbaar is om het debiet van de Wadleidingen te behalen, met name in het hoogseizoen. Ook de droogweerafvoer (DWA) van de RWZI's is ruim hoger dan het debiet van de Wadleidingen. Daarom biedt hergebruik van RWZI-effluent voor de drinkwatervoorziening van deze eilanden in kwantitatief opzicht mogelijkheden om afstand te doen van de Wadleidingen.

Tabel 5.5: Gemiddeld overschot RWZI-effluent en DWA t.o.v. de gemiddelde drinkwatervraag op de vier Friese Waddeneilanden en t.o.v. het debiet van de Wadleidingen van Terschelling en Ameland.

Overschot RWZI-effluent	Vlieland	Terschelling	Ameland	Schiermonnikoog
<b>RWZI-effluent t.o.v. watervraag</b>				
<i>Hele jaar 2017 (m<sup>3</sup>/d)</i>	+ 37	+ 712	+ 629	+ 518
<i>Hele jaar 2017 (%)</i>	107 %	147 %	141 %	229 %
<i>Hoogseizoen 2017 &amp; 2018 (m<sup>3</sup>/d)</i>	+ 31	+ 542	+ 258	+ 305
<b>RWZI-effluent t.o.v. Wadleiding</b>				
<i>Hele jaar 2017 (m<sup>3</sup>/d)</i>		+ 1141	+ 1086	
<i>Hele jaar 2017 (%)</i>		206 %	201 %	
<i>Hoogseizoen 2017 &amp; 2018 (m<sup>3</sup>/d)</i>		+ 1202	+ 1109	
<b>DWA t.o.v. watervraag</b>				
<i>Hele jaar 2017 (m<sup>3</sup>/d)</i>	- 89	+ 109	+ 47	+ 255
<i>Hele jaar 2017 (%)</i>	84 %	107 %	103 %	164 %
<i>Hoogseizoen 2017 &amp; 2018 (m<sup>3</sup>/d)</i>	- 89	- 48	- 256	+ 96
<b>DWA t.o.v. Wadleiding</b>				
<i>Hele jaar 2017 (m<sup>3</sup>/d)</i>		+ 537	+ 504	
<i>Hele jaar 2017 (%)</i>		150 %	147 %	
<i>Hoogseizoen 2017 &amp; 2018 (m<sup>3</sup>/d)</i>		+ 612	+ 596	



### 5.1.3 Kwaliteit

Om gezuiverd RWZI-effluent te benutten als drinkwater, moet het voldoen aan de kwaliteitseisen van het Nederlands Drinkwaterbesluit (2018). Deze kwaliteitseisen zijn geconfronteerd met de parameters die zijn waargenomen in RWZI-effluent. De parameters die de kwaliteitsnormen benaderen of overschrijden, of die extra aandacht vereisen bij de lokale situatie zijn opgenomen in Tabel 5.6.

Ammonium (NH<sub>4</sub>), IJzer (Fe), en Chloride (Cl) zijn de direct gemeten macro parameters die voornamelijk nog zuivering vereisen. Chloride (Cl) vereist ook aandacht, aangezien de waargenomen concentraties op Vlieland (179 mg/L) en Terschelling (157 mg/L) hoger zijn dan de maximaal toegestane waarde in drinkwater (150 mg/L). Een verdere zuivering van zwevend stof is tevens gewenst, aangezien de mogelijk aanwezige metaalconcentraties hierdoor ook af zullen nemen. Organische microverontreinigingen en pathogenen overschrijden verschillende normen van het Drinkwaterbesluit ruimschoots. Deze stofgroepen leveren het grootste gezondheidsrisico bij consumptie, waardoor een zuivering van beide stofgroepen vereist is alvorens RWZI-effluent kan worden hergebruikt als drinkwater.

Tabel 5.6: Concentraties in RWZI-effluent van parameters waarvoor de in het Drinkwaterbesluit vermelde concentraties worden benaderd of overschreden (gebaseerd op Tabel 4.3, Tabel 4.4, Tabel 4.5, Tabel 4.7, en Bijlage V).

Parameter	Eenheid	RWZI-effluent	Drinkwaterbesluit
<b>Overschrijdende parameters</b>			
Ammonium (NH <sub>4</sub> )	mg/L	0,9 – 10,2	0,2
Cl	mg/L	123 – 179	150
Fe	µg/L	50 – 560	200
Mn	µg/L	15 – 120	50
Benzo(a)pyreen	µg/L	0 – 0,04	0,01
PAK's <sup>1</sup>	µg/L	0 – 0,4	0,1
Diazinon	µg/L	0 – 0,1	0,1
Dichlobenil	µg/L	0 – 0,2	0,1
Mecoprop	µg/L	0 – 0,2	0,1
Monolinuron	µg/L	0 – 0,3	0,1
2-methyl-4-chloorfenoxiazijnzuur	µg/L	0 – 1,1	0,1
Bestrijdingsmiddelen (totaal)	µg/L	0 – 1,7	0,5
<i>E. Coli</i>	kve/100 mL	1,5*10 <sup>3</sup> – 4,2*10 <sup>3</sup>	0
<b>Parameters die aandacht vereisen</b>			
Troebelingsgraad, Na, SO <sub>4</sub> , Hardheid, Smaak, Geur, etc.			

<sup>1</sup> Gespecificeerde verbindingen: pyreen, chryseen, fluorantheen, fenantreen, indeno(1,2,3-cd)pyreen, anthraceen, benzo(ghi)peryleen, benzo(a)antraceen, benzo(b)fluorantheen, benzo(k)fluorantheen.

### 5.1.4 Zuiveringsmethode

Er zijn meerdere scenario's mogelijk voor zuivering ten behoeve van de drinkwatervoorziening, maar twee scenario's zijn het meest robuust:

#### 5.1.4.1 Geavanceerde zuivering voor direct hergebruik

In het eerste scenario wordt een geavanceerde zuivering voor direct hergebruik beschouwd (Tabel 5.7). Als eerste zijn microzeven noodzakelijk om uitspoelend slib uit de RWZI te verwijderen. Het effluent bevat een hoge concentratie ammonium (5,9 – 12,3 mg/L NH<sub>4</sub>). Biologische nitrificatie van deze concentraties in snelfiltratie vergt 21 - 44 mg/L zuurstof. Dit kan enkel gerealiseerd worden door de combinatie droog filtratie – droog filtratie – nat filtratie. Met deze filterstappen worden ook ijzer en mangaan verwijderd. Periodiek dienen de filters teruggespoeld te worden wat resulteert in een waterverlies van 5 – 10%. Dit spoelwater kan echter terug naar de aeratie tanks van de RWZI, waardoor het niet als netto waterverlies gezien wordt. Voor verlaging van het chloride gehalte en verwijdering van de organische microverontreinigingen wordt omgekeerde osmose (RO) toegepast. De RO heeft een recovery van circa 75-80%, m.a.w. een waterverlies van 20 – 25%. Dit concentraat dient afgevoerd te worden met het resterende effluent, wat wel als netto verlies wordt gezien. De retentie van de RO voor kleinere organische microverontreinigingen (MW < 150 Da) is niet volledig, zodat mogelijk een actieve koolfiltratie noodzakelijk is na RO. In de RO worden naast chloride ook andere zouten verwijderd, waaronder bicarbonaat en de hardheid. De hardheid en de concentratie bicarbonaat worden vervolgens verhoogd tot de minimale waarden door remineralisatie (filtratie over marmerkorrels). Om voldoende opharding te krijgen is echter wel eerst een zuurdosering (CO<sub>2</sub>) noodzakelijk. De filtratiestappen en de RO dienen tevens als desinfectie barrière voor pathogenen. Ze leveren echter onvoldoende desinfectiecapaciteit, waardoor een extra barrière noodzakelijk is in de vorm van UV-desinfectie.

Tabel 5.7: Geavanceerde zuivering van RWZI-effluent voor directe drinkwatervoorziening.

RWZI-effluent	
Pompfase Microzeven	Verwijdering van uitspoelend slib
Droogfiltratie Pompfase Droogfiltratie Pompfase Natfiltratie	Verwijdering van ammonium, ijzer, en mangaan
Omgekeerde Osmose	Verlaging chloride, andere zouten, bicarbonaat, en hardheid Verwijdering OMIVE Desinfectie barrière voor verwijdering pathogenen
(Actieve koolfiltratie)	(Verwijdering kleinere OMIVE (MW < 150 Da))
Zuurdosering	Ten behoeve van voldoende opharding bij remineralisatie
Remineralisatie	Verhogen bicarbonaat en hardheid tot minimale waarden
UV-desinfectie	Extra desinfectie barrière voor verwijdering pathogenen
Reinwaterkelder Distributie	
Drinkwater	

#### 5.1.4.2 Zuivering d.m.v. bodempassage

Zoals in hoofdstuk 2 al werd beschreven, kan het voor de acceptatie en betrouwbaarheid verstandig zijn om gezuiverd RWZI-effluent eerst terug te brengen naar het hydrologisch systeem alvorens het in te zetten voor de drinkwatervoorziening. Daarom is in het tweede scenario de zuivering van RWZI-effluent d.m.v. bodempassage beschouwd (Tabel 5.8). Ook hier zijn als eerste microzeven noodzakelijk om uitspoelend slib uit de RWZI te verwijderen. Vervolgens vindt ultrafiltratie plaats voor de verwijdering van zwevende stof, ijzer, en mangaan, en voor desinfectie. De ultrafiltratie dient elke 30-60 minuten teruggespoeld te worden wat leidt tot een waterverlies van 10-15%. Dit spoelwater kan echter ook terug naar de aeratie tanks van de RWZI, waardoor het niet als netto waterverlies gezien wordt. Voor verlaging van het chloride gehalte en verwijdering van de organische microverontreinigingen wordt opnieuw RO toegepast. Ook hier geldt dat RO resulteert in een netto waterverlies van 20 - 25%. In de RO worden ook andere zouten verwijderd, waaronder bicarbonaat en de hardheid. Remineralisatie is niet voorzien in dit scenario omdat wordt verwacht dat dit deels al plaatsvindt tijdens de bodempassage. De retentie van de RO voor kleinere organische microverontreinigingen ( MW < 150 Da) is niet volledig, zodat mogelijk een actieve koolfiltratie noodzakelijk is voorafgaand aan de infiltratie. De aanname is wel dat RO de hoge concentratie ammonium zal reduceren tot de grenswaarde voor infiltratie (2.5 mg/l N-NH<sub>4</sub>) en dat NH<sub>4</sub> vervolgens tijdens bodempassage wordt afgebroken, mits voldoende belucht voor infiltratie. De desinfectiecapaciteit van de ultrafiltratie, RO en de bodempassage is ruim voldoende.

Tabel 5.8: Zuivering van RWZI-effluent voor bodempassage.

RWZI-effluent	
Pomphase Microzeven	Verwijdering van uitspoelend slib
Ultrafiltratie	Verwijdering van zwevend stof, ijzer, mangaan Desinfectie barrière voor verwijdering pathogenen
Omgekeerde Osmose	Verlaging chloride, andere zouten, bicarbonaat, en hardheid Verwijdering OMIVE Desinfectie barrière voor verwijdering pathogenen
(Actieve koolfiltratie)	(Verwijdering kleinere OMIVE (MW < 150 Da))
Buffer + evt. beluchting	Opslag vóór infiltratie
Pomphase	
Infiltratie	Extra desinfectie barrière voor verwijdering pathogenen d.m.v. bodempassage
Terugwinning Distributie	
Drinkwater	

## 5.2 Landbouw

Effluent kan als landbouwwater worden hergebruikt om het waterpeil in landbouwgebieden te handhaven en om gewassen te voorzien van voldoende water. Zoals Cirkel et al. (2017) stellen, is dit economisch enkel haalbaar bij toepassing in droge perioden.

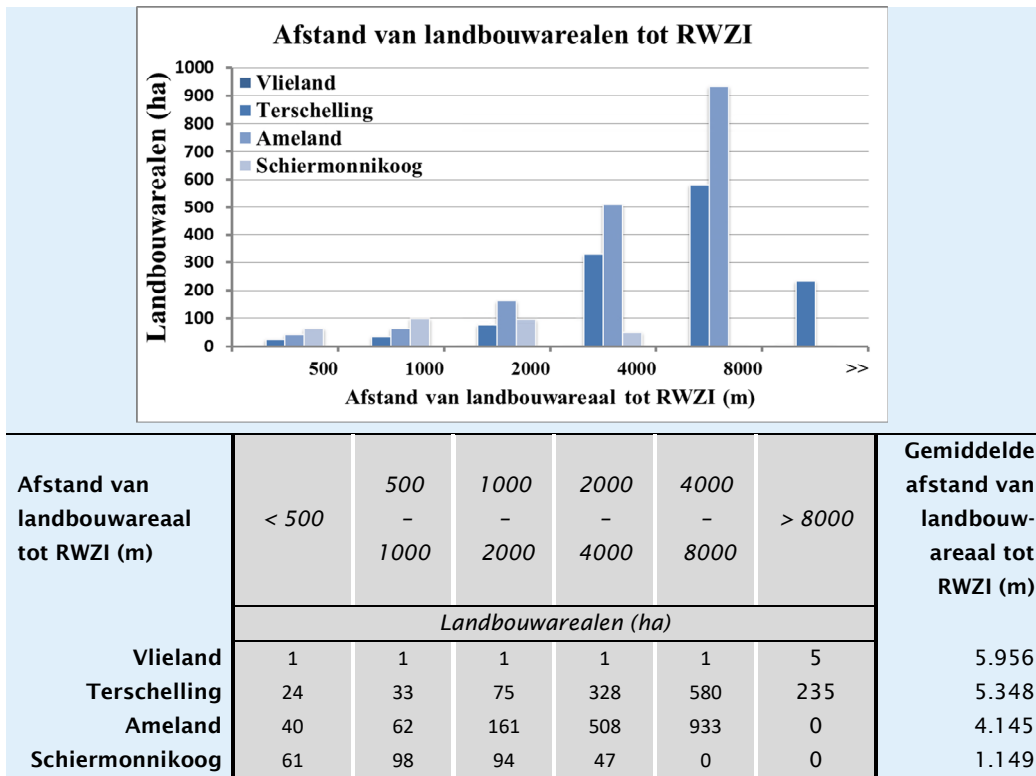
### 5.2.1 Locatie en distributie

De landbouw is met LGN (Landelijk Grondgebruik Nederland) en BRP (Basisregistratie Gewaspercelen (BRP)) in kaart gebracht (Tabel 5.9 en Bijlage III). Op Vlieland is vrijwel geen landbouw gevestigd. Op Terschelling, Ameland, en Schiermonnikoog zijn de landbouwarealen aanwezig binnen de polders in het zuidwesten van de eilanden. De landbouw op deze Waddeneilanden bestaat voornamelijk uit agrarisch gras. De arealen die in gebruik worden genomen voor de verbouwing van maïs, aardappelen, granen en overige gewassen zijn marginaal. In deze studie worden deze percelen voor de berekening van de watervraag van de landbouw bij het agrarisch gras gerekend.

De hemelsbrede afstanden van de RWZI's tot aan de landbouwpercelen zijn weergegeven in Figuur 5.2. Hieruit blijkt dat de meeste landbouwarealen op een afstand van 2 tot 8 kilometer van een RWZI verwijderd zijn. De RWZI van Schiermonnikoog is ten opzichte van de landbouwarealen het meest gunstig gelegen, met een gemiddelde afstand van 1,1 kilometer.

Tabel 5.9: Landbouwarealen en type landbouw op de vier Friese Waddeneilanden (Bron: Landelijk Grondgebruik Nederland (LGN6) en Basisregistratie Gewaspercelen (BRP)).

Landbouw	Vlieland	Terschelling	Ameland	Schiermonnikoog
<b>Arealen (ha)</b>	<b>9</b>	<b>1271</b>	<b>1703</b>	<b>301</b>
• Agrarisch gras	9	1245	1600	221
• Maïs		17	39	55
• Aardappelen		5	36	25
• Granen		4	4	
• Overige gewassen			25	
<b>% van totale oppervlak</b>	<b>0,2 %</b>	<b>14,8 %</b>	<b>29,0 %</b>	<b>6,8 %</b>



Figuur 5.2: Verdeling van de afstanden van landbouwarealen op ieder eiland tot de RWZI en de gemiddelde afstand van een landbouwareaal tot de RWZI.

### 5.2.2 Kwantiteit

De totale watervraag van de landbouw is berekend met behulp van de potentiële verdamping (Makkink) die is waargenomen bij het KNMI-station in Hoorn op Terschelling (Bijlage II). Aangenomen is dat een gewasfactor niet nodig is bij deze berekening, aangezien het landgebruik bestaat uit 94% agrarisch gras en gras het referentiegewas is voor de berekening van de Makkink verdamping:

$$\text{Watervraag landbouw [m}^3\text{]} = \text{Landbouwareaal [m}^2\text{]} * \text{Potentiele verdamping [m]}$$

Deze watervraag wordt (deels) vervuld door neerslag van bovenaf en door de beschikbaarheid van vocht in de wortelzone. Indien er een tekort is aan water voor de gewassen, m.a.w. als de totale watervraag van het gewas groter is dan de hoeveelheid neerslag en beschikbaar vocht in de wortelzone, kan de resterende watervraag worden vervuld door te irrigeren. Directe informatie over de irrigatievraag of van huidige berekening op de Friese Waddeneilanden is onbekend. De irrigatievraag van de landbouw in de polders kan worden benaderd met de watervraag in het groeiseizoen en de verdampingsreductie, die het gevolg is van een gebrek aan water voor de gewassen:

$$\text{Irrigatievraag [m}^3\text{]} = \text{Watervraag landbouw in groeiseizoen [m}^3\text{]} * \text{Verdampingsreductie [-]}$$

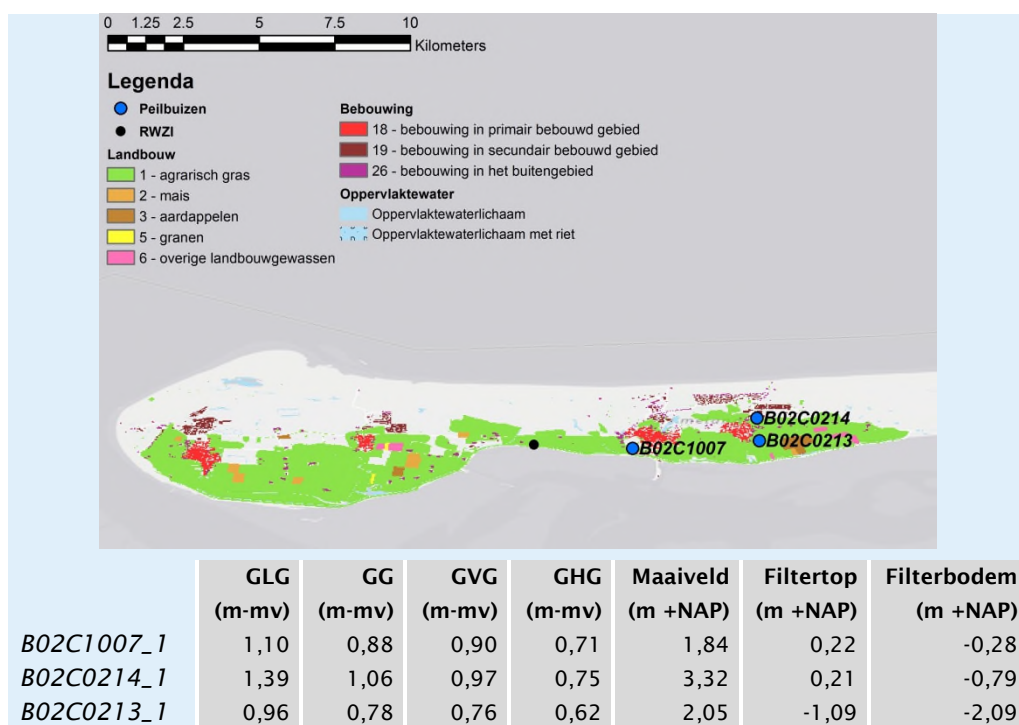
Hierbij kan worden aangenomen dat het groeiseizoen verloopt van april tot oktober en dat de verdampingsreductie 1:1 correleert aan de droogteschade, welke naast het weer afhankelijk is van de grondwaterstand en het bodemtype.

In de polders van de Friese Waddeneilanden komen verschillende bodemtypes voor. De BRO bodemkaart ([pdokviewer.pdok.nl/](http://pdokviewer.pdok.nl/)) laat zien dat de bodem in de polders met name bestaat uit vlakvaaggronden met leemarm en zwak lemig fijn zand (bodemcode Zn21). Daarnaast komen in mindere mate ook kalkarme poldervaaggronden met klei (bodemcode Mn86c), moerige eerdgronden met een moerige bovengrond of tussenlaag op zand (bodemcode vWz of zWz), kalkarme nesvaaggronden met klei (Mo80c), en kalkarme poldervaaggronden met zware zavel (Mn25c) voor.

Voor drie freatische peilbuisfilters in de polder van Ameland met recente grondwaterstandreeksen zijn de GxG-statistieken opgenomen in Figuur 5.3. Hieruit blijkt dat de GLG varieert tussen de 90 en 140 cm-mv en de GHG tussen de 60 en 80 cm-mv. B02C0213\_1, gelegen in het centrum van de polder, heeft doorgaans de hoogste grondwaterstanden, gevolgd door B02C1007 aan de zeerand van de polder en B02C0214\_1 aan de duinrand van de polder.

Op basis van de GLG, GHG, en de bodemtypes kan met de Waterwijzer tool ([waterwijzerlandbouw.wur.nl/tool.html](http://waterwijzerlandbouw.wur.nl/tool.html)) vervolgens een schatting worden gemaakt van de droogteschade, en dus van de verdampingsreductie, bij het huidige klimaat en bij een toekomstig klimaatscenario (Wh 2050) (Tabel 5.10). De GLG en de GHG die zijn waargenomen bij peilbuisfilter B02C0214 zijn gebruikt als uitgangspunt, aangezien hier de meeste droogteschade wordt verwacht door de lagere grondwaterstanden. Op basis van Tabel 5.10 wordt de verdampingsreductie geschat op 1 tot 10%. Door gebrek aan data over de irrigatievraag kan deze bandbreedte niet worden verfijnd.

De resulterende irrigatiewatervraag van de landbouw is per eiland weergegeven in Tabel 5.11. Om de variatie van deze vraag zo goed mogelijk te kunnen vergelijken met die van het wateraanbod, is voor de irrigatiewatervraag ook de periode vanaf 2017 als uitgangspunt gebruikt. Omdat er enkel in het groeiseizoen een vraag naar irrigatiewater zal zijn, is de periode van april tot oktober genomen om deze vraag in te schatten.



Figuur 5.3: Locaties en GxG-statistieken voor drie peilbuisfilters in de polder van Ameland.

Tabel 5.10: Droogteschade voor bodemtypes die vergelijkbaar zijn met de bodemtypes in de polders van de Friese Waddeneilanden, voor een GLG van 140 cm-mv en een GHG van 80 cm-mv.

Bodemtype	Huidig	Wh (2050)
Zanddek op moerige tussenlaag op zandondergrond	0 %	0,4 %
Leemarme tot zwak lemige zandgronden met een kleidek	0,7 %	1,1 %
Zwak lemige zandgronden met grof zand in de ondergrond	0,7 %	1,5 %
Zwak lemige zandgronden met leem in de ondergrond	1,1 %	1,5 %
Lemige zandgronden met een kleidek	1,1 %	1,9 %
Zware zavel	1,5 %	2,3 %
Leemarme (stuif-)zandgronden	7,4 %	8,7 %

Tabel 5.11: Gemiddelde totale watervraag en irrigatievraag van de landbouw op de vier Friese Waddeneilanden voor 2013-2018 (Bron: Landelijk Grondgebruik Nederland (LGN6), Basisregistratie Gewaspercelen (BRP), en de Waterwijzer tool).

Landbouw	Vlieland	Terschelling	Ameland	Schiermonnikoog
<b>Totale watervraag (m<sup>3</sup>/d)*</b>				
<i>Gemiddeld 2017</i>	144	21.646	28.912	5.101
<i>Gemiddeld 2013 – 2017</i>	144	21.675	28.950	5.108
<i>April – Oktober 2017 &amp; 2018</i>	245	36.693	49.009	8.647
<i>Hoogseizoen 2017 &amp; 2018</i>	272	40.856	54.569	9.628
<b>Geschatte irrigatievraag (m<sup>3</sup>/d)**</b>				
<i>April – Oktober 2017 &amp; 2018</i>	2 – 25	367 – 3669	490 – 4901	86 – 865

\*Berekend met behulp van de potentiële verdamping bij het KNMI-station in Hoorn (Terschelling)

\*\*Berekend met behulp van de Waterwijzer Tool ([waterwijzerlandbouw.wur.nl/tool.html](http://waterwijzerlandbouw.wur.nl/tool.html)).

Bij de minimaal geschatte irrigatiewatervraag is er gedurende het groeiseizoen gemiddeld voldoende RWZI-effluent beschikbaar om te kunnen voldoen aan de irrigatiewatervraag op alle vier de Friese Waddeneilanden (Tabel 5.12). Er is gedurende het groeiseizoen gemiddeld tevens voldoende RWZI-effluent beschikbaar om te kunnen voldoen aan zowel de irrigatiewatervraag als de drinkwatervraag die door de Wadleiding wordt geleverd. Als er wordt gekeken naar de droogweerafvoer (DWA) in plaats van naar de totale hoeveelheid RWZI-effluent, is dit ook voor Terschelling ook het geval. In dat geval is er op Ameland echter een klein tekort aan DWA van 28 m<sup>3</sup>/d.

Bij de maximaal geschatte irrigatiewatervraag is er gedurende het groeiseizoen enkel op Vlieland, waar de landbouw beperkt is, gemiddeld voldoende RWZI-effluent beschikbaar om te kunnen voldoen aan de irrigatiewatervraag (Tabel 5.12). Dezelfde conclusie geldt als men kijkt naar de DWA in plaats van de totale hoeveelheid RWZI-effluent.

Wanneer eerst de totale drinkwatervraag wordt ingevuld door het hergebruik van RWZI-effluent, is er enkel op Ameland een tekort aan RWZI-effluent om ook nog te voldoen aan de minimaal geschatte irrigatiewatervraag. Als enkel wordt gekeken naar de DWA, is er op alle vier de Friese Waddeneilanden een tekort om nog te voldoen aan de minimaal geschatte irrigatiewatervraag. Het gebruik van enkel RWZI-effluent voor zowel de drinkwatervoorziening als voor de landbouw is in die situatie dus niet mogelijk. Bij de maximaal geschatte irrigatiewatervraag is op alle vier de Friese Waddeneilanden in elk geval een tekort aan RWZI-effluent, en dus ook DWA, om naast de totale drinkwatervraag ook nog te voldoen aan de irrigatiewatervraag.



Tabel 5.12: Gemiddeld overschot aan RWZI-effluent op de vier Friese Waddeneilanden in de groeiseizoenen van 2017 en 2018 t.o.v. 1) de irrigatiewatervraag, 2) de irrigatiewatervraag en de drinkwatervraag die wordt geleverd door de Wadleiding, en 3) de irrigatiewatervraag en de totale drinkwatervraag. De percentages 1% en 10% staan respectievelijk voor de minimaal en maximaal geschatte verdampingsreducties (en irrigatiewatervragen) voor het hele groeiseizoen.

Overschot RWZI-effluent	Vlieland	Terschelling	Ameland	Schiermonnikoog
<b>RWZI-effluent t.o.v. irrigatiewatervraag (m<sup>3</sup>/d)</b>				
• April – Oktober (1%)	+ 686	+ 2024	+ 1708	+ 757
• April – Oktober (10%)	+ 664	- 1279	- 2703	- 21
<b>RWZI-effluent t.o.v. irrigatiewatervraag &amp; debiet Wadleiding (m<sup>3</sup>/d)</b>				
• April – Oktober (1%)		+ 646	+ 398	
• April – Oktober (10%)		- 2657	- 4013	
<b>RWZI-effluent t.o.v. irrigatiewatervraag &amp; totale drinkwatervraag (m<sup>3</sup>/d)</b>				
• April – Oktober (1%)	+ 5	+ 110	- 229	+ 256
• April – Oktober (10%)	- 17	- 3193	- 4640	- 523
<b>DWA t.o.v. irrigatiewatervraag (m<sup>3</sup>/d)</b>				
• April – Oktober (1%)	+ 585	+ 1546	+ 1282	+ 562
• April – Oktober (10%)	+ 563	- 1756	- 3129	- 217
<b>DWA t.o.v. irrigatiewatervraag &amp; debiet Wadleiding (m<sup>3</sup>/d)</b>				
• April – Oktober (1%)		+ 168	- 28	
• April – Oktober (10%)		- 3134	- 4439	
<b>DWA t.o.v. irrigatiewatervraag &amp; totale drinkwatervraag (m<sup>3</sup>/d)</b>				
• April – Oktober (1%)	- 96	- 368	- 655	+ 60
• April – Oktober (10%)	- 118	- 3670	- 5066	- 719

### 5.2.3 Kwaliteit

Om RWZI-effluent te benutten als irrigatiewater, dient het in ieder geval aan de indicatieve streefwaarden voor irrigatiewater te voldoen (Bijlage VI) (Cirkel et al., 2017). Deze indicatieve streefwaarden zijn geconfronteerd met de parameters die zijn waargenomen in RWZI-effluent.

RWZI-effluent voldoet aan de indicatieve streefwaarden van chloride, ijzer, en mangaan voor irrigatiewater. RWZI-effluent is nog rijk aan macronutriënten zoals stikstof en fosfor, in de vorm van nitraat, ammonium, en (ortho)fosfaat. Voor deze componenten zijn geen indicatieve streefwaarden opgenomen in Bijlage VI. Bovendien stelden Cirkel et al. (2017) dat de in effluent aanwezige nutriënten een beperkte belasting vormen voor de nutriëntenbalans bij irrigatie vergeleken met andere bronnen zoals dierlijke mest.

Cirkel et al. (2017) stellen dat de concentraties van zware metalen door effectieve bronmaatregelen laag zijn in RWZI-effluent. De concentraties van zware metalen in RWZI-effluent (Tabel 4.4 en Tabel 4.5) zijn allen lager dan de indicatieve streefwaarden (Bijlage VI). Zware metalen lijken daarom geen risico te vormen voor de lange termijn bodem-, grondwater- en gewaskwaliteit.

De parameters die de indicatieve streefwaarden benaderen of overschrijden, of die extra aandacht vereisen bij de lokale situatie zijn opgenomen in Tabel 5.13. De enige stoffen die de indicatieve streefwaarden ver overschrijden zijn fecale coliformen. Dit is ook wat Cirkel et al. (2017) concludeerden. Een zuivering die fecale coliformen reduceert of verwijdert is dus zeer gewenst. De pH van RWZI-effluent benadert de bovengrens van de indicatieve streefwaarde voor irrigatiewater. Voor organische microverontreinigingen zijn geen streefwaarden bekend voor irrigatiewater, aangezien het effect van deze stoffen op gewassen onvoldoende bekend is. Wel vereisen deze stoffen aandacht en nader onderzoek bij het gebruik van RWZI-effluent als irrigatiewater.

Wanneer RWZI-effluent wordt teruggevoerd naar oppervlaktewater voordat het wordt gebruikt voor irrigatie, moet worden voldaan aan de emissiegrenswaarden die zijn opgenomen in de Activiteitenregeling (Bijlage IV). In paragraaf 4.1.3 werd al duidelijk dat hieraan wordt voldaan. Wel blijven Organische microverontreinigingen (OMIVE) en Fecale coliformen parameters die aandacht vereisen bij lozing en hergebruik van RWZI-effluent als irrigatiewater.

Tabel 5.13: Concentraties in RWZI-effluent van parameters waarvoor de indicatieve streefwaarden voor irrigatiewater worden benaderd of overschreden (gebaseerd op Tabel 4.3, Tabel 4.4, Tabel 4.5, Tabel 4.7, en Bijlage VI).

Parameter	Eenheid	RWZI-effluent	Indicatieve streefwaarde
<b>Overschrijdende parameters</b>			
<i>Fecale coliformen</i>	<i>kve/100 ml</i>	$1,5 \cdot 10^3 - 4,2 \cdot 10^3$	1000
<i>pH</i>	-	7,6 - 7,9	5,5 - 8
<b>Parameters die aandacht vereisen bij de lokale situatie</b>			
<i>Organische microverontreinigingen (OMIVE)</i>			

#### 5.2.4 Zuiveringsmethode

De aanvullende benodigde zuivering kan zoals op Texel bestaan uit een helofytenfilter. Deze is mogelijk direct na de zuiveringsstap van de nabezinkers van de RWZI. Bij de RWZI Raalte is in 1999-2000 als proef gezuiverd effluent via een helofytenfilter in de bodem geleid, zonder aanvullende vormen van zuivering (Blom et al., 2003). Uit de proef volgde dat de kwaliteit van het effluent in de proefinstallatie werd geëgaliseerd en verbeterd. De egalisatie was het gevolg van de lange verblijftijd en de menging binnen de proefinstallatie. De belangrijkste kwaliteitsverbetering betrof verwijdering van ammonium, fosfaat en bacteriën. De verwijdering van de in het RWZI-effluent aanwezige E. Coli was vrijwel volledig. De verwijdering bleek vooral plaats te vinden in het helofytenfilter. De goede verwijdering wordt geweten aan filtratie, ongunstige condities voor E. Coli in het helofytenfilter en de invloed van andere organismen in het helofytenfilter. Na het helofytenfilter vond er bij de RWZI in Raalte bodempassage van RWZI-effluent plaats. Deze stap fungeerde als slot op de deur voor pathogenen, en mogelijk ook voor organische microverontreinigingen.

Het toepassen van subirrigatie in plaats van conventionele beregening kan als extra slot op de deur fungeren voor pathogenen, en mogelijk ook voor organische microverontreinigingen. Al-Jassim et al. (2015) geven aan dat de risico's voor agrariërs die irrigeren met effluent worden gereduceerd met verschillende managementacties:

- Geen bovengrondse beregening, maar ondergrondse sub-irrigatie toepassen;
- Geen bovengrondse opslag van effluent realiseren;
- Oogstdatum plannen na passage van een aantal dagen na de laatste irrigatie;
- Gebruik van passende beschermingsmiddelen tijdens irrigatie-activiteiten.

Tevens zorgt subirrigatie voor verhoging van de freatische grondwaterstand en verbetering van de vochtvoorziening.

Met een helofytenfilter zou RWZI-effluent mogelijk ook ingezet kunnen worden als veedrenkwater, aangezien de grootste risico's voor dit doeleinde worden gevormd door pathogenen, microverontreinigingen, en metalen. Dit vergt echter nader onderzoek.

### 5.3 Lokale watergebruikers

#### 5.3.1 Locatie en distributie

Grote lokale watergebruikers kunnen een belangrijk deel van de watervraag vormen. Op de Waddeneilanden zijn verschillende grote lokale watergebruikers aanwezig zoals industrie, zwembaden, linnenservices en campings. Met behulp van luchtfoto's is globaal ingeschat waar de industrie zich manifesteert op de eilanden. Samen met zwembaden, linnenservices, en campings zijn deze weergegeven in Bijlage III.

De afstanden van industrie, zwemgelegenheden, linnenservices, en campings tot aan de RWZI's zijn opgenomen in Tabel 5.14. Hergebruik van gezuiverd effluent kan mogelijk bijdragen aan het voldoen aan de watervraag van de industrie op Terschelling, Schiermonnikoog en Vlieland gezien de nabijheid van de RWZI ten opzichte van de industrieclusters op die eilanden. Ditzelfde geldt voor de zwemgelegenheden op Vlieland en Terschelling, en enkele campings op Vlieland, Terschelling, en Schiermonnikoog. De linnenservice op Vlieland ligt weliswaar op relatief korte afstand van de RWZI, maar is een distributiepunt en zal geen grote watervraag kennen.

De exacte kwantiteits- en kwaliteitseisen van het watergebruik zijn voornamelijk onbekend. Voor de lokale grondwatergebruikers zal vanwege het gebrek aan gegevens in dit stadium geen berekening worden gemaakt van de benodigde waterkwantiteit.

Tabel 5.14: Hemelsbrede afstanden (in meters) van industrie, zwemgelegenheden, linnenservices (Bron: Google Earth), en campings (Bron: ArcGIS Online: 'cwkamerman') tot RWZI's op de vier Friese Waddeneilanden.

	Vlieland	Terschelling	Ameland	Schiermonnikoog
<b>Industrieclusters</b>				
1	350	0	1.700	0
2				2.500
<b>Linnenservice</b>	350	3.500	2.000	2.050
<b>Zwemgelegenheden</b>				
1	500	1.175	2.800	2.050
2			3.000	
3			4.600	
<b>Campings</b>				
<i>Groot:</i>				
1		4.750	2.750	300
2		7.500	2.900	1.900
3		9.150	4.450	2.350
4		10.250	4.550	
5		10.550	6.650	
<i>Middel:</i>				
1		350		
2		450		
3		1.350		
4		1.400		
5		2.000		
<i>Klein:</i>				
1	1.000			
2	8.750			

### 5.3.2 Zuiveringsmethode

Lokaal hergebruik van huishoudwater van lokale grote watergebruikers wordt bepaald door de toepassing en is enkel mogelijk als toiletspoeling, tuin, en mogelijk ook voor de wasmachine. Deze einddoelen kunnen al een groot deel van de watervraag van campings en linnenservices beslaan. Voor deze einddoelen zal de zuivering eruit zien zoals in Tabel 5.15 is weergegeven, met dezelfde eerste stappen als in Tabel 5.7.

Tabel 5.15: Zuiveringsstappen ten behoeve van lokaal hergebruik RWZI-effluent.

<b>RWZI-effluent</b>	
Pompfase Microzeven	Verwijdering van uitspoelend slib
Droogfiltratie Pompfase Droogfiltratie Pompfase Natfiltratie	Verwijdering van ammonium, ijzer, en mangaan
Omgekeerde Osmose	Verlaging chloride, andere zouten, bicarbonaat, en hardheid Verwijdering OMIVE Desinfectie barrière voor verwijdering pathogenen
Distributie	<b>Toiletspoeling, tuin, wasmachine</b>

#### 5.4 Natuur

De waterbalans van de natuur hangt grotendeels af van de hoeveelheid neerslag en verdamping en de beschikbaarheid van grondwater. De natuur kan lijden aan verlagingen van grondwaterstanden door de jaarlijkse droogte, maar ook door de effecten van de aanwezige grondwateronttrekkingen op de Friese Waddeneilanden. De exacte aanvullende watervraag van de natuur om deze verlagingen te beperken is zeer lastig in te schatten.

Water kan teruggebracht worden naar het hydrologische systeem om de gevolgen van droogte en van de huidige en toekomstige drinkwateronttrekking aan maaiveld te reduceren. Om het grondwaterpeil te handhaven en de GLG te verhogen, zijn twee mogelijkheden in deze verkenning onder de loep genomen:

- Diepinfiltratie van water dichtbij en in hetzelfde watervoerend pakket als de grondwateronttrekking van een drinkwaterproductiebedrijf in de duinen;
- Natte duinvalleien benutten als bekkens voor ondiepe infiltratie.

De natuur is niet noodzakelijkerwijs het enige doel voor het hergebruiken van RWZI-effluent. Het kan ook een middel zijn om te kunnen voldoen aan de drinkwatervraag en de irrigatiewatervraag van de landbouw. Meerdere doelen kunnen daardoor tegelijk worden bediend. De hierboven genoemde mogelijkheden zijn daarvoor zeer geschikt.

Bij diepinfiltratie van water dichtbij en in hetzelfde watervoerend pakket als de grondwateronttrekking van een drinkwaterproductiebedrijf in de duinen wordt het grondwater direct aangevuld, wat grondwaterstandsverlagingen beperkt. Zo worden niet alleen de negatieve effecten van de grondwateronttrekking beperkt, maar blijft er ook voldoende water beschikbaar in de bodem voor een duurzame drinkwaterproductie. Bovendien fungeert de bodempassage van het geïnfiltreerde water als extra zuiveringsstap.

Bij het benutten van natte duinvalleien als ondiepe infiltratiebekkens wordt de grondwaterstandverlaging in de omgeving van de natte duinvalleien beperkt. Daarnaast kan infiltrerend oppervlaktewater na bodempassage worden onttrokken bij een nieuwe grondwateronttrekking in de nabijheid van deze natte duinvalleien. Deze bodempassage en grondwateronttrekking fungeren tevens als extra zuiveringsstap voor de drinkwatervoorziening.

Beide vormen van infiltratie zorgen uiteindelijk ook voor een grotere waterbeschikbaarheid in de polders. Gezien het geohydrologische conceptuele model van de Waddeneilanden, stroomt water namelijk vanuit de (natte) duin(vallei)en af naar de lager gelegen kwelders en polders, waar niet alleen de natuur maar ook de landbouw kan profiteren van een grotere beschikbaarheid van oppervlaktewater en grondwater.

### 5.4.1 Locatie en distributie

De locaties van de natte duinvalleien en van grondwateronttrekkingen van de drinkwaterproductiebedrijven zijn opgenomen in Bijlage III. De natte duinvalleien zijn daarin te herkennen aan de oppervlaktewaterlichamen in de duinranden van de eilanden.

De afstanden van de drinkwaterproductiebedrijven tot de RWZI's zijn reeds opgenomen in Tabel 5.2. De RWZI's op Vlieland, Terschelling, en Schiermonnikoog zijn binnen een straal van ~3 km van huidige productielocaties gevestigd. Op Ameland is de RWZI minder gunstig gelegen ten opzichte van de productiebedrijven. De afstanden van de natte duinvalleien tot de RWZI's zijn opgenomen in Tabel 5.16. Uit deze gegevens blijkt dat de minimale afstand van een RWZI tot een oppervlaktewaterlichaam in de natte duinvalleien minimaal 1 km bedraagt. Op Terschelling en Ameland zijn meer natte duinvalleien aanwezig dan op Vlieland en Schiermonnikoog.

Tabel 5.16: Afstanden van RWZI's tot oppervlaktewaterlichamen in de natte duinvalleien.

	<i>Afstand van RWZI tot natte duinvalleien (m, hemelsbreed)</i>
<b>Vlieland</b>	1.100 – 2.700
<b>Terschelling</b>	1.800 – 5.000
<b>Ameland</b>	1.000 – 6.500
<b>Schiermonnikoog</b>	1.000 – 3.500

### 5.4.2 Kwaliteit

De kwaliteit van water dat naar de ondergrond wordt geïnfilteerd moet voldoen aan de kwaliteitseisen die zijn opgenomen in het infiltratiebesluit (Bijlage VII). Europese grondwaterkwaliteitsnormen gelden voor nitraat (50 mg/L) en werkzame stoffen van gewasbeschermingsmiddelen in biociden (0,1 per stof en 0,5 µg/L in totaal). Daarnaast zijn voor chloride, nikkel, arseen, cadmium, lood, en fosfor (totaal) drempelwaarden vastgesteld. Een uitgebreide juridische kaderstelling voor kleinschalige opslag van water in de ondergrond is beschreven door Zuurbier et al. (2015). Dit kan als eerste uitgangspunt worden genomen in deze verkenning. RWZI-effluent is geconfronteerd tegen de kwaliteitseisen die zijn opgenomen in het Infiltratiebesluit (Bijlage VII). De parameters die de kwaliteitsnormen benaderen of overschrijden, of die aandacht vereisen bij de lokale situatie zijn opgenomen Tabel 5.17

Tabel 5.17: Concentraties in RWZI-effluent van parameters waarvoor de in het Infiltratiebesluit vermelde concentraties worden benaderd of overschreden (gebaseerd op Tabel 4.3, Tabel 4.4, Tabel 4.5, Tabel 4.7, en Bijlage VII).

Parameter	Eenheid	RWZI-effluent	Infiltratiebesluit
<b>Overschrijdende parameters</b>			
Zwevend stof	mg/L	3,0 – 4,2	0,5
P (tot)	mg P/L	1,1 – 1,7	0,4 (PO <sub>4</sub> )
Ammonium (NH <sub>4</sub> )	mg N/L	0,9 – 10,2	2,5
Cu	µg/L	0 – 22	15
Bestrijdingsmiddelen (totaal) <sup>2</sup>	µg/L	0 – 1,7	0,5
Mecoprop	µg/L	0 – 0,2	0,1
2-methyl-4-chloorfenoxiazijnzuur	µg/L	0 – 1,1	0,1
Chryseen	µg/L	0 – 0,04	0,02
Fenantreen	µg/L	0 – 0,03	0,02
Overige PAK's (totaal) <sup>3</sup>	µg/L	0 – 0,3	0,1
<b>Parameters die aandacht vereisen bij de lokale situatie</b>			
pH, Ca, Cl, HCO <sub>3</sub> , Na, NO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub>			

<sup>1</sup> In het infiltratiewater mag 70 dagen per jaar een concentratie aanwezig zijn boven de hier genoemde, waarbij de maxima van 2 mg/l niet overschreden mag worden.

<sup>2</sup> Som van concentraties van de bestrijdingsmiddelen die in het infiltratiebesluit zijn opgenomen, waarbij 0 wordt toegekend aan bepalingen waarvan het meetresultaat < detectiegrens is.

<sup>3</sup> Som van Fluorantheen, benzo(a)anthraceen, benzo(k)fluorantheen, benzo(a)pyreen, benzo(ghi)peryleen, en indeno(123cd)pyreen

Voor water dat wordt teruggevoerd naar de natuur of natte duinvalleien is aangenomen dat de kwaliteit gelijkwaardig moet zijn aan hemelwater. De kwaliteit van hemelwater aan de Nederlandse kust is opgenomen in Bijlage VIII. Hemelwater in Scheveningen en Wijk aan Zee is vergelijkbaar met dat op de Waddeneilanden, gezien de vergelijkbare afstanden tot de zee. De concentraties van zware metalen, nutriënten, OMIVE, en pathogenen zijn verwaarloosbaar. RWZI-effluent vereist dus in elk geval een zuivering op basis van deze parameters voordat het terug naar de natuur kan worden gevoerd. Ook chloride heeft een relatief hoge concentraties in RWZI-effluent.

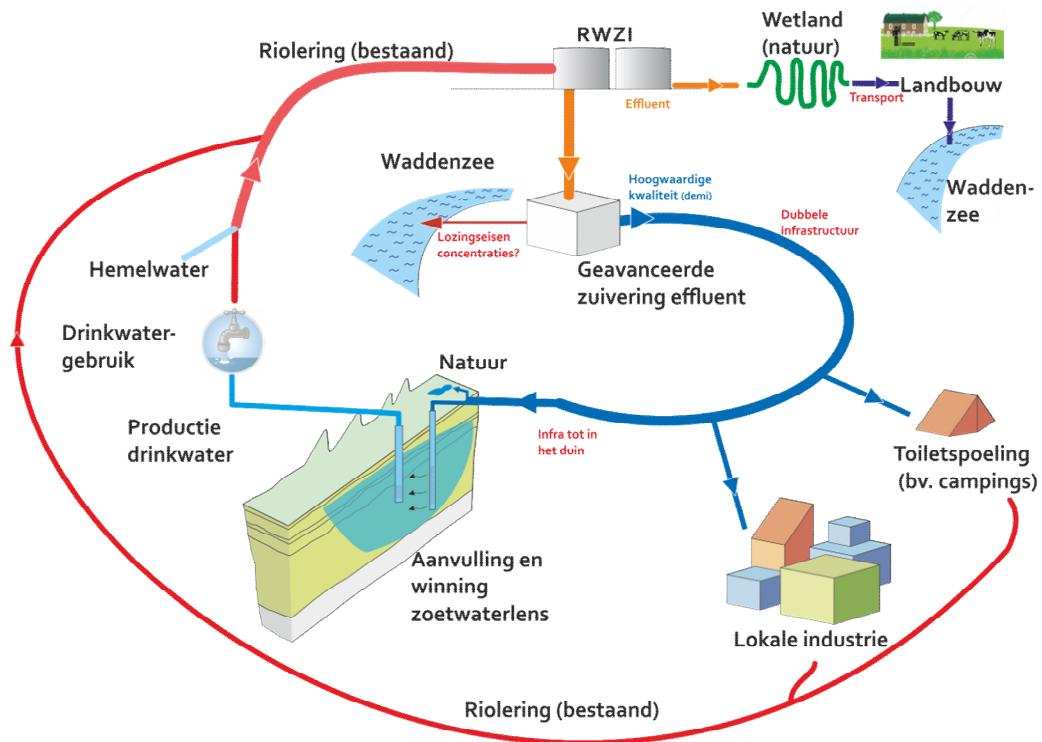
### 5.4.3 Zuiveringsmethode

Voor diepinfiltratie van RWZI-effluent zijn de zuiveringsstappen die zijn weergegeven in Tabel 5.8 vereist, behalve de actieve koolfiltratie. Voor het terugvoeren van RWZI-effluent naar de natuur / natte duinvalleien is een helofytenfilter mogelijk afdoende (zie 5.2.4).

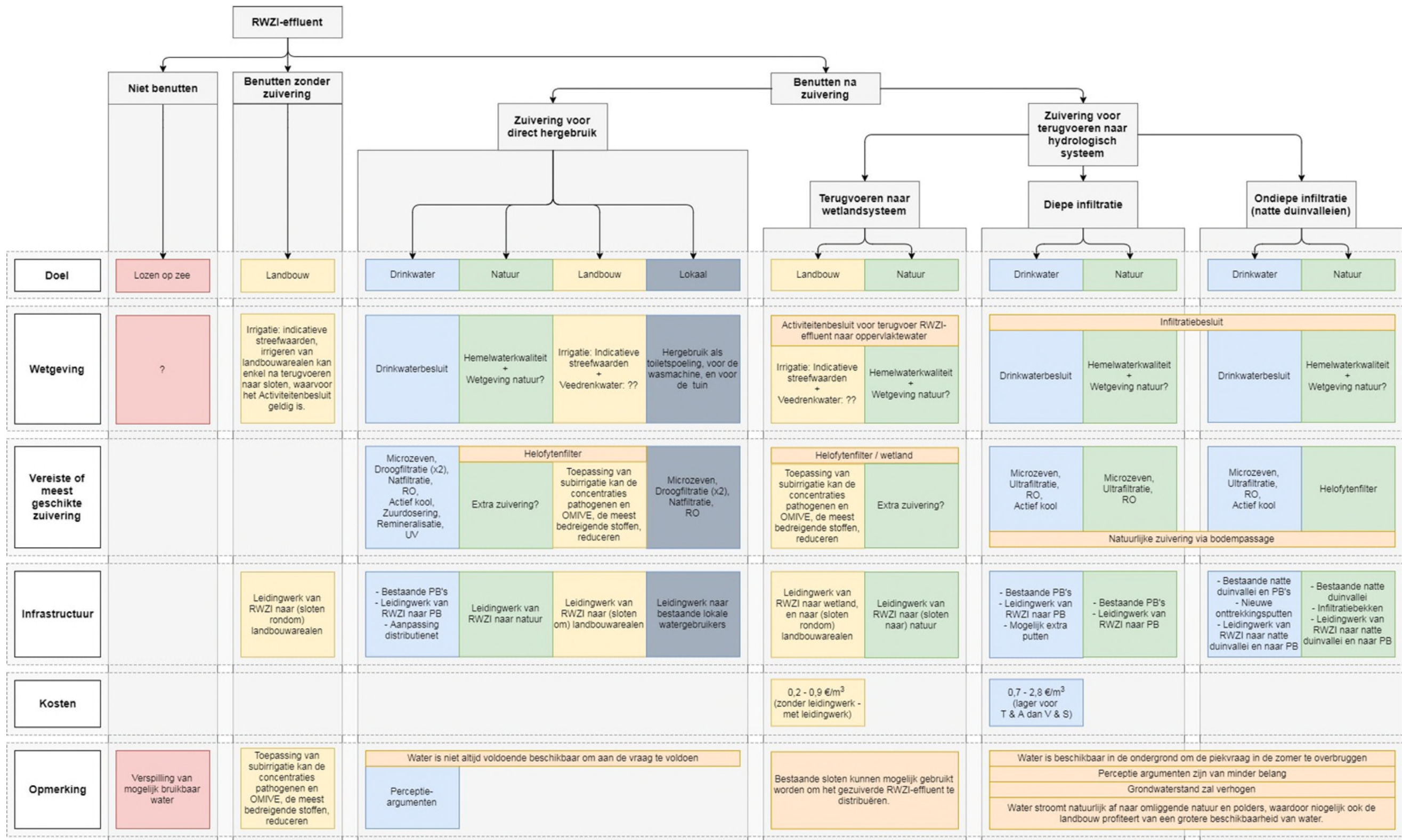


## 6 De praatplaat

Met de kennis die is gepresenteerd in voorgaande secties, is een eindbeeld geschetst van de mogelijkheden om RWZI-effluent te hergebruiken (Figuur 6.1 en Figuur 6.2). Deze figuren worden in de volgende secties nader toegelicht.



Figuur 6.1: Praatplaat voor hergebruik RWZI-effluent op de Waddeneilanden.



Figuur 6.2: Stroomschema behorend bij de praatplaat in Figuur 6.1.

### 6.1 Direct hergebruik

Direct hergebruik van RWZI-effluent is enkel mogelijk als het eerst wordt teruggevoerd naar het oppervlaktewater en van daaruit wordt ingezet als irrigatiewater voor de landbouw, bij voorkeur middels subirrigatie (Cirkel et al., 2017). Aangezien de nadelige effecten van pathogenen en organische microverontreinigingen te weinig bekend zijn bij deze toepassing, wordt aanbevolen om een voorzuiveringssysteem te realiseren.

### 6.2 Drinkwaterproductie en diepe infiltratie

De drinkwatervraag vormt gedurende het jaar de grootste vraag naar water op de Waddeneilanden. Om aan deze vraag te voldoen, kan gezuiverd RWZI-effluent qua kwantiteit daarom beter eerst worden hergebruikt om in de drinkwatervraag te voorzien.

Hoewel er gemiddeld voldoende RWZI-effluent beschikbaar is op de vier Friese Waddeneilanden om te voldoen aan de jaarlijkse drinkwatervraag, is de droogweerafvoer (DWA) van RWZI-effluent doorgaans niet toereikend voor de gehele drinkwatervraag. Bovendien moet men bij de zuivering van RWZI-effluent tot drinkwaterkwaliteit ook rekening houden met productieverliezen, welke worden geschat op ca. 20-25% en welke met name plaatsvinden bij omgekeerde osmose (RO) (zie sectie 5.1.4). In combinatie met een duurzame grondwaterwinning zal er echter ruim voldoende beschikbaar zijn. Vlieland en Schiermonnikoog zijn bovendien al zelfvoorzienend met een duurzame grondwaterwinning. De DWA op Terschelling en Ameland is groter dan het deel van de drinkwatervraag dat momenteel wordt ingevuld door de Wadleidingen. Met andere woorden, de Wadleidingen zijn kwantitatief gezien overbodig als RWZI-effluent wordt hergebruikt ten behoeve van de drinkwatervoorziening, zelfs wanneer het verlies van 20-25% tijdens de zuivering wordt meegerekend (zie sectie 5.1.4). Zo kunnen ook Terschelling en Ameland zelfvoorzienend worden door RWZI-effluent te hergebruiken in combinatie met een duurzame grondwaterwinning. Het vervangen van de Wadleidingen door een lokale zuivering heeft als bijkomend voordeel dat de kwaliteit van gezuiverd water relatief constant blijft in vergelijking met de kwaliteitsafname tijdens transport door de Wadleidingen.

Realisatie van effluentzuivering kan het beste vlak bij de RWZI plaatsvinden zodat reststromen van de zuivering eenvoudig terug kunnen naar de RWZI. De RWZI's staan echter niet naast de drinkwaterproductiebedrijven. Wanneer een zuivering voor hergebruik zonder bodempassage gerealiseerd gaat worden (5.1.4.1), is combinatie met de huidige grondwaterzuivering tevens onmogelijk vanwege de samenstelling van het gezuiverde RWZI-effluent. Daarom dient mogelijk een aanpassing gedaan te worden aan het transport/distributienet:

- Totaal gescheiden zuivering van RWZI-effluent en de huidige productie van drinkwater. Om de waterverdeling op eilanden zonder Wadleiding (Vlieland en Schiermonnikoog) te verbeteren, vereist het distributienet een aanpassing. Op de eilanden met een Wadleiding (Terschelling en Ameland), kan het boosterstation van de Wadleiding gebruikt worden voor distributie van gezuiverd RWZI-effluent. Er is in dat geval een extra transportleiding vereist van de effluentzuivering naar het boosterstation;
- Transportleiding voor drinkwater van de effluentzuivering naar de drinkwaterkelder van de huidige grondwaterzuivering. Door menging van beide watertypes voorafgaand aan de distributie zou mogelijk de remineralisatie stap (en de zuurdosering) in de zuivering van het effluent

kunnen vervallen. Bij de eilanden met een de Wadleiding (Terschelling en Ameland) is mogelijk een aanpassing van het distributiesysteem (pompen en net) vereist om het net hydraulisch ook te laten voldoen.

De kracht van hergebruik van RWZI-effluent voor de drinkwatervoorziening op de Friese Waddeneilanden ligt met name in het feit dat de pieken van vraag en aanbod logischerwijs goed met elkaar corresponderen. Desalniettemin wordt aanbevolen om RWZI-effluent terug te brengen naar het hydrologisch systeem middels diepe infiltratie alvorens het te gebruiken voor de drinkwatervoorziening. Dit heeft de volgende voordelen:

- Er is naar verwachting een minder uitgebreide zuivering noodzakelijk;
- Water is beschikbaar in de ondergrond, waardoor te allen tijde aan de variabele drinkwatervraag kan worden voldaan. De constante bron van gezuiverd effluent wordt zodoende omgezet naar een voorziening die pieken in de vraag kan opvangen. Daardoor is men tevens minder afhankelijk van de leveringszekerheid van een RWZI dan bij direct hergebruik van RWZI-effluent
- Bodempassage fungeert als aanvullende natuurlijke zuivering ('slot-op-de-deur'), en perceptie-argumenten zijn van minder belang;
- De grondwaterstand wordt verhoogd indien de aanvoer van gezuiverd effluent hoger is dan de winning van grondwater, wat een positieve invloed heeft op de natuur;
- Bij bewuste overinfiltratie op strategische plekken kan de hoeveelheid zoet uittreidend duinwater en afstromend oppervlaktewater toenemen, waardoor ook de landbouw in de polders kan profiteren van het hergebruiken van RWZI-effluent;
- Terugwinning van geïnfilterd water kan eventueel via putten van de huidige grondwaterwinning, en de al aanwezige pompstations kunnen vergroot en gebruikt worden voor de verdere zuivering en distributie van teruggewonnen water. Mogelijk zijn extra grondwaterputten noodzakelijk.
- Aanvulling van de zoetwaterlens zorgt mogelijk voor het tegengaan van zeewaterintrusie.

Alleen bij de eilanden met een Wadleiding (Terschelling en Ameland) is uitbreiding van de huidige grondwaterzuiveringscapaciteit en aanpassing van het distributienet om de waterverdeling te verbeteren noodzakelijk. Ook qua kosten is het met name voor deze twee eilanden interessant om RWZI-effluent te hergebruiken voor de drinkwatervoorziening, in verband met het schaalvoordeel. De uitgangspunten en berekeningen van de kosten voor het opwerken van RWZI-effluent naar een hoogwaardige kwaliteit voor infiltratie en drinkwatergebruik zijn opgenomen in Tabel 6.1, - Tabel 6.4 en Figuur 6.3. Voor dit scenario zijn de kosten benaderd voor de verschillende eilanden, aannemende dat actief koolfiltratie en extra winputten niet noodzakelijk zijn. Ook aanpassingen in nazuivering en distributie zijn hierin nog niet meegenomen. Deze kosten zijn zonder aanpassingen aan de huidige productielocaties. In Bijlage IX is een referentiekader opgenomen voor het zuiveren van afvalwater tot demiwaterkwaliteit.

Voor Terschelling en Ameland zijn grote volumestromen RWZI-effluent beschikbaar, welke resulteren in een relatief lage kostprijs (per m<sup>3</sup>). Op Vlieland en Schiermonnikoog lijkt de opwerking naar hoogwaardige kwaliteit (inclusief transport) relatief duur. De kosten zouden voor Terschelling en Ameland afgezet moeten worden tegen de kosten

van een nieuwe Wadleiding vanaf de vaste wal en de opwerking van (tijdelijke) overschotten van zoet oppervlaktewater tot drinkwater kwaliteit.

Voor dit scenario zijn de kosten benaderd voor de verschillende eilanden, aannemende dat actief koolfiltratie en extra winputten niet noodzakelijk zijn. Ook aanpassingen in nazuivering en distributie zijn hierin nog niet meegenomen.

Tabel 6.1: Algemene uitgangspunten voor de verkennende kostenbenadering voor een geavanceerde zuivering op de Waddeneilanden

<i>Elektriciteitsprijs</i>	0.1	€/kWh
<i>Afschrijving leidingwerk</i>	60	jaar
<i>Afschrijving civiel</i>	30	jaar
<i>Afschrijving WTB</i>	10	jaar
<i>Afschrijving waterwinmiddelen</i>	20	jaar
<i>Rente</i>	3.0%	
<i>Kosten utilities (bekabeling, PA etc.)</i>	15%	van directe kosten
<i>Uitvoering (ontwerp, installatie, constructie, management)</i>	40%	van directe kosten
<i>Onvoorzienne kosten</i>	15%	van directe + indirecte kosten
<i>Extra personeel (per eiland)</i>	0.5	FTE (=worst-case)
<i>Downtime zuivering</i>	5%	van de tijd
<i>Nauwkeurigheid</i>	+30 / -30%	
<i>Aantal infiltratieputten</i>	1	put per eiland
<i>Aantal extra winputten</i>	0	put per eiland
<i>Kosten zuivering (microzeven – UF – RO)</i>		Op basis van Bijlage IX
<i>Extra distributie</i>		Niet meegenomen

Tabel 6.2: Aangenomen productiedebieten van de zuivering en afstand tot de drinkwaterproductie.

Eiland	Debiet (m <sup>3</sup> /u)	Afstand productiebedrijf	Afstand puttenveld
Vlieland	10	1880	2500
Terschelling	40	1300	2070
Ameland - Buren	40	6030	6600
Schiermonnikoog	15	3070	3300

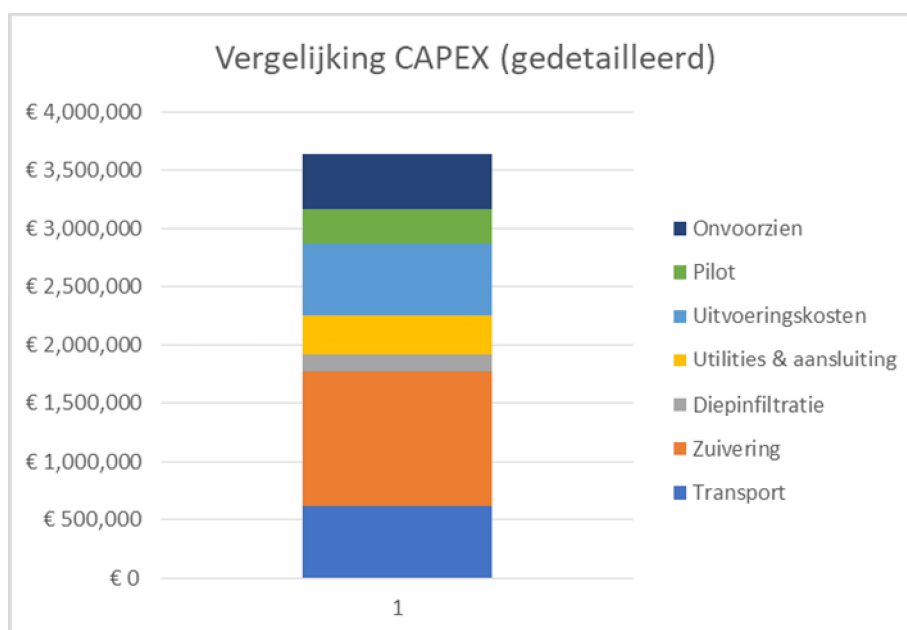
Tabel 6.3: Kosten bij levering aan Productiebedrijf als 'ruwwater'. NB: lokaal zal dan ook de productie- / pompcapaciteit (en distributie?) vergroot moeten worden.

Eiland	CAPEX M€	OPEX + Afschrijving k€/j	Kosten €/m <sup>3</sup>
Vlieland	3.3	204	2.45
Terschelling	3.1	227	0.68
Ameland	4.8	311	0.93
Schiermonnikoog	3.7	231	1.85



Tabel 6.4: Kosten bij diepinfiltratie nabij het puttenveld van de drinkwatervoorziening. NB: lokaal zal dan ook de productie- / pompcapaciteit (en distributie?) vergroot moeten worden.

Eiland	CAPEX M€	OPEX + Afschrijving k€/j	Kosten €/m <sup>3</sup>
Vlieland	3.8	236	2.84
Terschelling	3.6	261	0.78
Ameland	5.3	341	1.02
Schiermonnikoog	4.1	256	2.05



Figuur 6.3: Voorbeeld opbouw CAPEX Terschelling (geavanceerde zuivering i.c.m. diepinfiltratie nabij puttenveld)

### 6.3 Ondiepe infiltratie

Een alternatief op diepe infiltratie is ondiepe infiltratie door gezuiverd RWZI-effluent terug te voeren naar infiltratiebekkens in de natte duinvalleien. Veel van de voordelen van diepe infiltratie zijn ook geldig voor deze optie. Er dient echter meer aangepast te worden aan de huidige infrastructuur. Daarnaast zijn extra grondwateronttrekkingen in elk geval noodzakelijk en zal er meer ruimtebeslag zijn door infiltratiebekkens te realiseren. Daarom is deze optie niet verder geïnventariseerd in deze verkennende studie.

### 6.4 Wetlandstelsel

Het overschot aan RWZI-effluent of DWA dat niet wordt gezuiverd voor diepe infiltratie kan men terugvoeren naar een wetlandstelsel, vergelijkbaar met de waterharmonica (Schomaker et al., 2005; Van Tuijn, z.d.). Een dergelijk systeem zal als zuiveringssysteem werken voor met name nutriënten, organische microverontreinigingen, en pathogenen. Ook de grondwaterstand in de omgeving zal verhogen, wat een positieve invloed heeft op de natuur. Door het water vanaf een wetland via leidingwerk te transporteren naar de polders, kan ook de landbouw worden voorzien van extra water.

De eigenschappen en kostenberekeningen voor het realiseren van een wetland-zuiveringssysteem zijn opgenomen in Tabel 6.5, Tabel 6.6, en Figuur 6.4. Als voorbeeld is Terschelling doorgerekend. Hierbij is uitgegaan van een zuivering van 20 m<sup>3</sup>/u (480 m<sup>3</sup>/d). Hierbij is duidelijk dat vooral transportkosten (leidingwerk) een grote impact hebben op de CAPEX en daarmee de afschrijving. Indien transportkosten teruggebracht kunnen worden door meer transport via het oppervlaktewater, bijvoorbeeld bestaande sloten, te laten lopen, dan zouden de totale investeringskosten ook teruggebracht kunnen worden. Het huidige systeem is hiertoe echter niet ingericht.

Veel toegepast is waterharmonica als schakel tussen RWZI en oppervlaktewater met als vuistregels (<https://www.nemokennislink.nl/publicaties/de-waterharmonica/>):

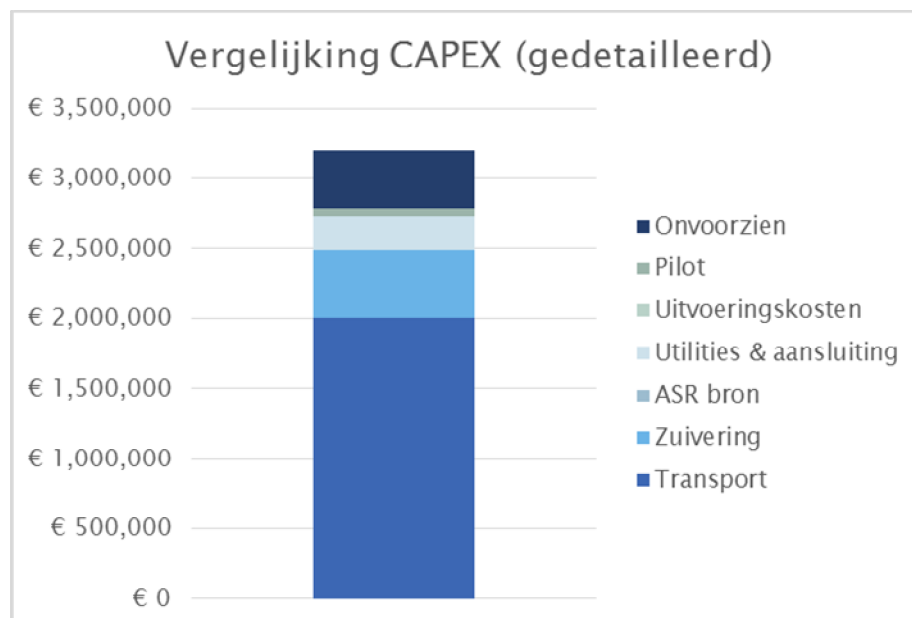
- Ruimtebeslag ca. 2.5 m<sup>2</sup> per inwoner
- Totale kosten: 0.05 euro/m<sup>3</sup> (bandbreedte 2-12 eurocent)

Tabel 6.5: Eigenschappen van een mogelijk wetlandstelsel met leidingwerk op Terschelling.

<b>Type</b>	Vloevelden	Langs de binnenduinrand om verschillende oppervlaktewatersystemen te voeden
<b>Kosten</b>	20 €/m <sup>2</sup>	
<b>Ontwerpnorm</b>	0.005 ha/m <sup>3</sup> /d	
<b>Leidingwerk</b>	8000 m	

Tabel 6.6: Geschatte CAPEX, OPEX, en totale kosten van een wetlandstelsel op Terschelling.

	CAPEX (M€)	OPEX + Afschrijving (k€/j)	Kosten (€/m <sup>3</sup> )
<b>Terschelling</b>	3.2	150	0.90



Figuur 6.4: Voorbeeld opbouw CAPEX Terschelling (Wetland + leiding naar landbouw).

### **6.5 Lokaal hergebruik**

Naast drinkwaterproductie en de landbouw, kan een overschot aan RWZI-effluent lokaal worden ingezet voor de industrie of voor de toeristische sector, waaronder campings, zwembaden, en linnenservices. Aanbevolen wordt om in dat geval een minder geavanceerde zuivering te realiseren, welke water zuivert tot een kwaliteit die geschikt is voor toiletspoeling, wasmachines, of tuin. Dit kan middels een centrale zuivering en een dubbele infrastructuur, of middels een lokale zuivering nabij de behoevende sectoren. De kwantiteit van dit doeleinde is lastig in te schatten, waardoor de kostenbenadering in deze verkennende studie achterwege is gelaten.

### **6.6 Aanvullende opmerkingen**

Bij de realisatie van een zuiveringssysteem op de Waddeneilanden dient rekening te worden gehouden met een hoger energieverbruik, met name bij een zuivering ten behoeve van de drinkwatervoorziening. Het zelfvoorzienend vermogen van de Waddeneilanden op het energievlak komt daardoor mogelijk in het gedrang. De zelfvoorziening op zowel het water- als energievlak dient daarom gezamenlijk te worden beschouwd in toekomstige studies.

Het concentraat dat overblijft na zuivering van RWZI-effluent kan worden benut voor de energievoorziening en voor hergebruik van andere grondstoffen. Alternatief is om het concentraat te lozen op de Waddenzee, zoals momenteel ook gebeurt met het RWZI-effluent. Het overschot aan afstromend oppervlaktewater kan tevens via de aanwezige infrastructuur worden geloosd op de Waddenzee.



# 7 Workshop: kansen en belemmeringen voor hergebruik van RWZI-effluent

## 7.1 Inleiding

Nadat de inventarisatie van mogelijkheden voor hergebruik van RWZI-effluent op de Friese Waddeneilanden was afgerond, zijn Vitens en Wetterskip Fryslân in de gelegenheid gesteld om op de inhoud van de conceptrapportage te reageren. De inhoudelijke commentaren zijn reeds verwerkt in de voorgaande hoofdstukken. Deze reacties vormden aanleiding om in een workshop met een bredere groep stakeholders de resultaten te bespreken, en te onderzoeken of er kansen zijn om het hergebruik van RWZI-effluent op één of meer van de eilanden concreet vorm te geven. Dit is in overeenstemming met de in februari 2019 vastgestelde Beleid- en beheernota Zuiveren van Wetterskip Fryslân, waarin als maatregel is opgenomen: "Wij onderzoeken samen met partners de mogelijkheden voor hergebruik van effluent op de Waddeneilanden".

De workshop vond plaats op dinsdag 24 september 2019 in Harlingen. Er waren vertegenwoordigers van de vier eilanden (Schiermonnikoog via de secretaris van het Landschapspark Schiermonnikoog), Vitens, Wetterskip Fryslân en natuurbeheersorganisaties. In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste uitkomsten van die workshop beschreven, welke zijn aangevuld met de relevante reacties van Vitens en Wetterskip Fryslân op de eerdere conceptrapportage.

In de ochtend van de workshop is meer in algemene zin besproken wat de mogelijkheden zijn voor hergebruik voor respectievelijk natuur, landbouw en drinkwater aan de hand van vier praatplaten (Bijlage X). Vragen die aan de orde kwamen:

- Hoe graag willen de eilanden zelfvoorzienend zijn?
- Hoe urgent is hergebruik van RWZI-effluent als alternatieve bron?
- Welke partij neemt het initiatief en het eigenaarschap op bij hergebruik van RWZI-effluent?
- Kan de RWA van de riolen worden afgekoppeld van de DWA om zo een betere waterkwaliteit (RWA) te kunnen benutten voor verschillende doeleinden? Dit zou wel leiden tot grotere afhankelijkheid van pieken in neerlag. Koppeling met ondergrondse berging zou dan wellicht noodzakelijk zijn.
- Welke andere bronnen zouden kunnen worden hergebruikt? Is de winning van brak grondwater bijvoorbeeld een optie op de eilanden?
- Hoe kan het huidige hydrologische systeem op andere manieren geoptimaliseerd worden om voldoende water voorhanden te hebben? Kijk hierbij vooral naar het bredere hydrologisch systeem en niet enkel naar het sluiten van de afvalwater-drinkwater kringloop.
- Wat voor initiatieven spelen er op het gebied van waterbesparing, en in hoeverre zou dat een uitkomst zijn voor de eilanden? Communicatie is vaker een inefficiënt middel gebleken voor waterbesparing. Kan een Deens model (meerkosten voor verbruik water/energie/gas) inspelen op het bewustzijn van eilandgasten?

- Wat is de staat van de huidige Wadleiding, en de visie op het vervangen ervan?
- Hoe kan de watervoorziening in de polders worden verbeterd? Sloten staan in de zomer droog en verzilt, wat negatief is voor de irrigatievraag van de landbouw. Aan de andere kant kan er in de winter wateroverlast ontstaan in de bebouwde omgeving. Deze wateroverlast kan worden versterkt door aanvulling van de zoetwaterlens.
- Wat is de invloed van zeespiegelstijging op de zoetwatervoorziening van de eilanden?

De middag werd benut om op de specifieke situaties van de afzonderlijke eilanden in te zoomen om te bezien of hier juist kansen of belemmeringen liggen.

## 7.2 Standpunten

Er is een gedeeld gevoel dat het zonde is om het RWZI-effluent, nadat het net gezuiverd is, af te voeren naar zee. Er is veel sympathie voor de ideeën en ook de toeristensector werkt in de praktijk al mee aan initiatieven om de gasten zorgvuldig met water om te doen gaan. Aan de andere kant wordt er weinig urgentie gevoeld om er echt iets mee te doen. De druk op de watervoorziening is echter wel groter geworden door de droogte van de afgelopen jaren, dus heeft het wel zin om hergebruik als optie in beeld te houden.

Verschillende partijen geven aan dat de kosten van het hergebruiken van RWZI-effluent een van de grootste obstakels vormt (Wetterskip, Vitens). Zo zal de zuivering een stap verder moeten gaan dan nu het geval is. Zeker als het water in het grond- en oppervlaktewater wordt gebracht moet 'vergrijzing' (sluimerende toename van een veelheid aan antropogene stoffen in het water) worden voorkomen. Kosten zijn echter een randvoorwaarde en niet een blokkade. Bovendien blijkt uit de vereenvoudigde berekeningen in dit rapport dat de kosten niet ongunstig uit hoeven te pakken. Subsidies zouden de kosten verder kunnen verlagen. De kosten moeten echter uitgezet worden tegen alternatieven, zoals het vervangen van een Wadleiding. Tijdens de workshop is het kostenplaatje verder niet geconcretiseerd.

Er zijn ook andere oplossingen voor waterschaarste. Waterbesparing kan bijdragen, maar in de praktijk levert dit maximaal een paar procent op. Regentonnen helpen, maar staan deels leeg in de droogste perioden. Per huis zou er een buffer moeten zijn van 5 à 10 m<sup>3</sup>, maar waar laat je die? Je zou decentraal grijs water kunnen produceren, dan bespaar je de transportkosten, maar in Nederland wil je dan toch een backup hebben, zodat er geen kosten worden bespaard.

De Wadden zijn in het kader van terugwinning van energie en grondstoffen geen interessante businesscase. De urgentie om het lozen van restverontreinigingen tegen te gaan ligt voor het Wetterskip bij RWZI's die op het binnenwater lozen, en dat is bij de Waddeneilanden niet het geval.

### 7.2.1 Toepassing in de landbouw

Op Terschelling is eerder een project geïnitieerd vanuit het Waddenfonds waarbij RWZI-effluent werd teruggevoerd naar de sloten in de polders, mede om de vissentrek te stimuleren (Wetterskip). De businesscase van dit natuurproject was rond maar de agrariërs besloten op het laatste moment, tot verrassing van de betrokken partijen, hun medewerking aan het project in te trekken. De betrokken agrariërs vertrouwen het water in de sloten niet, onder andere omdat het bij gebruik als veedrenkwater microbiologisch onbetrouwbaar zou kunnen zijn. Ook vanuit de gemeenten klinkt het

signaal dat agrariërs angstig zijn voor het onbekende en dat perceptie een grote rol speelt. Mogelijk is er ook niet helemaal goed gecommuniceerd, maar het heeft het Wetterskip wel ontmoedigd om al te snel een vergelijkbaar project op te zetten.

### 7.2.2 Toepassing als drinkwater

Vitens geeft aan (nog) niet te willen afwijken van de huidige vorm van drinkwaterwinning: grondwateronttrekkingen. Als de wadleiding defect raakt, zal in eerste instantie ook naar (zoet) grondwateronttrekking gekeken worden. Het is dan aan de Provincie om hier wel of niet een vergunning voor te verlenen. Ook gaf Vitens als reactie op een eerdere conceptrapportage aan een duurzame drinkwatervoorziening centraal te hebben staan. Daarbij is een wadleiding voor Vitens niet uitgesloten, en moet worden onderzocht of het behoud van deze leiding niet duurzamer is dan alternatieven. Vitens zal niet voor het einde van de technische levensduur tot wijziging van het drinkwaterleveringsconcept overgaan, maar wel voorbereidingen treffen.

Vitens heeft daarnaast slechte ervaringen met het gebruik van oppervlaktewater voor drinkwaterproductie middels oeverinfiltratie. Dit vormt momenteel een interne blokkade voor het hergebruiken van RWZI-effluent. Wel staat Vitens open voor diepinfiltratie van gezuiverd RWZI-effluent ten behoeve van de natuur, waardoor het hydrologisch systeem wordt gevoed door aanvulling van de zoetwaterlens. Dit kan een positieve invloed hebben op de grondwateronttrekkingen op de eilanden en verzilting door intrusie van zeewater kan worden tegengegaan. Bovendien neemt het overbruggingsvermogen in tijden van grote drinkwatervraag zo toe, en is men minder afhankelijk van de leveringszekerheid van RWZI-effluent zoals dat bij direct hergebruik het geval is. Vitens wil zo maatschappelijk verantwoord drinkwater leveren aan haar verzorgingsgebied.

Ook het Wetterskip gaf in een eerdere reactie op de conceptrapportage aan RWZI-effluent bij voorkeur niet te willen gebruiken voor de drinkwatervoorziening, maar wel open te staan voor infiltratie in de zoetwaterlens. De voordelen die zij daarbij zien bestaan met name uit de toenemende omvang van de zoetwaterlens en de grotere toestroom van zoetwater vanuit het duin naar de polders, wat de afstroom naar de Waddenzee kan compenseren. Daarnaast verwachten zij een groter draagvlak/acceptatie voor deze toepassing vanuit de gemeenschap dan bij het direct hergebruik van gezuiverd RWZI-effluent als drinkwater zonder het daarbij eerst naar de bodem te hebben geïnfiltrerd. Dit is ook het geval in Australië (sectie 2.1.3) en België (sectie 2.1.4).

Vanuit de gemeenten klinkt het signaal dat de lokale bevolking trots is op de drinkwaterwinning uit de zuivere grondwaterbron in de duinen. Het risico op bronvervuiling wordt te groot geacht wanneer men dit zuivere grondwater 'besmet' met water van alternatieve bronnen.

### 7.2.3 Toepassing voor de natuur

Natuurmonumenten (mede namens Staatsbosbeheer) geeft aan dat er effectief gezien geen noodzaak is voor het hergebruik van RWZI-effluent. Mogelijkheden moeten worden gezien binnen het watersysteem als geheel. Gezien op de hele omvang van de waterbalans van de eilanden vormt de hoeveelheid RWZI-water een te kleine fractie om het verschil te maken. Bovendien heeft men liever te maken met 'eigen' water. In vergelijking met de duinen in West-Nederland (waar water geïnfiltrerd wordt voor de

drinkwatervoorziening) heeft de natuur op de Waddeneilanden toch een ander karakter. Ondiepe infiltratie middels de natte duinvalleien lijkt daarom geen optie. Natuurmonumenten heeft geen bezwaren tegen diepinfiltratie. Op detailniveau zou RWZI-water mogelijk lokaal bij kunnen dragen aan een verbeterde situatie.

### 7.3 Kennisleemtes

Tijdens de inventarisatie en tijdens de workshop bleek dat een aantal zaken tot op heden nog onbelicht of onbekend zijn. Voor zover deze bij de workshop zijn besproken, bestaan deze uit de volgende kennisvragen:

- Wat is het (lange termijn) effect van diepinfiltratie van RWZI-effluent op de grondwaterkwaliteit? Moeten strengere eisen worden gehanteerd dan die in het infiltratiebesluit zijn opgenomen?
- Wat is het zuiveringsrendement van de bodem voor verschillende stoffen bij diepinfiltratie en bodempassage?
- Welke wet- en regelgeving moet worden gehanteerd bij het hergebruiken van RWZI-effluent omwille van de natuur?
- Wat is de microbiologische veiligheid van RWZI-effluent dat is gezuiverd middels helofytenfilters? Wat is het effect op organische microverontreinigingen?
- Wat zijn de risico's rondom gewasopname en veedrenkwater bij hergebruik van gezuiverd RWZI-effluent?
- Wat zijn de kosten voor hergebruik van RWZI-effluent (zuivering en distributie) voor verschillende doeleinden, en hoe wegen deze kosten af tegen de alternatieven en de instandhouding van de Wadleiding?
- Wat is het leidingwerk binnenshuis op de Friese Waddeneilanden en hoe kan dit mogelijk worden benut voor distributie van gezuiverd RWZI-effluent?
- Wat is het (lange termijn) effect van de huidige lozing van RWZI-effluent op de flora en fauna van de Waddenzee?

### 7.4 Uitwerking van kansen voor de afzonderlijke eilanden

#### 7.4.1 Vlieland:

De drinkwaterwinning en de RWZI liggen ver uit elkaar, zodat terugvoeren naar de waterwinning niet voor de hand ligt. Vlakbij de RWZI ligt een bedrijventerrein. Het is de vraag of hier veel water nodig is, mede omdat de linnenservice daar waarschijnlijk alleen een verzamelpunt is. Het is goed om bij revitalisering van het bedrijventerrein hier nog eens over na te denken. De grote camping heeft al een grijswater-circuit. Dit kan binnen de recreatiesector in het algemeen en op de andere eilanden mogelijk ook een uitkomst bieden.

Vanuit de RWZI het effluent terugvoeren om in het dorp gebruikt te kunnen worden als grijs water, zou mogelijk mee kunnen koppelen met het TEO-project (Thermische Energie uit Oppervlaktewater, in dit geval de Waddenzee) en de aanleg van het bijbehorende warmtenet. Binnenshuis moeten er dan nog wel kosten gemaakt worden om elke voorziening op het grijze circuit aan te sluiten.

#### 7.4.2 Terschelling:

Ook voor Terschelling wordt een TEO met warmtenet overwogen. In dat geval komt de warmtenet-leiding langs de west-oost weg over het eiland te lopen. Dat is ook de weg waarlangs de meeste toeristenvoorzieningen zitten die mogelijk op een grijs watercircuit aangesloten willen worden.

Vanuit de landbouw liep een hergebruiksproject een paar jaar geleden spaak, maar in de droge zomer van 2018 werd aangegeven dat er sprake is van verzilting. Mogelijk zou er langs deze weg alsnog belangstelling kunnen ontstaan voor zoet RWZI-water.

#### **7.4.3 Ameland:**

Voor Ameland worden weinig kansen gezien. We overwegen of op het smalste deel van het eiland de zoetwaterbel versterkt zou kunnen worden met RWZI-water, maar de boeren vinden de situatie daar nu al te nat. Op extra water zitten ze dan niet te wachten.

De wens van Ameland en Terschelling om binnen afzienbare tijd zelfvoorzienend te zijn qua watervoorziening, is een natuurlijk gevoel van eilandbewoners. Het is geen doel op zich, zeker niet als het andere nadelen genereert.

#### **7.4.4 Schiermonnikoog:**

Op Schiermonnikoog zijn de toeristenvoorzieningen te klein om onderdeel van een oplossing te zijn. Omdat de landbouwgronden wat hoger liggen dan andere eilanden (omdat ze later zijn ingedijkt), hebben ze eerder last van droogte. Mogelijk kan RWZI-water in de polder soelaas bieden. De boeren hebben besloten om gezamenlijk te extensiveren, maar de producten te verbreden door ze op het eiland zelf te verwerken, bijvoorbeeld tot kaas en bier. Dit levert een extra drinkwatervraag, maar als we opzoeken om hoeveel het gaat, blijkt dat wel mee te vallen.

Ook Vitens heeft voor Schiermonnikoog een opgave. De drinkwatervraag loopt tegen de vergunde hoeveelheid aan. De aanwezigen denken dat hier de meeste kans is op succes als de hele watersituatie integraal wordt beschouwd. Jan Luinstra, Durk Holwerda en Theun Miedema zullen een keer om tafel gaan om te bezien op welke manier hier een impuls aan gegeven kan worden.

### **7.5 Conclusies**

De deelnemers geven aan de dag als nuttig te hebben ervaren. Het was goed om alle betrokken partijen bijeen te hebben. Meerdere deelnemers geven aan nieuwe gezichtspunten te hebben opgedaan. Het is goed om weer eens over het onderwerp na te denken, ook omdat vanuit de maatschappij de vraag gesteld wordt waarom we het schoongemaakte water niet hergebruiken maar in zee lozen.

De urgentie om RWZI-water te gaan hergebruiken wordt nog niet overal gevoeld, of overal slechts een beetje. Daardoor voelt geen van de partijen zich verantwoordelijk dat het de handschoen oppakt. Hogere kosten worden als eerste horde opgeworpen. Ook deze workshop levert geen nieuwe initiatieven op.

Belangrijk is om een watersysteem zoals dat van de Waddeneilanden als geheel te zien. Deze studie geeft één van de bouwstenen. Het ziet er naar uit dat er op Schiermonnikoog op dit moment de meeste behoefte is aan zo'n brede beoordeling van het watersysteem.

## 8 Conclusies

In deze verkennende studie zijn de mogelijkheden geïnterpreteerd voor hergebruik van RWZI-effluent om de zelfvoorzienendheid van de Friese Waddeneilanden te vergroten. Daarnaast is op 24 september 2019 een workshop gehouden met Vitens, Wetterskip Fryslân, Provincie Fryslân, de gemeentes van de vier Friese Waddeneilanden, natuurbeheersorganisaties en KWR. De belangrijkste conclusies die uit de inventarisatie en de workshop volgen zijn als volgt:

- Hergebruik van RWZI-effluent is niet nieuw en wordt op verschillende plekken in de wereld reeds succesvol toegepast voor vele doeleinden, waaronder de productie van irrigatiewater, industriewater, en zelfs drinkwater.
- De Friese Waddeneilanden beschikken over eigen winningen in het duin, welke grondwater onttrekken uit de zoetwaterlens voor de productie van drinkwater. Op Terschelling en Ameland wordt deze productie aangevuld met water dat via de Wadleiding afkomstig is vanaf het vasteland.
- De Friese Waddeneilanden hebben allen een RWZI waarvan het RWZI-effluent momenteel wordt geloosd op de Waddenzee, wat door de verschillende partijen wordt gezien als waterverspilling. Na extra zuivering kan dit mogelijk worden benut voor verscheidende doeleinden. Er is voldoende RWZI-effluent beschikbaar op de eilanden om in combinatie met een duurzame grondwaterwinning te voorzien in de totale drinkwatervraag. Dit zou onderdeel kunnen zijn van een drinkwatervoorziening voor Terschelling en Ameland zonder wadleidingen. RWZI effluent behoeft een minder vergaande (aanvullende) zuivering als het wordt toegepast voor andere doeleinden dan drinkwater, zoals irrigatiewater of industriewater.
- Vanuit het volledige hydrologische systeem bekeken lijkt hergebruik van RWZI-effluent voor diepinfiltratie de meest kansrijke toepassing om de effecten van de huidige en toekomstige drinkwaterwinning op de eilanden tegen te gaan en de eilanden volledig zelfvoorzienend te maken. Deze aanvulling van de zoetwaterlens heeft als voordelen dat:
  - een ondergrondse buffer ontstaat die te allen tijden kan worden benut voor de drinkwatervoorziening tijdens watervraag;
  - bodempassage voor extra zuivering zorgt;
  - de grondwaterstand in het duin toeneemt, wat positief kan zijn voor de natuur;
  - de beschikbaarheid van zoet water in de polders groter wordt door afstroming;
  - intrusie van zeewater wordt tegengegaan door meer afstroming naar zee;
  - de zoetwaterlens versterkt wordt;
  - perceptie-argumenten voor hergebruik als drinkwater minder relevant zijn;
- Er zijn nog diverse kennisleemtes bij de verschillende vormen van hergebruik van gezuiverd RWZI-effluent, waaronder de mate van de zuiveringscapaciteit van wetlands en de ondergrond en de effecten op de grondwaterkwaliteit op de lange termijn. Deze kennisleemtes zullen moeten worden onderzocht voordat hergebruik in de praktijk een succes zal worden.

- Uit de workshop bleek dat de urgentie op de Friese Waddeneilanden (nog) niet hoog genoeg is om hergebruik van RWZI-effluent concreet vorm te geven. Bovendien is niet duidelijk welke partij het initiatief en eigenaarschap op zich neemt. Wel is de workshop een goed moment geweest om alle betrokken partijen bij elkaar te krijgen en dit thema aan te snijden. Het ziet er naar uit dat op Schiermonnikoog momenteel de meeste behoefte is aan een bredere beoordeling van het huidige watersysteem, waarbinnen de inzet van RWZI-effluent opnieuw overwogen kan worden.

## 9 Referenties

- Arens, S. M., Van den Burg, A. B., Esselink, P., Grootjans, A. P., Jungerius, P. D., Kooijman, A. M., ... & Van Oosten, H. H. (2009). Preadvies duin-en kustlandschap. Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.
- Blom, J., Vos, T., Krooneman, J., & van der Ham, A. (2003). Bereiding van industriewater uit rwzi-effluent. H2O, (23), 19-21.
- CBS, PBL, Wageningen UR, 2016. Capaciteit van afvalwaterzuiveringsinstallaties, 1980-2014 (indicator 0044, versie 17, 13 april 2016). [www.compendiumvoordeleefomgeving.nl](http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl). CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.
- Cirkel, G., Van den Eertwegh, G., Stofberg, S., Bartholomeus, R. (2017). Kennisdocument Hergebruik van Restwater voor de Landbouw-watervoorziening. BTO-rapport 2017.009, 91 pp.
- De Leeuw, C. C., Grootjans, A. P., Lammerts, E. J., Esselink, P., Stal, L., Stuyfzand, P. J., ... & Verbeek, S. K. (2008). Ecologische effecten van duinboog-en washoverherstel. Een verdiepende ecologische studie naar de mogelijke effecten van duinboog-en washoverontwikkeling op de Waddeneilanden Vlieland, Terschelling en Schiermonnikoog. RUG, Groningen.
- Dollery, R. (2018, 24 februari). How all Perth's sewage could be turned into drinking water. ABC. Geraadpleegd van: <http://www.abc.net.au/news/2018-02-25/how-all-perth-sewage-could-be-turned-into-drinking-water/9472046>
- Foekema E.M. (Ed). (2012). De invloed van moerassystemen op de milieukwaliteit van rwzi effluent en aanbevelingen tot optimalisering. IMARES rapport C005/12.
- Gross, D.A. (2016, 15 December). Recycling sewage into drinking water is no big deal. They've been doing it in Namibia for 50 years. PRI's The World. Geraadpleegd van: <https://www.pri.org/stories/2016-12-15/recycling-sewage-drinking-water-no-big-deal-theyve-been-doing-it-namibia-50-years>
- IWVA (2018). Hergebruik - een duurzame oplossing voor mens en natuur. IWVA. Geraadpleegd van: <https://www.iwva.be/drinkwater/waterwinning/hergebruik>
- Kok A. (2009). 50 Jaar drinkwater op Terschelling.
- Kok, A., Rus, J. S., & Haskoning, R. (2007). Verzilting boven zeeniveau op de Friese waddeneilanden. H2O, 40(19), 56.
- KWR (2017, 13 oktober). CoRe Water: van rwzi naar een duurzame waterfabriek. KWR Watercycle Research Institute. Geraadpleegd van: <https://www.kwrwater.nl/actueel/core-water-rwzi-naar-duurzame-waterfabriek/>



Law, I. B. (2003). Advanced reuse: from Windhoek to Singapore and beyond. *Water* May, 44-50.

Liefting, E. , H. De Man (2017) EmissieRegistratie Afvalwaterketen. Achtergrondrapport bij de in 2017 geactualiseerde factsheet 'Effluenten RWZI's, regenwaterriolen, niet aangesloten riolen, overstorten en IBA's'. Rapportnummer Deltares02\_R\_170615.

Meijer, L. (2006, 21 April). Duurzame bron of onnodig risico. Afstudeeronderzoek ter verkrijging van de ingenieurstitel. Technische Universiteit Delft. Geraadpleegd van: <http://www.leomeijer.com/Work/LM%20-%20DBOR%20-%20Verslag.pdf>

NWTR (2016). Puurwaterfabriek. NWTR. Geraadpleegd van: <https://www.nwtr.nl/puurwaterfabriek.php>

PUB (2018, 26 oktober). NEWater. PUB Singapore's National Water Agency. Geraadpleegd van: <https://www.pub.gov.sg/watersupply/fournationaltaps/newater>

Roorda, J. (2001). Nuttig gebruik van RWZI-effluent. *H2O*, (3), 19-21.

RVO (z.d.). Marsfabriek kiest voor meest duurzame afvalwaterzuivering. Rijksdienst voor ondernemend Nederland (RVO). Geraadpleegd van: <https://www.rvo.nl/actueel/praktijkverhalen/marsfabriek-kiest-voor-meest-duurzame-afvalwaterzuivering>

Schomaker, A.H.H.M., Otte, A.J., Blom, J.J., Claassen, T., Kampf, R. (2005). Waterharmonica: de natuurlijke schakel tussen waterketen en watersysteem. STOWA-rapport 2005-18, 172 pp.

Schreijer, M., Kampf, R., Verhoeven, J. T. A., & Toet, S. (2000). Nabehandeling van effluent tot bruikbaar oppervlaktewater in een moerassysteem met helofyten en waterplanten, Resultaten van een 4-jarig demonstratieproject op rwzi Eversteekoo, Texel. Edam en Utrecht, Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen en Universiteit Utrecht.

Schuurman, I.M. (2011). Benutting van afstromend zoet oppervlaktewater op Terschelling. Voor zelfvoorziening in drinkwater. MSc-thesis Hydrogeology VU Amsterdam, 73 pp.

Stuyfzand, P. J. (1993). Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands.

Stuyfzand, P. J., Amatsat, D., Estrada de Wagt, I., van Bloemendal Bland, C., Oskam, B., van Loon, D., ... & Grootjans, A. P. (2014). Zoet-zout gradiënten op 4 eilanden, in hydrologisch en hydrogeochemisch perspectief. KWR rapport BTO 2014.221 (s).

Van Dijk, J.C. (1993). Notitie hergebruik rioolwater op Vlieland. DHV Water BV, Dossier H8028-10-100, 45 pp.

Van Geel (2003). Brief van de Staatssecretaris van volkshuisvesting, ruimtelijke ordening, en milieubeheer. 26484: Toepassing huishoudwater. Overheid.nl. Geraadpleegd van: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-26484-9.html>

Van Tuijn, J. (z.d.). Hergebruik gezuiverd effluent blijft in Nederland een uitzondering; RWZI-water als zuivere bron, WaterForum Afvalwater. Geraadpleegd van: <http://edepot.wur.nl/398031>

Veering, A. (z.d.). MBR Terneuzen klaar voor start. DeltaForum, WaterForum. Geraadpleegd van: <http://edepot.wur.nl/398615>

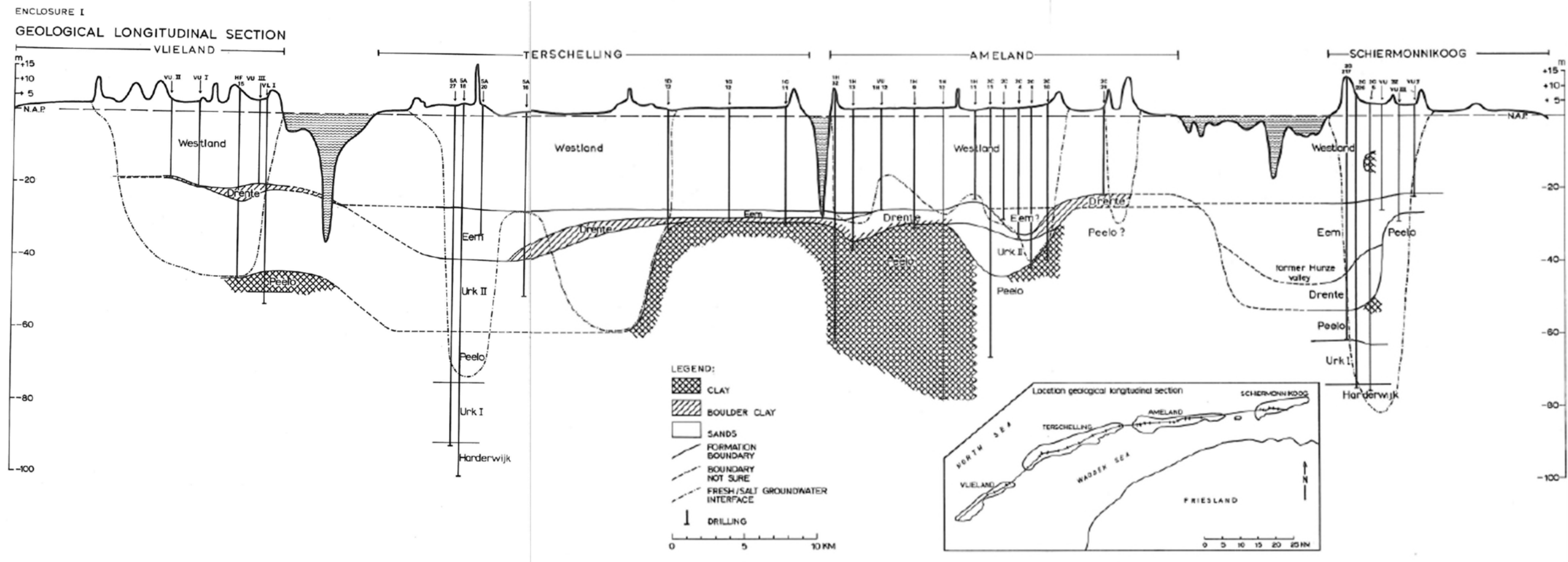
Vonk, E., Cirkel, D.G., Leunk, I. (2017). De gevolgen van klimaatverandering en vakantiespreiding voor de drinkwatervraag Kennisdocument. BTO-rapport 2017.043, 54 pp.

Voorthuizen, E., Zilverentant, A., Ijpelaar, G. (2013). Verkenning mogelijkheden 'grondstof RWZI'. STOWA-rapport 2013-31. Geraadpleegd van: <http://edepot.wur.nl/286966> .

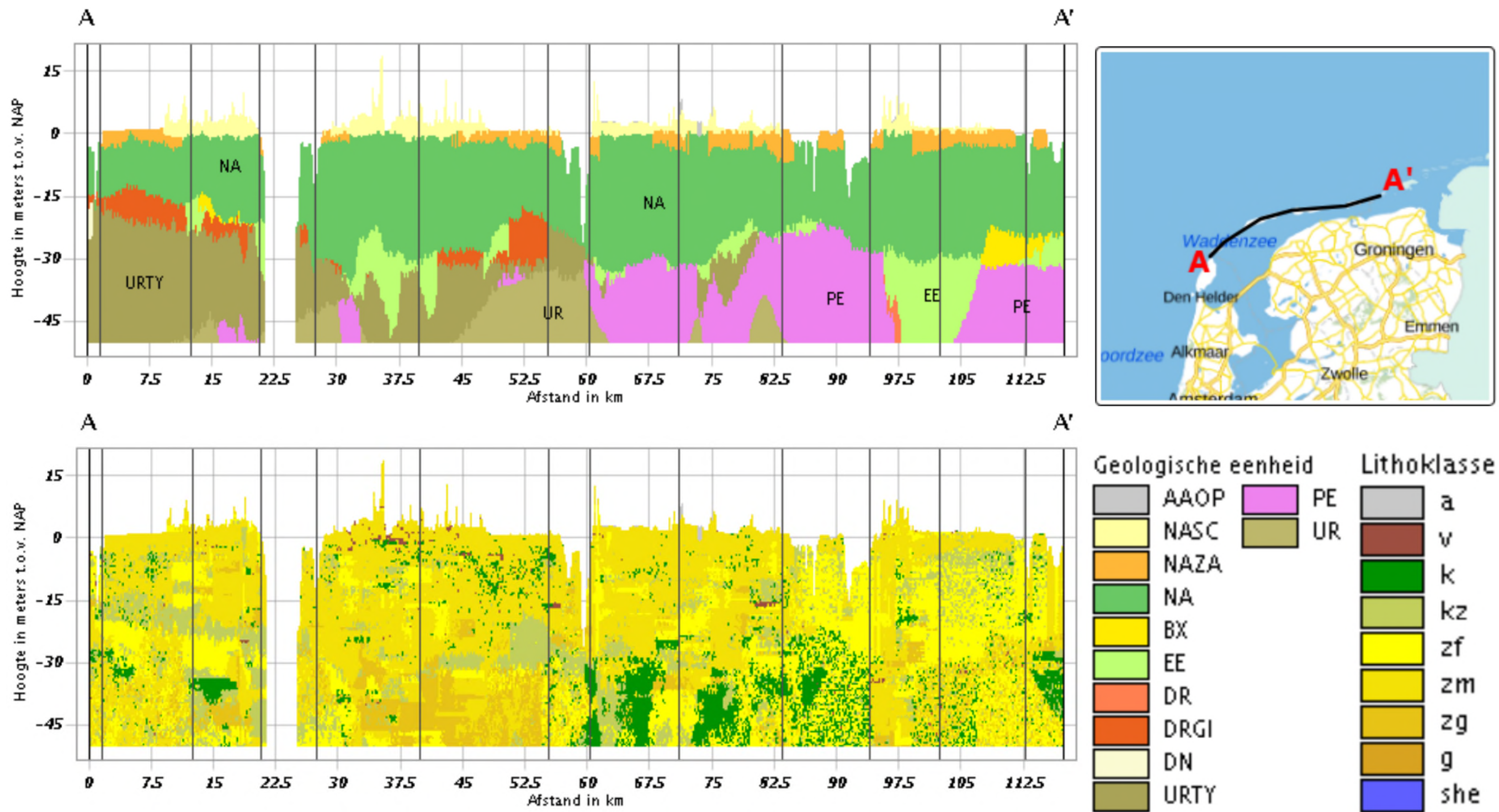
Zuurbier, K., van der Schans, M., Paalman, M., de Putter, P., te Winkel, T., Velstra, J., & Oude Essink, G. (2015). Technischjuridische handreiking risicobeoordeling 'ondergrondse waterberging'. Stowa rapport, 35. <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202015/STOWA%202015-35.pdf>

## Bijlage I Geologische opbouw van de Friese Waddeneilanden

Afzettingen binnen een diepte van 100 meter onder het maaiveld van de Friese Waddeneilanden dateren van het Pleistoceen en het Holoceen (Figuur 9.1 en Figuur 9.2). In de eerste 15 tot 30 meter van de ondergrond zijn voornamelijk fijn- tot grofzandige strand-, kustduin- en geulafzettingen te vinden die behoren tot de Naaldwijk formatie. Lokaal zijn ook klei of veenlagen aanwezig. Onder de Naaldwijk Formatie (>15 m-mv) bevinden zich matig fijn- tot grofzandige afzettingen van de discontinue mariene Eem Formatie. Discontinue slecht doorlatende lagen zijn daaronder aanwezig en behoren tot de Peelo en Drente formaties. Deze bestaan veelal uit glaciële sedimenten zoals keileem en zware potklei, afgezet tijdens het Pleistoceen. Onder West-Terschelling, centraal-Ameland, en Schiermonnikoog bestaat de Peelo formatie echter ook uit grof zand met grind. Op grotere dieptes (>20 m beneden NAP) zijn fluviale afzettingen van de Urk formatie te vinden die ook voornamelijk uit matig fijn tot grof zand en grind bestaan. Op Ameland en West-Terschelling worden de slecht doorlatende Drente en Peelo formaties tevens gescheiden door de Urk formatie, waardoor er niet één, maar twee gespannen aquifers aanwezig zijn in de ondergrond (Figuur 3.5).



Figuur 9.1: Dwarsdoorsnede door de vier Friese Waddeneilanden (uit Beukeboom, 1976).



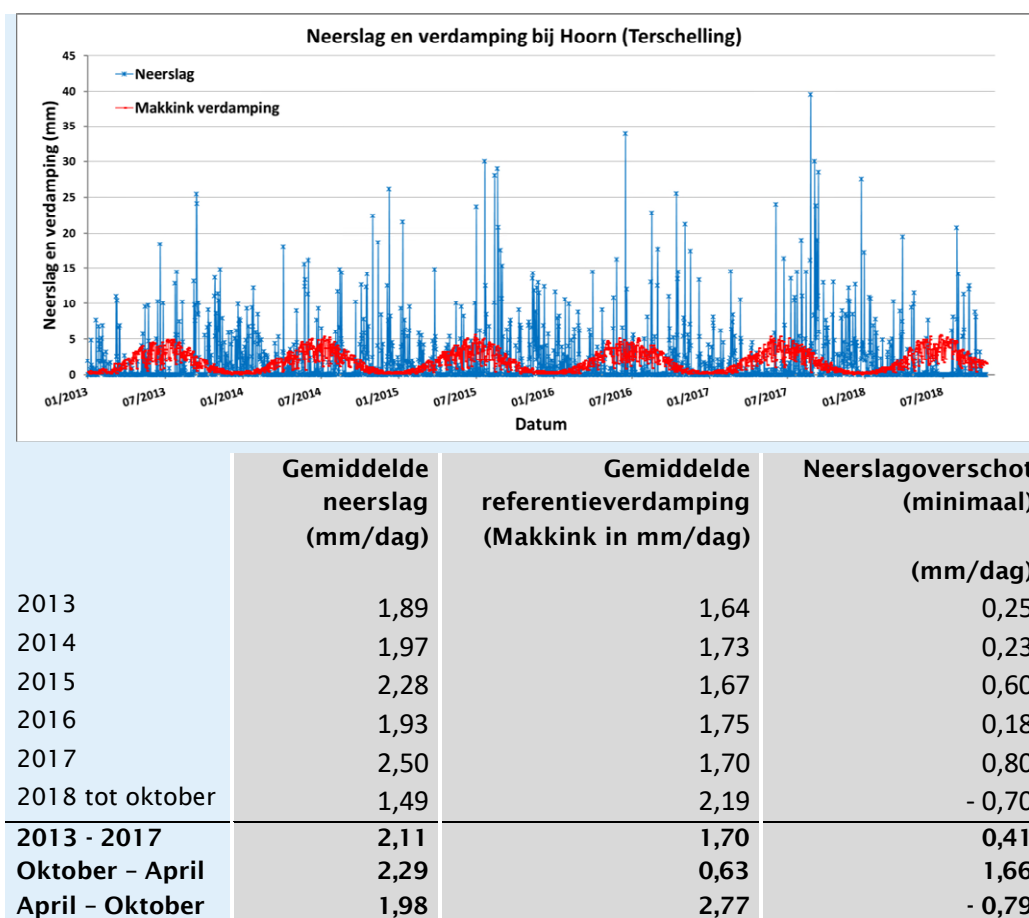
Figuur 9.2: Dwarsdoorsnede door de vier Friese Waddeneilanden (rechtsboven) met daarin de geologische eenheden (linksboven), de meest waarschijnlijke lithoklassen (linksonder), en de bijbehorende legenda's (rechtsonder) (GeoTOP v1.3).



## Bijlage II Meteorologie van de Friese Waddeneilanden

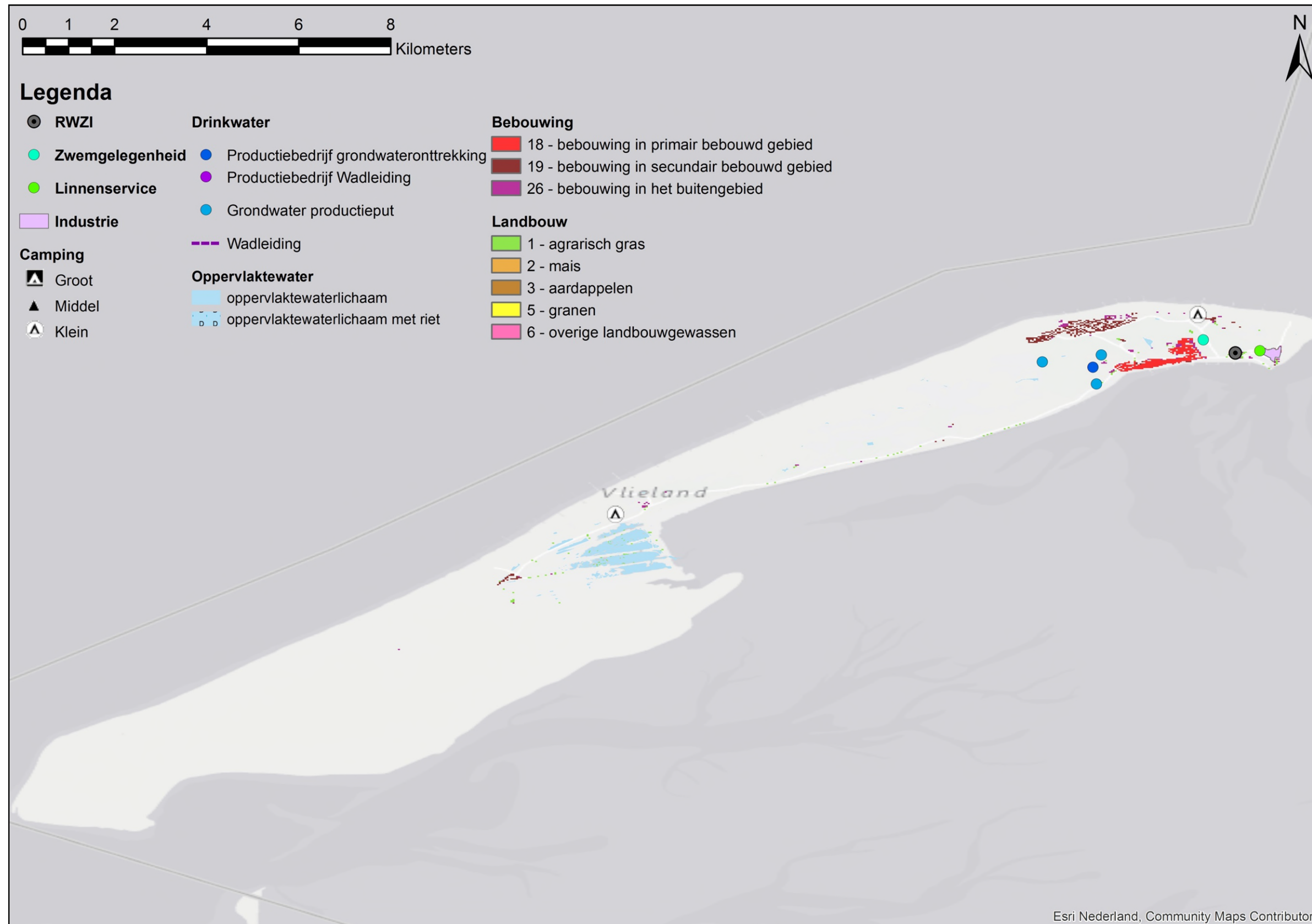
De neerslag en de referentieverdamping zijn op de Friese Waddeneilanden gemonitord bij het KNMI-station van Hoorn op Terschelling. De gemiddelde daggegevens die zijn gemeten op dit station zijn weergegeven in Figuur 9.3.

Gemiddeld valt er 2,1 mm neerslag per dag en beslaat de referentieverdamping 1,7 mm/dag. In de periode oktober t/m april valt er gemiddeld meer neerslag (2,3 mm/dag) en is de referentieverdamping laag (0,6 mm/dag), terwijl er in de periode april t/m oktober juist minder neerslag valt (2,0 mm/dag) en de referentieverdamping hoger is (2,77 mm/dag). Dit resulteert in een jaarlijks gemiddeld neerslagoverschot van 0,41 mm/dag. Tussen oktober en april bedraagt het neerslagoverschot 1,66 mm/dag, terwijl tussen april en oktober het neerslagtekort gelijk is aan 0,79 mm/dag. Deze inschatting van het neerslagoverschot is minimaal, omdat de referentieverdamping hoger is dan de potentiële en actuele verdamping, welke afhankelijk zijn van gewas en bodemtype.



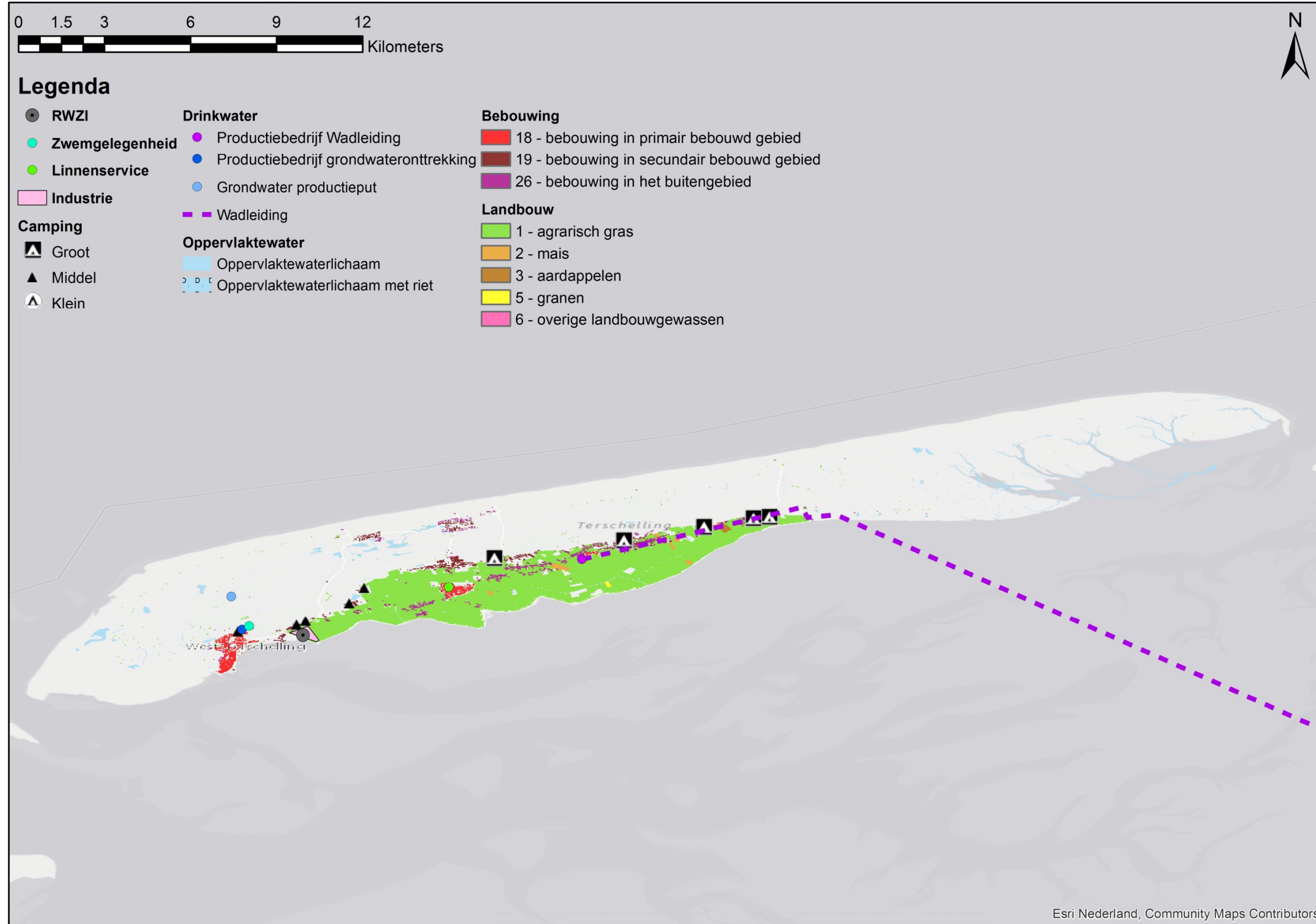
Figuur 9.3: Neerslag en verdamping gemeten bij het KNMI-station bij Hoorn op Terschelling.

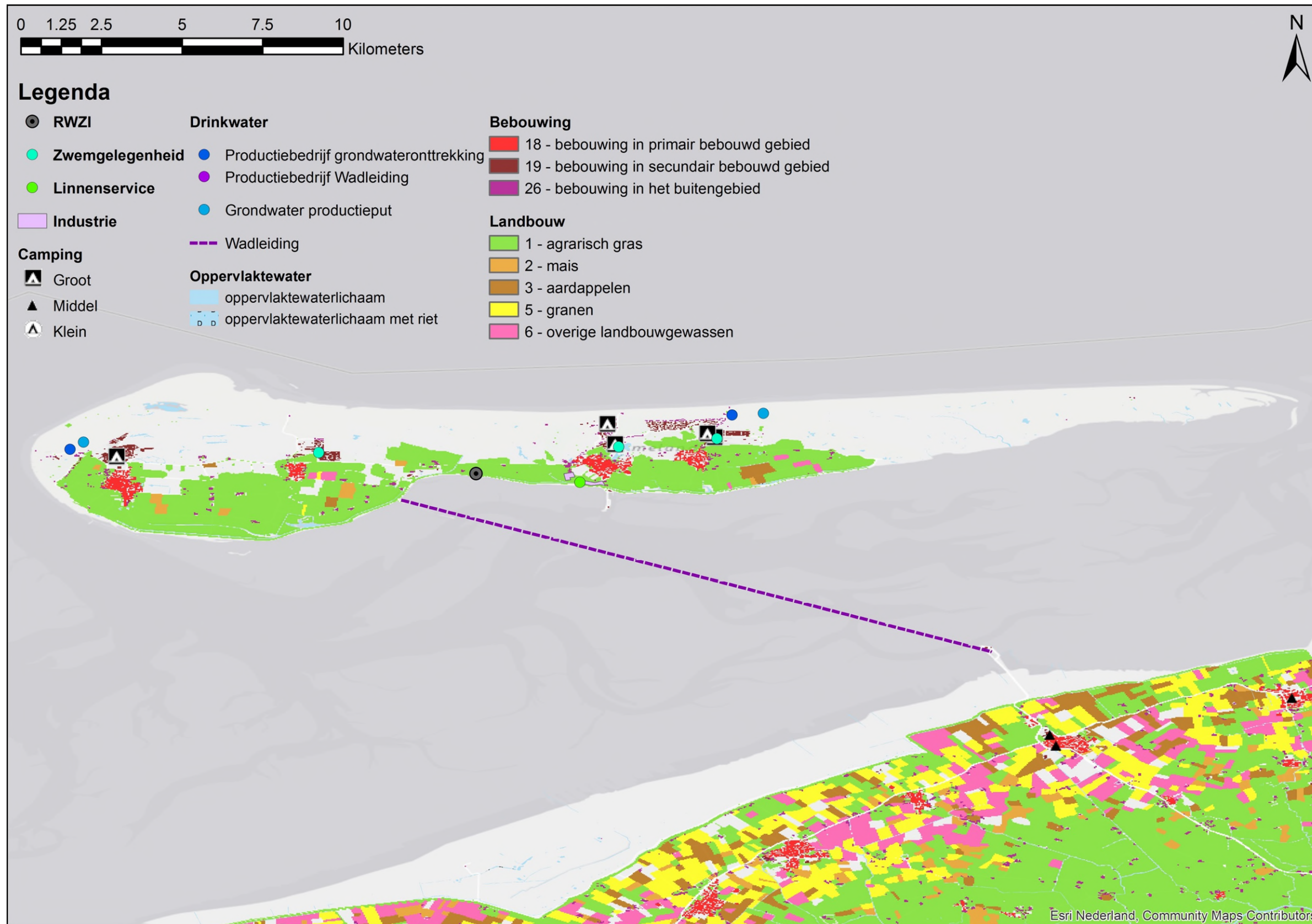
## **Bijlage III Overzichtskaarten van de Friese Waddeneilanden, met daarin de RWZI's en de belangrijkste watergebruikers en waterleveraars**



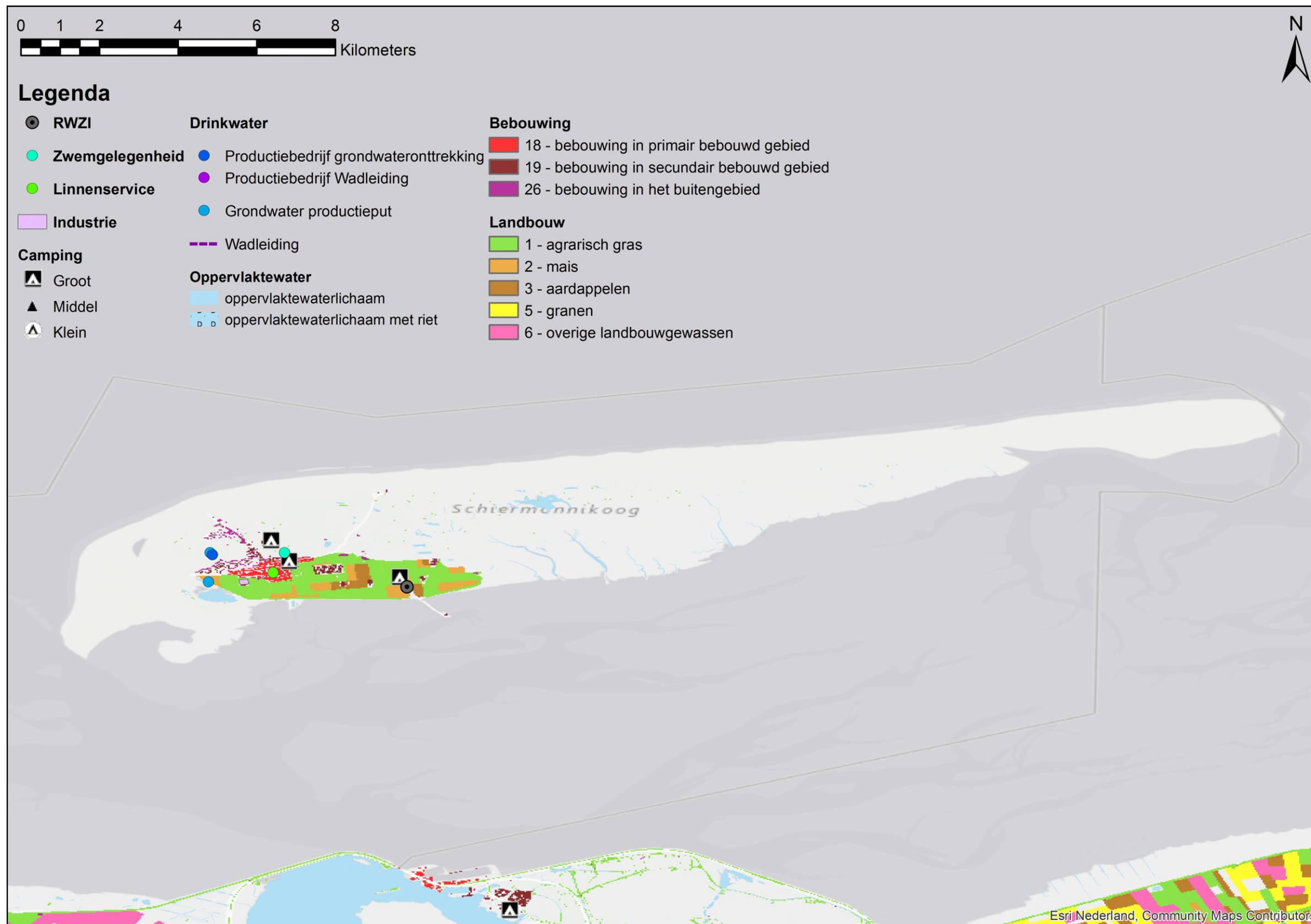
**CONCEPT**











## Bijlage IV Paragraaf 3.1.4a, artikelen 3.5e-3.5g uit het Activiteitenbesluit

### Activiteitenbesluit milieubeheer Geldend van 01-01-2018 t/m heden

#### Artikel 3.5e

1. Bij het lozen in een oppervlaktewaterlichaam wordt ten minste voldaan aan het tweede tot en met zevende lid.
2. Een zuiveringstechnisch werk wordt zodanig ontworpen, gebouwd, geëxploiteerd en onderhouden dat onder alle normale plaatselijke weersomstandigheden de doelmatige werking daarvan is gewaarborgd, ongebruikelijke situaties daarbij buiten beschouwing gelaten.
3. De plaats van de lozing en de benedenstroomse afvoer zijn van dien aard dat nadelige gevolgen voor de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewaterlichaam worden voorkomen dan wel voor zover dat niet mogelijk is zoveel mogelijk worden beperkt.
4. Stedelijk afvalwater met een vervuilingswaarde van 2.000 inwonerequivalenten of meer ondergaat in een zuiveringstechnisch werk een zodanige behandeling, dat het voorafgaand aan het lozen in een oppervlaktewaterlichaam ten minste voldoet aan de volgende grenswaarden:

Parameters	Grenswaarde in etmaalmonster	Grenswaarde als voortschrijdend jaargemiddelde
Biochemisch zuurstofverbruik (BZV <sub>5</sub> bij 20 °C) zonder nitrificatie	20 milligram O <sub>2</sub> per liter	
Chemisch zuurstofverbruik (CZV)	125 milligram O <sub>2</sub> per liter	
Totale hoeveelheid onopgeloste stoffen	30 milligram per liter	
Totaal fosfor (ontwerpcapaciteit van meer dan 100.000 inwonerequivalenten)		1,0 milligram per liter
Totaal fosfor (ontwerpcapaciteit van 2.000 tot en met 100.000 inwonerequivalenten)		2,0 milligram per liter
Totaal stikstof (ontwerpcapaciteit van 20.000 inwonerequivalenten of meer)		10 milligram per liter
Totaal stikstof (ontwerpcapaciteit van 2.000 tot 20.000 inwonerequivalenten)		15 milligram per liter

5. De beoordeling of bij het lozen wordt voldaan aan de grenswaarden, genoemd in het vierde lid, geschiedt overeenkomstig de bij ministeriële regeling gestelde eisen.
6. Het bevoegd gezag kan, indien het belang van de bescherming van de kwaliteit van het oppervlaktewaterlichaam daartoe noodzaakt, bij maatwerkvoorschrift lagere grenswaarden vaststellen dan de grenswaarden, genoemd in het vierde lid.
7. Het bevoegd gezag kan bij maatwerkvoorschrift op verzoek van het openbaar lichaam of een andere rechtspersoon die krachtens artikel 3.4 van de Waterwet is belast met de zorg voor een zuiveringstechnisch werk, de grenswaarden voor de concentraties totaal fosfor en totaal stikstof, genoemd in het vierde lid, niet van toepassing verklaren en hogere grenswaarden vaststellen dan de grenswaarden, bedoeld in dat lid, indien het percentage van totaal fosfor onderscheidenlijk totaal stikstof dat uit het stedelijk afvalwater wordt verwijderd en dat op de onder de zorg van hetzelfde openbaar lichaam of dezelfde andere rechtspersoon staande gezamenlijke zuiveringstechnische werken wordt aangevoerd, ten minste 75 procent bedraagt en het een zuiveringstechnisch werk betreft:
  - a. dat voor 1 september 1992 in bedrijf is genomen en waarvan de ontwerpcapaciteit sinds die datum met niet meer dan 25 procent is uitgebreid, of
  - b. met een ontwerpcapaciteit van minder dan 20.000 inwonerequivalenten.

---

## **Activiteitenbesluit milieubeheer Geldend van 01-01-2018 t/m heden**

---

### **Artikel 3.5f**

1. Voor de toepassing van dit artikel wordt onder «voorzienbare bijzondere bedrijfsomstandigheden bij een zuiveringstechnisch werk» verstaan: andere dan de reguliere bedrijfsomstandigheden, niet zijnde een ongewoon voorval, zoals onderhouds- en reparatiewerkzaamheden, waardoor onderdelen van het zuiveringsproces tijdelijk buiten bedrijf worden gesteld.
2. In het geval van voorzienbare bijzondere bedrijfsomstandigheden als bedoeld in het eerste lid die gevolgen kunnen hebben voor de kwaliteit van het na zuivering te lozen afvalwater, kan het bevoegd gezag op verzoek van het openbaar lichaam of een andere rechtspersoon die krachtens artikel 3.4 van de Waterwet is belast met de zorg voor een zuiveringstechnisch werk voor een door hem vast te stellen periode bij maatwerkvoorschrift de grenswaarden, genoemd in artikel 3.5e, vierde, zesde of zevende lid, niet van toepassing verklaren en hogere grenswaarden vaststellen alsmede tijdelijk aanvullende maatregelen voorschrijven om de nadelige gevolgen voor de waterkwaliteit zoveel mogelijk te beperken.

---

## **Activiteitenbesluit milieubeheer**

### **Geldend van 01-01-2018 t/m heden**

---

#### **Artikel 3.5g**

1. Het openbaar lichaam of een andere rechtspersoon welke krachtens artikel 3.4 van de Waterwet is belast met de zorg voor een zuiveringstechnisch werk voor de behandeling van stedelijk afvalwater met een vervuilingswaarde van 2.000 inwonerequivalenten of meer bemonstert zowel het inkomende, onbehandelde stedelijk afvalwater als het te lozen gezuiverde stedelijk afvalwater, analyseert de monsters en beoordeelt de resultaten daarvan overeenkomstig de bij ministeriële regeling gestelde eisen.
2. Het openbaar lichaam of een andere rechtspersoon als bedoeld in het eerste lid legt binnen vier maanden na afloop van ieder kalenderjaar aan Onze Minister een overzicht over van de onder zijn zorg staande zuiveringstechnische werken en van de resultaten van de bemonstering, analyse en beoordeling, bedoeld in dat lid.

## Bijlage V Bijlage A uit het Drinkwaterbesluit (geldend van 1/7/2018 – heden)

**Tabel I. Microbiologische parameters**

Parameter	Maximum waarde	Eenheid	Opmerkingen
<i>Escherichia coli</i>	0	kve/100 ml	kve = kolonievormende eenheden
Enterococcen	0	kve/100 ml	
Cryptosporidium	–		Noot 1
(Enterovirussen	–		Noot 1
Giardia	–		Noot 1
Campylobacter	–		Noot 1
Bacteriofagen	–	pve/l	pve = plaquevormende eenheden Noot 1

**Noot:**

<sup>1)</sup> Micro-organismen mogen krachtens artikel 21, eerste lid, en artikel 25 van de wet, niet in een zodanige concentratie in het drinkwater voorkomen dat nadelige gevolgen voor de volksgezondheid kunnen ontstaan. Voor bepaalde micro-organismen, zoals virussen en protozoa (onder meer *Cryptosporidium* en *Giardia*), is het niet mogelijk om concentraties te meten op het zeer lage niveau, waarop blootstelling relevant is voor de gezondheid van de gebruiker. In plaats hiervan dient de eigenaar die gebruik maakt van oppervlaktewater als grondstof voor de bereiding van drinkwater op basis van metingen van de desbetreffende micro-organismen in de grondstof en gegevens over de verwijderingscapaciteit bij de verschillende zuiveringsprocessen (inclusief eventuele bodempassages) in overleg met de inspecteur een kwantitatieve risicoanalyse voor het bereide drinkwater op te stellen. De VROM-Inspectierichtlijn «Analyse microbiologische veiligheid drinkwater» dient hiertoe gebruikt te worden. Voor het door middel van deze risicoanalyse berekende theoretische infectierisico geldt een grenswaarde van één infectie per 10 000 personen per jaar. De toetsing aan deze grenswaarde voor het infectierisico dient in elk geval te worden uitgevoerd voor Enterovirussen, *Cryptosporidium* en *Giardia*, maar geldt in principe ook voor andere pathogene micro-organismen. Indien het berekende infectierisico groter is dan de genoemde grenswaarde, dient de eigenaar met de inspecteur te overleggen over te nemen maatregelen. De inspecteur kan bepalen dat voor kwetsbare grondwaterwinningen eenzelfde risicoanalyse wordt uitgevoerd. Tot de groep van bacteriofagen worden in elk geval gerekend de somatische colifagen en de F-specifieke bacteriofagen.

Tabel II. Chemische parameters

Parameter	Maximum waarde	Eenheid	Opmerkingen
Acrylamide	0,10	µg/l	Noot 1
Antimoon	5,0	µg/l	
Arseen	10	µg/l	
Benzeen	1,0	µg/l	
Benzo(a)pyreen	0,010	µg/l	
Boor	0,5	mg/l	
Broomaat	1,0	µg/l	Bij desinfectie geldt een maximale waarde van 5,0 µg/l (als 90 percentielwaarde, met een maximum van 10 µg/l)
Cadmium	5,0	µg/l	
Chroom	50	µg/l	
Cyaniden (totaal)	50	µg/l	Noot 3
1,2-Dichloorethaan	3,0	µg/l	
Epichloorhydrine	0,10	µg/l	Noot 1
Fluoride	1,0	mg/l	
Koper	2,0	mg/l	Noot 2
Kwik	1,0	µg/l	
Lood	10	µg/l	Noot 2
Nikkel	20	µg/l	Noot 2
Nitraat	50	mg/l	Noot 4
Nitriet	0,1	mg/l	Noot 4
N- nitrosodimethylamine (NDMA)	12	ng/l	
Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) (som)	0,10	µg/l	Som van gespecificeerde verbindingen met concentratie hoger dan de detectiegrens. Noot 5
Polychloorbifenylen (PCB's) (individueel)	0,10	µg/l	Per stof.
PCB's (som)	0,50	µg/l	Som van gespecificeerde verbindingen met concentratie > 0,05 µg/l. Noot 6
Pesticiden (individueel)	0,10	µg/l	Per stof. Noot 7. Voor aldrin, dieldrin, heptachloor en heptachloorepoxide geldt een maximum waarde van 0,030 µg/l.
Pesticiden (som)	0,50	µg/l	Som van afzonderlijke pesticiden met concentratie hoger dan de detectiegrens.
Seleen	10	µg/l	
Tetra- en trichlooretheen (som)	10	µg/l	
Trihalomethanen (som)	25	µg/l	Noot 8
Vinylchloride	0,10	µg/l	Noot 1



*Noten:*

- 1) Deze parameterwaarde heeft betrekking op de residuele monomeerconcentratie in het water, berekend aan de hand van specificaties inzake de maximum migratie van de overeenkomstige polymeer in contact met water, of betreft een feitelijk gemeten waarde.*
- 2) Deze waarde geldt voor een monster van voor menselijke consumptie bestemd water dat via een passende steekproefmethode aan de kraan verkregen is, en dat representatief mag worden geacht voor de gemiddelde waarde die de gebruiker wekelijks binnen krijgt. Deze methode is beschreven in de «VROM-Inspectierichtlijn Harmonisatie Meetprogramma Drinkwaterkwaliteit».*
- 3) Met behulp van de methode moet het totaal aan cyanide in elke vorm worden bepaald.*
- 4) Ten aanzien van de concentraties nitraat en nitriet dient tevens te worden voldaan aan de voorwaarde dat  $[\text{nitraat}]/50 + [\text{nitriet}]/3 < 1$ , waarbij de rechte haken de concentratie in mg/l uitdrukken, voor nitraat in NO<sub>3</sub>, en voor nitriet in NO<sub>2</sub>.*
- 5) De gespecificeerde verbindingen zijn: pyreen, benzo(a)antraceen, benzo(ghi)peryleen, fenantreen, indeno(1,2,3-cd)pyreen, anthraceen, benzo(b)fluorantheen, benzo(k)fluorantheen, chryseen en fluorantheen*
- 6) De gespecificeerde verbindingen zijn: PCB nr. 28, 52, 101, 118, 138, 153 en 180.*
- 7) Onder pesticiden wordt verstaan: organische insecticiden, organische herbiciden, organische fungiciden, organische nematociden, organische acariciden, organische algiciden, organische rodenticiden, organische slimiciden en soortgelijke producten (onder meer groeiregulatoren). De norm van 0,1 µg/l geldt ook voor humaan toxicologisch relevante metabolieten, afbraak- en reactieproducten van pesticiden. Voor metabolieten van pesticiden en afbraak- of reactieproducten, die niet humaan toxicologisch relevant zijn, geldt een norm van 1,0 µg per liter.*
- 8) De maximumwaarde geldt bij het gebruik van chloor(verbindingen) voor desinfectie; in de overige situaties geldt de maximumwaarde genoemd in Tabel IIIc bij gehalogeneerde alifatische koolwaterstoffen. De gespecificeerde verbindingen zijn: chloroform, bromoform, dibroomchloormethaan en broomdichloormethaan. De concentratie broomdichloormethaan mag niet hoger zijn dan 15 µg/l. De somwaarde van 25 µg/l geldt als 90 percentiel, met een maximum van 50 µg/l. Voor drinkwatervoorzieningen op mijnbouwinstallaties als bedoeld in artikel 1, onderdeel o, van de Mijnbouwwet, geldt als somwaarde 100 µg/l, waarbij het gehalte broomdichloormethaan maximaal 60 µg/l mag zijn.*

**Tabel IIIa. Indicatoren – Bedrijfstechnische parameters**

Parameter	Maximum waarde (tenzij anders aangegeven)	Eenheid	Opmerkingen
Aeromonas (30 °C)	1000	kve/100 ml	kve = kolonievormende eenheden
Ammonium	0,20	mg/l	
Bacteriën van de coligroep	0	kve/100 ml	
Chloride	150	mg/l	Jaargemiddelde.
<i>Clostridium perfringens</i> (inclusief sporen)	0	kve/100 ml	
DOC/TOC	Geen abnormale verandering	mg/l	Noot 1
Geleidingsvermogen	125 bij 20 °C	mS/m	
Hardheid (totaal)	> 1	mmol/l	Totale hardheid te berekenen als aantal mmol Ca <sup>2+</sup> plus Mg <sup>2+</sup> /l. Normwaarde geldt uitsluitend bij toepassing van ontharding of ontzouting. Toetsing vindt plaats aan de 90 percentiel van de meetgegevens. Noot 2
Koloniegetal bij 22 °C	100	kve/ml	Geometrisch jaargemiddelde. Noot 2
Saturatie Index (SI)	> -0,2	pH-eenheden	Jaargemiddelde.
Temperatuur	25 °C		Geldt voor drinkwater
Vrij chloor	0,1 < mg/l < 0,3	mg/l	Noot 4
Waterstofcarbonaat	> 60	mg/l	
Zuurgraad	7,0 < pH < 9,5	pH-eenheden	
Zuurstof	>2	mg/l	

**Noten:**

<sup>1)</sup> Indien DOC/TOC (dissolved organic carbon/total organic carbon) niet wordt bepaald, dan dient de oxideerbaarheid met KMnO<sub>4</sub> te worden bepaald (norm 5,0 mg/l O<sub>2</sub>).

<sup>2)</sup> Deze parameter geldt niet voor water als bedoeld in artikel 14 van het Warenwetbesluit Verpakte waters.

<sup>4)</sup> Geldt alleen voor zover bij drinkwatervoorzieningen op mijnbouwinstallaties, als bedoeld in artikel 1, onderdeel o, van de Mijnbouwwet, natriumhypochloriet aan het drinkwater wordt toegevoegd ter desinfectie van het water. De contacttijd tussen het chloor en het water moet ten minste 30 minuten bedragen.

**Tabel IIIb. Indicatoren – Organoleptische/esthetische parameters**

Parameter	Maximum waarde	Eenheid	Opmerkingen
Aluminium	200	µg/l	Noot 1
Geur	Aanvaardbaar voor de gebruikers en geen abnormale verandering	–	Noot 2
Kleur	20	mg/l Pt/Co	
IJzer	200	µg/l	
Mangaan	50	µg/l	
Natrium	150	mg/l	Jaargemiddelde (maximum 200 mg/l)
Smaak	Aanvaardbaar voor de gebruikers en geen abnormale verandering	–	Noot 2
Sulfaat	150	mg/l	
Troebelingsgraad	4 (tap) 1 (af pompstation)	FTE	FTE = formazine troebelingsseenheden Noot 3.
Zink	3,0	mg/l	Na > 16 uur stilstand

**Noten:**

<sup>1)</sup> Bij (dreigende) overschrijding van een waarde voor aluminium van 30 µg/l dient dit aan de inspecteur gemeld te worden in verband met het eventueel gebruik van het drinkwater voor nierdialyse.

<sup>2)</sup> Analyse kan kwalitatief worden uitgevoerd. Indien het resultaat positief is dient een kwantitatieve analyse te worden uitgevoerd, bijvoorbeeld volgens de verdunningsmethode.

<sup>3)</sup> In aanvulling op de kwantitatieve eis geldt dat de troebelingsgraad aanvaardbaar voor de gebruikers dient te zijn en geen abnormale veranderingen mag vertonen.

**Tabel IIIc. Indicatoren – Signaleringsparameters (noot 1)**

Parameter	Maximum waarde	Eenheid	Opmerkingen
AOX	–	µmol X/l	
Aromatische aminen	1	µg/l	Indien metaboliet van pesticiden dan 0,1 µg/l. Noot 2
(Chloor)fenolen	1	µg/l	Indien metaboliet van pesticiden dan 0,1 µg/l Noot 2
Diglyme(n)	1	µg/l	
Ethyl tert-butyl ether (ETBE)	1	µg/l	
Gehalogeneerde monocyclische koolwaterstoffen	1	µg/l	Noot 4
Gehalogeneerde alifatische koolwaterstoffen	1	µg/l	Noot 4
Methyl tert-butyl ether (MTBE)	1	µg/l	
Monocyclische koolwaterstoffen / aromaten	1	µg/l	Noot 4
Overige antropogene stoffen	1	µg/l	Noot 3

**Noten:**

<sup>1)</sup> Deze kwaliteitseisen zijn bedoeld voor het signaleren van mogelijke verontreinigingen.

Wanneer de aangegeven waarde (1 µg/l) wordt gemeten is er geen risico voor de volksgezondheid, maar zal er nader onderzoek plaats vinden. Deze parameters (als groep) zijn bedoeld om de kwaliteit van de bron te bewaken.

<sup>2)</sup> Metabolieten van pesticiden, welke in humaan toxicologisch opzicht relevant zijn, vallen onder tabel II van deze bijlage. Voor de overige metabolieten geldt een norm van 1,0 µg/l (zie tabel II noot 7).

<sup>3)</sup> Met deze parameter worden stoffen bedoeld die niet behoren tot de andere parameters in deze tabel maar welke een bedreiging voor de drinkwatervoorziening kunnen zijn.

<sup>4)</sup> Voor enkele individuele stoffen uit deze parametergroep geldt ook een maximale waarde in tabel II.

**Tabel IV. Parameterwaarden voor radon, tritium en indicatieve dosis voor drinkwater**

Parameter	Parameterwaarde	Eenheid	Opmerkingen
Radon	100	Bq/l	Noot 1, 3
Tritium	100	Bq/l	Noot 2, 3
Indicatieve Dosis	0,10	mSv	Noot 3

**Noot 1:**

a. De lidstaten mogen voor radon een niveau bepalen dat niet mag worden overschreden en waaronder de optimalisering van de bescherming wordt voortgezet, zonder dat de watervoorziening op nationale of regionale schaal in gevaar wordt gebracht. Het niveau dat een lidstaat bepaalt ligt tussen 100 Bq/l en 1.000 Bq/l. Ter vereenvoudiging van de nationale wetgeving kunnen de lidstaten ervoor kiezen de parameterwaarde op dit niveau af te stemmen. Nederland legt op basis van bestaande metingen de grens op 100 Bq/L (uit eerdere monitoringsonderzoeken blijkt dat de maximale radonconcentratie in ruw water en drinkwater <20 Bq/L is).

b. Wanneer de radonconcentraties 1.000 Bq/l overschrijden worden remediërende maatregelen zonder meer billijk geacht om redenen van stralingsbescherming. Dit is tot nu toe in Nederland niet aan de orde. Indien nodig is de praktische maatregel: beluchten.

Noot 2: Hoge tritiumniveaus kunnen duiden op andere kunstmatige radionucliden. Als de tritiumconcentratie de parameterwaarde ervan overschrijdt, is een analyse van de aanwezigheid van andere kunstmatige radionucliden noodzakelijk. Dit is geregeld in de Drinkwaterregeling en, in samenhang daarmee, de desbetreffende richtlijn van de Inspectie Leefomgeving en Transport (hierna: ILT).

Noot 3: De wijze van monitoring en berekening van de indicatieve dosis is geregeld in de Drinkwaterregeling en, in samenhang daarmee, de desbetreffende richtlijn van de ILT.

## Bijlage VI Indicatieve streefwaarden voor de samenstelling van irrigatiewater in Nederland voor akkerbouw en grasland (Cirkel et al., 2017)

Parameter	Eenheid	Indicatieve streefwaarde
EC-25	$\mu\text{S}/\text{cm}$	2700
pH		5.5 - 8
Na	mg/L	-
K	mg/L	-
Ca	mg/L	-
Mg	mg/L	-
Fe	mg/L	7 - 1.5
Mn	mg/L	2.0
NH4	mg NH4/L	-
Cl	mg/L	600 - 1200
SO4	mg/L	-
HCO3	mg/L	-
NO3	mg N/L	-
PO4 tot	mg P/L	-
Br	mg/l	400
Zn	$\mu\text{g}/\text{L}$	2000
B	$\mu\text{g}/\text{L}$	2000 / 1000
Cu	$\mu\text{g}/\text{L}$	200
F	$\mu\text{g}/\text{L}$	1000
Co	$\mu\text{g}/\text{L}$	50
As	$\mu\text{g}/\text{L}$	50
Be	$\mu\text{g}/\text{L}$	100
Cd	$\mu\text{g}/\text{L}$	10
Cr tot	$\mu\text{g}/\text{L}$	1000
Hg	$\mu\text{g}/\text{L}$	-
Ni	$\mu\text{g}/\text{L}$	200
Pb	$\mu\text{g}/\text{L}$	50
Se	$\mu\text{g}/\text{L}$	20
Fecale coliformen	kve/100 ml	1000

# Bijlage VII Bijlagen I en II uit het infiltratiebesluit bodembescherming (geldend van 22/12/2009 – heden)

## Bijlage 1. (behoort bij artikel 3, eerste lid, van het Infiltratiebesluit bodembescherming)

Toetsingswaarden voor het te infiltreren water

nr.	stof	eenheid	toetsingswaarde (opgelost) <sup>1</sup>
<b>MACRO PARAMETERS</b>			
1	zuurgraad (pH)	–	– <sup>2</sup>
2	zwev.stof	mg/l	0,5 <sup>3</sup>
3	calcium (Ca <sup>++</sup> )	mg/l	– <sup>2</sup>
4	chloride (Cl <sup>-</sup> )	mg/l	200 <sup>2,3</sup>
5	waterstofcarbonaat (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	– <sup>2</sup>
6	natrium (Na <sup>+</sup> )	mg/l	120 <sup>2,3</sup>
7	ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/l-N	2,5
8	nitraat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/l-N	5,6 <sup>2,3</sup>
9	totaal-fosfaat (PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -tot)	mg/l-P	0,4
10	sulfaat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/l	150 <sup>2</sup>
11	fluoride (F <sup>-</sup> )	mg/l	1
12	cyaniden totaal (CN (tot))	µg/l	10
<b>ZWARE METALEN</b>			
13	arseen (As)	µg/l	10
14	barium (Ba)	µg/l	200 <sup>3</sup>
15	cadmium (Cd)	µg/l	0,4
16	cobalt (Co)	µg/l	20
17	chrom (Cr)	µg/l	2
18	koper (Cu)	µg/l	15
19	kwik (Hg)	µg/l	0,05
20	nikkel (Ni)	µg/l	15
21	lood (Pb)	µg/l	15
22	zink (Zn)	µg/l	65
<b>BESTRIJDINGSMIDDELEN</b>			
23	som van de bestrijdingsmiddelen	µg/l	0,5 <sup>4</sup>
<i>organochloorbestrijdingsmiddelen</i>			
24	som (org.chl.bestr.mid.)	µg/l	0,1
25	endosulfan	µg/l	0.05

26	α-HCH	µg/l	0,05
27	-HCH (lindaan)	µg/l	0,05
28	DDT (incl.DDD en DDE)	µg/l	0,05
29	dichloorpropeen	µg/l	0,05
30	aldrin	µg/l	0,05
31	dieldrin	µg/l	0,05
32	endrin	µg/l	0,05
33	heptachloor	µg/l	0,05
34	heptachloorepoxide	µg/l	0,05
35	hexachloorbutadieen	µg/l	0,05
36	hexachloorbenzeen	µg/l	0,05
<i>organofosforbestrijdingsmiddelen</i>			
37	azinfos-methyl	µg/l	0,1
38	dichloorvos	µg/l	0,1
39	dimethoat	µg/l	0,1
40	mevinfos	µg/l	0,1
41	parathion	µg/l	0,1
<i>triazines/triazinonen/aniliden</i>			
42	atrazine	µg/l	0,1
43	simazin	µg/l	0,1
44	metolachloor	µg/l	0,1
<i>chloorfenoxxyherbiciden</i>			
45	2-methyl-4-chloorfenoxxy-azijnzuur (MCPA)	µg/l	0,1
46	mecoprop	µg/l	0,1
47	2,4-dichloorfenoxxy-azijnzuur (2,4 D)	µg/l	0,1
<i>ureumherbiciden</i>			
48	chloortoluron	µg/l	0,1
49	isoproturon	µg/l	0,1
50	metoxuron	µg/l	0,1
51	linuron	µg/l	0,1
<i>chloorfenolen</i>			
52	trichloorfenolen	µg/l	0,1
53	tetrachloorfenol	µg/l	0,1
54	pentachloorfenol	µg/l	0,1
<i>diversen</i>			
55	dinoseb	µg/l	0,1
56	2,4 dinitrofenol	µg/l	0,1
57	bentazon	µg/l	0,1
<b>OLIE</b>			
58	minerale olie	µg/l	200
<b>POLYCYCLISCHE AROMATISCHE KOOLWATERSTOFFEN (PAK's)</b>			
59	naftaleen	µg/l	0,1
60	anthraceen	µg/l	0,02

61	fenanthreen	µg/l	0,02
62	cryseen	µg/l	0,02
63	fluorantheen	µg/l	Σ 0,1
64	benzo(a)anthraceen	µg/l	
65	benzo(k)fluorantheen	µg/l	
66	benzo(a)pyreen	µg/l	
67	benzo(ghi)peryleen	µg/l	
68	indeno(123cd)pyreen	µg/l	
<b>GEHALOGENEERDE KOOLWATERSTOFFEN</b>			
69	trichlooretheen	µg/l	0.5
70	tetrachlooretheen	µg/l	0.5
71	trihalomethanen (THM's)	µg/l	2 <sup>5</sup>
72	dichloorfenolen	µg/l	0,5
73	adsorbeerbare organische halogeenvbindingen (AOX)	µg/l	30 <sup>6</sup>

<sup>1</sup> De toetsingswaarde voor zwevende stof betreft de niet opgeloste hoeveelheid materiaal.

<sup>2</sup> Punt van aandacht bij de vergunningverlening i.v.m. lokale situatie.

<sup>3</sup> In het infiltratiewater mag 70 dagen per jaar een concentratie aanwezig zijn boven de hier genoemde, waarbij de volgende maxima niet overschreden mogen worden: zwevende stof 2 mg/l; Cl<sup>-</sup> 300 mg/l; Na<sup>+</sup> 180 mg/l en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 11,2 mgN/l; Ba 300 µg/l.

<sup>4</sup> Dit betreft de som van de concentraties van de in deze lijst genoemde bestrijdingsmiddelen, waarbij bepalingen waarvan het meetresultaat < detectiegrens is, een meetresultaat 0 wordt toegekend.

<sup>5</sup> THM te bepalen als som van de concentraties van chloroform, broomdichloormethaan, dibroomchloormethaan en bromoform. Als een transportchloring wordt toegepast, is het toegestane maximum 70 µg/l.

<sup>6</sup> Als een transportchloring wordt toegepast, is het toegestane maximum 100 µg/l.



## **Bijlage 2. (behoort bij artikel 3, tweede lid, van het Infiltratiebesluit bodembescherming)**

### **LIJST I. Families en groepen van stoffen**

1. Organische halogeenverbindingen en stoffen waaruit dergelijke verbindingen kunnen ontstaan.
2. Organische fosforverbindingen.
3. Organische tinverbindingen
4. Stoffen die een kankerverwekkende, mutagene of teratogene werking hebben.
5. Minerale oliën en koolwaterstoffen.
6. Cyaniden.
7. De volgende metalloïden en metalen alsmede verbindingen daarvan:
  - kwik
  - cadmium
  - lood
  - arsenicum
  - antimoon
  - tin
  - beryllium
  - uranium
  - thallium
  - tellurium
  - zilver

### **LIJST II. Families en groepen van stoffen**

1. De volgende metalloïden en metalen alsmede verbindingen daarvan:
  - zink
  - koper
  - nikkel
  - chroom
  - selenium
  - molybdeen
  - borium
  - vanadium
  - kobalt
  - barium
  - titaan
2. Biociden en derivaten daarvan, die niet onder lijst I vallen.
3. Stoffen met een schadelijke werking op de smaak of geur van het grondwater alsmede verbindingen waaruit dergelijke stoffen in het water kunnen ontstaan en die het water ongeschikt voor menselijke consumptie maken.
4. Organische siliciumverbindingen die toxisch of persistent zijn en stoffen waaruit dergelijke verbindingen kunnen ontstaan, met uitzondering van die welke biologisch onschadelijk zijn of die snel worden omgezet in onschadelijke stoffen.
5. Anorganische fosforverbindingen en elementair fosfor.
6. Ammoniak, nitrieten en nitraten.
7. Chloriden, bromiden, fluoriden.
8. Sulfaten.

# Bijlage VIII Kwaliteit hemelwater in het kustgebied van Nederland (Stuyfzand, 1993)

TABLE 5.3 Survey of the weighted mean annual composition of bulk precipitation on the coastal (dune) area of the Western Netherlands.  $X^*$  = sea-salt-corrected concentration of  $X$ , using Eq.5.7 and Table 5.5.

parameter	unit	Leiduin					De Kooy	Bergen	Cast-ricum	Wijk a/Zee	Scheveningen	Kol-horn	Bever-wijk	natural background	
		53	8	3	bulk	wet-only								cont. <sup>C</sup>	mar. <sup>M</sup>
no. station (Fig.5.3)		53	8	3	3	3	2	5	6	7	9	12	18		
period (+1900)		37-39	79-81	83-87	88-89	88-89	83-87	79-81	79-81	79-81	79-81	79-81	79-81		
network	GW	RID	KNMI	KNMI	KNMI	KNMI	RID	RID	RID	DZH	PWS	PWS			
samples (n)		14	72	60	24	24	60	70	72	71	26	36			
dist. HWL	m	5610	5850	5850	5850	5850	4750	3620	2000	900	360	14800	3950	>6E+5	0
P-chem	mm/y	803	822	813	-	-	692	930	898	979	584	861	853	-	-
P-meteo	mm/y	866	880	838	788	788	832	888	927	895	894	-	-	800	800
EC 20°C	µS/cm	39	65	50	62	48	66	63	66	112	356	-	-	-	-
Cl <sup>-</sup>	mg/l	6.6	7.8	7.1	10.0	6.9	11.8	9.6	10.7	23.0	80.7	9.8	9.9	0.1	7.4
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	5.5	6.0	4.8	5.5	4.3	5.4	6.5	7.1	9.7	21.8	6.6	9.0	0.4	1.3
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0.1	3.2	2.8	3.3	2.5	3.4	3.4	3.5	4.0	10.3	4.1	5.5	0.1	≤0.1
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	2.8	0	0	0	0	0	0	0	0	28.5	0	0	0.1 <sup>@</sup>	0.1 <sup>@</sup>
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/l	-	0.09	0.02	0.03	0.02	0.02	0.16	0.10	1.46	-	-	-	≤0.02	≤0.02
F <sup>-</sup>	µg/l	-	-	24	31	17	27	-	-	158	83	48	69	<10	<10
pH		4.8	4.27	4.45	4.48	4.46	4.48	4.38	4.45	4.42	5.00	4.28	4.1	5.3 <sup>@</sup>	5.3 <sup>@</sup>
Na <sup>+</sup>	mg/l	2.8	4.1	3.9	5.6	3.9	6.6	5.5	6.2	12.9	47.8	-	-	0.02	4.1
K <sup>+</sup>	mg/l	-	0.31	0.22	0.33	0.23	0.31	0.37	0.42	0.72	3.1	-	-	0.02	0.14
Ca <sup>2+</sup>	mg/l	1.7	0.9	0.6	0.8	0.5	0.7	0.9	1.3	2.0	8.2	-	-	<0.01 <sup>@</sup>	0.15 <sup>@</sup>
Mg <sup>2+</sup>	mg/l	1.4 <sup>#</sup>	0.6	0.5	0.6	0.45	0.8	0.7	0.8	1.7	5.5	-	-	<0.01	0.47
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	0.51	1.12	1.12	1.24	0.92	1.40	1.44	1.25	1.43	3.38	-	-	<0.02	0.04
Fe	mg/l	<0.02	0.07	0.13	0.12	0.05	0.11	0.04	0.05	0.12	0.56	0.29	0.60	<0.02	<0.02
Mn	µg/l	<30	20	10	8	4	5	20	30	50	40	-	-	<4	<4
As	µg/l	-	1.3	-	-	-	<0.8	0.8	1.3	0.8	3.9	-	-	<0.8	<0.8
Cd	µg/l	-	0.25	0.11	0.11	0.17	0.11	0.3	0.7	0.44	2.28	0.51	0.57	<0.1	<0.1
Cr	µg/l	-	0.4	-	-	-	0.7	1.3	0.5	0.3	2.3	1.1	2.4	<0.3	<0.3
Cu	µg/l	-	14.5	5.1	4.0	2.9	3.2	8.2	12.1	8.0	9.6	6.6	10.2	<3	<3
Ni	µg/l	-	1.9	1.2	0.65	0.49	0.6	1.2	1.3	1.6	6.0	-	-	<0.5	<0.5
Pb	µg/l	-	17.1	12.4	9.1	8.1	10.4	14.0	15.0	19.2	28.9	22.4	42.1	<8	<8
V	µg/l	-	-	3.1	2.1	1.6	2.0	-	-	-	-	-	-	<1.6	<1.6
Zn	µg/l	-	50	16	-	-	15	87	60	101	718	128	138	<15	<15
COD	mg/l	≤	5.3	-	-	-	-	4.8	4.8	4.9	11.3	-	-	-	-
DOC	mg/l	-	1.6	-	-	-	1.4	1.7	1.7	1.6	5.6	-	-	-	-
SO <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	4.6	4.9	3.8	4.1	3.4	3.8	5.2	5.6	6.5	10.5	5.2	7.6	≤0.3	0.3
Na <sup>+</sup>	mg/l	-0.9	-0.2	-0.1	0.1	0.0	-0.1	0.2	0.3	0.1	2.9	-	-	-0.1	+0.1
K <sup>+</sup>	mg/l	-	0.15	0.07	0.12	0.09	0.07	0.17	0.20	0.25	1.44	-	-	0.0	0.0
Ca <sup>+</sup>	mg/l	1.6	0.7	0.5	0.6	0.34	0.5	0.7	1.1	1.5	6.5	-	-	<0.01	0.0
Mg <sup>+</sup>	mg/l	1.0 <sup>#</sup>	0.1	0.0	-0.1	-0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.1	-	-	0.0	0.0

GW = Gemeentewaterleidingen Amsterdam, calculated from original data; RID = Rijks Instituut voor Drinkwatervoorziening, calculated from screened data in Van de Meent et al., 1984; KNMI = Kon. Ned. Meteorologisch Instituut, calculated from data in KNMI-RIVM (1983-1987); DZH = Duinwaterbedrijf Zuid-Holland, calculated from data files; #: probably too high by analytical problems; C, M = resp. continental and maritime, both based on data in Galloway et al. (1982), Vong (1990), Hicks & Artz (1992) and this study, assuming negligible contributions from calcareous dust; @ = higher in areas receiving calcareous dust; P-chem, P-meteo = gross precipitation on collector 1.5-1.8 m and 0 m above surface, resp.

TABLE 5.4 Survey of weighted mean annual concentrations of trace elements in bulk precipitation (with and without filtration), in air, upon congruent dissolution of either clay in The Netherlands or the average soil on earth (both in aqua dest. to Al = 100 µg/l), and in ocean water diluted to Cl<sup>-</sup> = 19.3 mg/l.

	Petten (station 43)			De Kooy <sup>C</sup> (station 2) µg/l	Coastal dunes µg/l	dissolved clay <sup>D</sup> µg/l	dissolved dust <sup>U</sup> µg/l	diluted seawater <sup>E</sup> µg/l
	total <sup>A</sup> µg/l	dissolved <sup>A</sup> µg/l	air <sup>B</sup> ng/m <sup>3</sup>					
Cl <sup>-</sup>	48,000	48,000	3,360	11,800	-	-	0.1	19,300
Ag	-	<0.05	-	-	<0.05 <sup>F</sup>	-	1.4E-4	2.9E-4
Al	530	<94	200	99	88 <sup>K</sup>	100	100	0.005
As	<4	<3.6	4.8	<0.8	-	0.04	0.007	0.003
B	-	-	54 <sup>S</sup>	<5	-	-	0.014	4.6
Ba <sup>2+</sup>	-	-	8 <sup>S</sup>	3	<12 <sup>K</sup>	0.7	0.7	0.03
Be	-	-	0.04 <sup>S</sup>	-	<0.02 <sup>P</sup>	-	0.008	6.E-7
Br <sup>-</sup>	155	150	78	(47)	-	-	0.007	66
Cd	-	<1.8	1.0 <sup>R</sup>	0.11	-	-	7.0E-4	1.1E-4
Ce	0.83	0.31	0.23	-	-	0.14 <sup>I</sup>	0.07	5.2E-6
Co	0.56	0.34	0.30	<0.9	-	0.04	0.011	1.0E-4
Cr	3.7	1.2	4.0	0.7	-	0.31	0.28	2.0E-4
Cs	0.18	0.09	0.21	-	-	0.04	0.007	3.0E-4
Cu	24.0	16.5	<8	3.2	-	-	0.03	9.0E-4
Eu	-	-	-	-	0.02 <sup>F</sup>	0.003	0.002	1.3E-7
F <sup>-</sup>	-	-	71 <sup>S</sup>	27	32 <sup>K</sup>	-	0.28	1.3
Fe	600	98	375	110	77 <sup>K</sup>	48	53	0.002
Hg	-	-	0.6 <sup>R</sup>	0.04	-	-	1.4E-5	3.0E-5
I	-	-	-	-	4.0 <sup>G</sup>	-	0.007	0.06
In	-	-	-	-	≤0.01 <sup>T</sup>	-	1.4E-4	1.0E-4
La	-	-	0.5 <sup>R</sup>	-	1.39 <sup>T</sup>	0.077	0.056	1.2E-5
Li <sup>+</sup>	-	-	-	-	≤0.6 <sup>K</sup>	-	0.042	0.17
Mn	30	24	18.7	5	21 <sup>K</sup>	-	1.2	4.0E-4
Mo	-	-	0.8 <sup>R</sup>	-	-	-	0.003	0.01
Ni	6.7	6.6	9.4	0.6	-	-	0.06	7.0E-4
Pb	31	24	124	10.4	-	0.3 <sup>I</sup>	0.014	3.0E-5
Rb <sup>+</sup>	<5	<3.6	<9	-	≤0.5 <sup>K</sup>	0.4	0.14	0.12
Sb	1.55	0.89	3.2	-	0.3 <sup>F</sup>	0.002	0.001	3.0E-4
Sc	0.23	0.038	0.054	-	0.006 <sup>T</sup>	0.04	0.01	7.0E-7
Se	0.69	0.50	1.24	<0.16	-	-	1.4E-5	9.0E-5
SiO <sub>2</sub>	-	-	850 <sup>R</sup>	-	170 <sup>K</sup>	79-963 <sup>M</sup>	990	6.2
Sm	-	-	-	-	0.06 <sup>T</sup>	0.014	0.008	4.5E-7
Sr <sup>2+</sup>	-	-	2 <sup>S</sup>	-	-	-	0.42	8.0
Th	0.13	<0.03	0.041	-	<0.1 <sup>F</sup>	0.05	0.008	4.0E-7
Ti	-	-	<20 <sup>R</sup>	3.8	-	6.5 <sup>I</sup>	6.45	0.001
U	-	-	-	-	0.02	-	0.0014	0.003
V	7.4	5.0	11.6	2.0	-	0.2 <sup>I</sup>	0.14	0.002
Zn	85	29	97	15	-	0.6 <sup>I</sup>	0.07	0.002

A = Cambray et al. (1979); B = Peirson et al. (1974); C = 1983-1987 (KNMI,1983-1987); D = calculated from analyses on dutch clay samples, by dr. H.A. Van der Sloot (ECN); E = calculated from mean ocean water in Riley & Skirrow (1975); F = Conrads & Buijsman (1973); G = Heymann, 1927; H = Luten, 1977; I = Stuyfzand (1983); K = Stuyfzand (1991); M = soluble (79) - bound (963); N = Van Aalst et al. (1983), p.44; P = Van Puffelen (1986); R = calculated from data in Diederer & Guicherit (1981); S = Van Jaarsveld & Onderlinden (1986); T = Navarre et al. (1980); U = average composition of soil material on earth according to Rahn (1975).

## Bijlage IX Referentiekader zuiveringskosten: Nieuw-Prinsenland t.b.v. demiwaterproductie

Te Nieuw-Prinsenland wordt effluent (na RWZI suikerfabriek) en oppervlaktewater door middel van microzeven, submerged-UF en RO opgewerkt naar demiwater. Zodoende kan dit worden omgezet naar gietwater voor de naastgelegen glastuinbouw. Het systeem is in 2013 gerealiseerd en heeft een capaciteit van 60 m<sup>3</sup>/uur (1440 m<sup>3</sup>/d). De aanleg resulteerde in de kosten die zijn opgenomen in Tabel 9.1 en Tabel 9.2.

Hierbij is uitgegaan van een productie van 200 000 m<sup>3</sup>/j. Bij continu (jaarrond) hergebruik van RWZI-effluent met hetzelfde debiet zullen met name de rentekosten en afschrijving per m<sup>3</sup> sterk afnemen tot ca. 0.3 euro per m<sup>3</sup>. De totale kostprijs wordt dan 1.07 euro/m<sup>3</sup>. Omdat men in Dinteloord voor een standaardafschrijving van 20 jaar (ook op leidingwerk en het gebouw) heeft gekozen, vallen de kosten relatief iets hoger uit dan berekend op de Wadden.

Tabel 9.1: Investeringskosten van geavanceerde zuivering t.b.v. infiltratie en drinkwatergebruik.

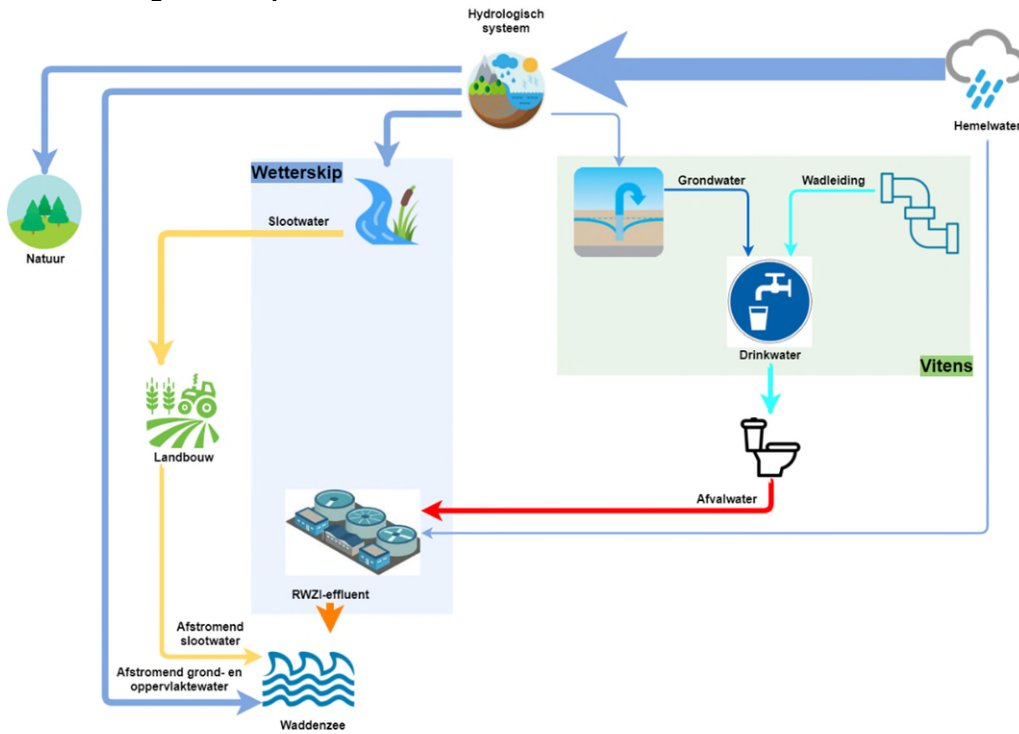
Investeringskosten	Bedrag	Eenheid
Investering waterzuivering	1,5	M€
Investering leidingnetwerk (ca 5 km; capaciteit 200 m <sup>3</sup> /h)	0,8	M€

Tabel 9.2: Variabele kosten van geavanceerde zuivering t.b.v. infiltratie en drinkwatergebruik.

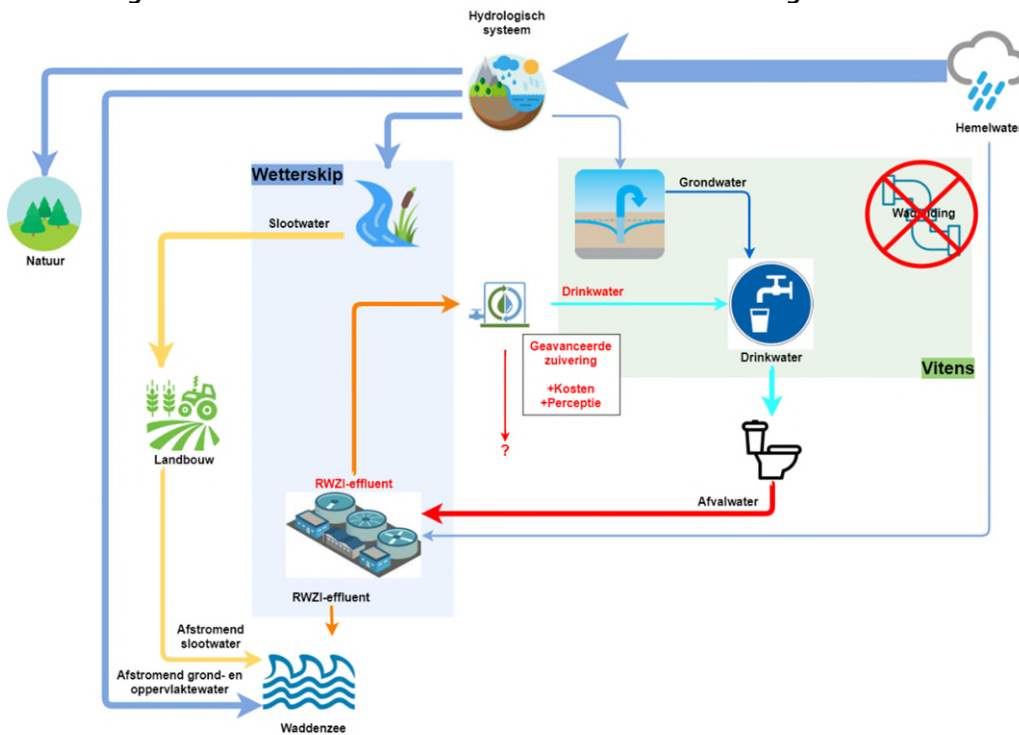
Variabele kosten	Bedrag	Eenheid
Onderhoudscontract voor 10 jaar (per m <sup>3</sup> )	0.52	€/m <sup>3</sup>
Elektrakosten, opstalrecht en diversen waterzuivering	0.25	€/m <sup>3</sup>
Afschrijving en rente (20 jaar)	0.68	€/m <sup>3</sup>
<b>Kostprijs gezuiverd water</b>	<b>1.45</b>	<b>€/m<sup>3</sup></b>

# Bijlage X Praatplaten Workshop

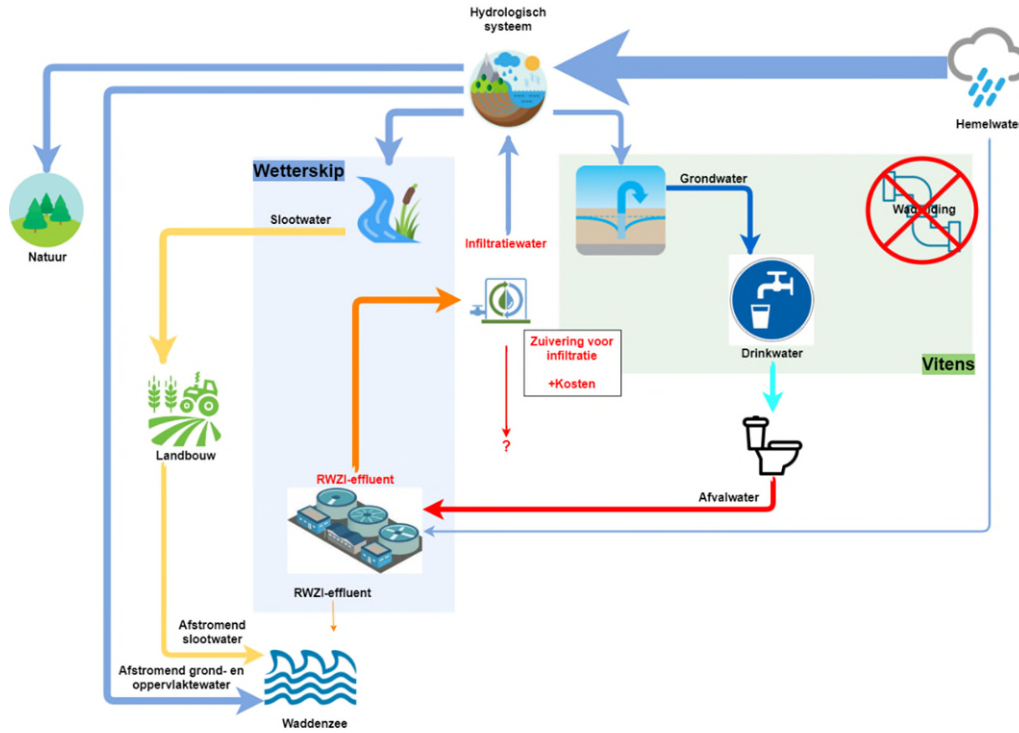
## X.1 Huidige watersysteem Friese Waddeneilanden



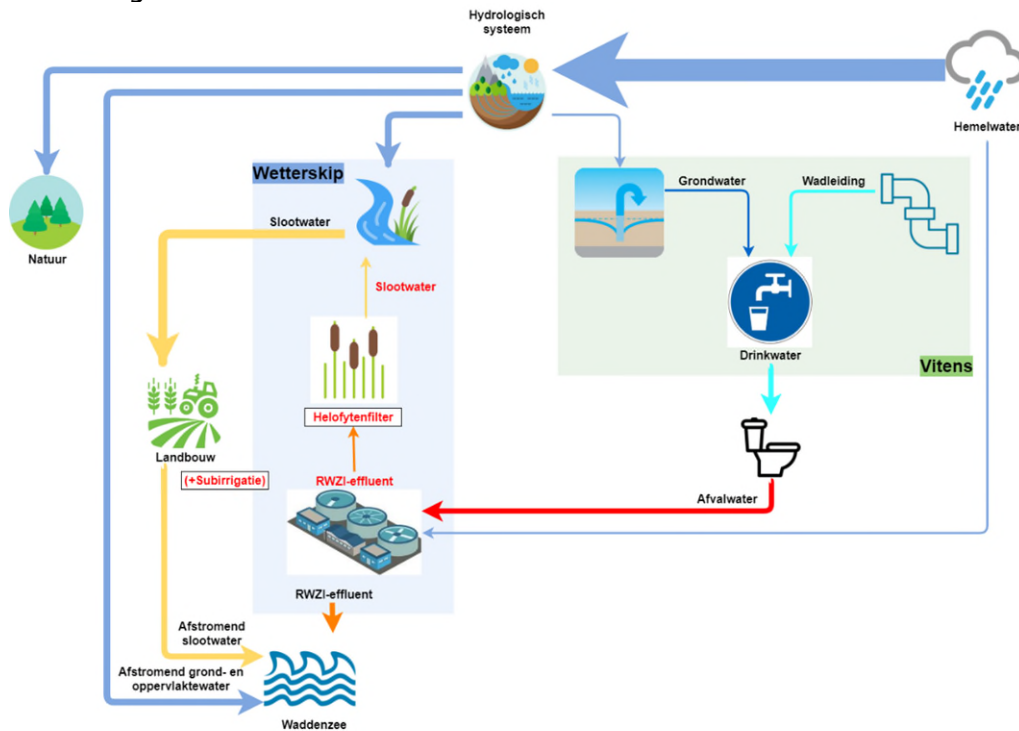
## X.2 Hergebruik van RWZI-effluent voor drinkwatervoorziening



### X.3 Hergebruik van RWZI-effluent voor terugvoeren naar hydrologisch systeem



### X.4 Hergebruik van RWZI-effluent voor de landbouw



### X.5 Hergebruik RWZI-effluent voor lokale watervoorzieningen

