



KWR 2024.035 | Maart 2024

Hergebruik van restwater uit de zuivelindustrie voor landbouw en watersysteem

Samenwerkingspartners



Waterschap
Rijn en IJssel



Dit onderzoek is mede mogelijk gemaakt door het programma Water in de Circulaire Economie (WiCE), onderdeel van het Bedrijfstakonderzoek van de drinkwatersector.

Colofon

Hergebruik van restwater uit de zuivelindustrie voor landbouw en watersysteem

KWR 2024.035 | Maart 2024

Opdrachtnummer

404188-001

Projectmanager

Dr.EngD.ir. Julian Muñoz Sierra

Opdrachtgever

Programma Water in de Circulaire Economie (WiCE); FrieslandCampina

Auteurs

Dr.ir. Nienke Koeman, dr.ir. Henk Krajenbrink, dr.ir. Maria Lousada-Ferreira

Tekstredactie

Dr.ir. Henk Krajenbrink

Kwaliteitsborgers

Dr.ir. Ruud Bartholomeus (gehele rapport), dr.ir. Emile Cornelissen (hoofdstukken 2, 5, 6)

Verzonden naar

Programma Water in de Circulaire Economie (WiCE); FrieslandCampina

Dit rapport is openbaar.

Keywords

waterhergebruik, waterzuivering, hydrologie, watersysteemanalyse

[Jaar van publicatie](#)
2024

[Meer informatie](#)
Dr.ir. Nienke Koeman
T +31 30 606 9558
E nienke.koeman@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

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

KWR

Maart 2024 ©

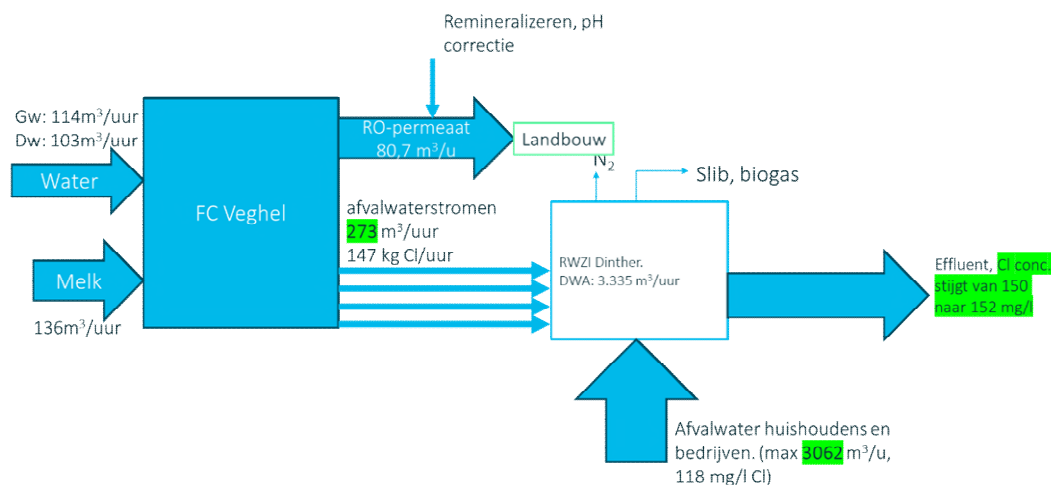
Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen,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

Managementsamenvatting

Hergebruik van industrieel restwater kan bijdragen aan de watertransitie, maar gegevens over restwaterstromen en een helder juridisch kader zijn noodzakelijk

Auteurs: Dr.ir. Nienke Koeman, dr.ir. Henk Krajenbrink, dr.ir. Maria Lousada-Ferreira.

De voedingsmiddelenindustrie, waaronder de zuivelsector, heeft een belangrijk aandeel in het industriële grondwater- en drinkwatergebruik. Tegelijkertijd produceert zij veel restwater, dat nu naar RWZI's gaat. FrieslandCampina wil in de toekomst een deel van het restwater hergebruiken, bijvoorbeeld voor landbouwdoeleinden, intern hergebruik of aanvulling van het watersysteem, en is daarom op zoek naar een algemeen kader voor hergebruik. Onderzocht is welke restwaterstromen uit de zuivelindustrie geschikt kunnen zijn voor hergebruik en wat de belangrijkste kansen en aandachtspunten zijn bij de verschillende toepassingsmogelijkheden. De twee onderzochte zuivelfabrieken produceren in theorie voldoende restwater om in de zomer aan de landbouwwatervraag in de nabije omgeving te voldoen (*extern* hergebruik), maar maximaal *intern* hergebruik heeft het jaar rond het grootste effect op het watersysteem. Ook is het mogelijk ervoor te kiezen restwater in te zetten voor aanvulling van het watersysteem. De waterkwaliteit van deelstromen bepaalt sterk welke en hoeveel waterbehandeling nodig is om restwater geschikt te maken voor hergebruik. Omdat industrieel restwater niet valt onder de nieuwe EU-verordening voor hergebruik van huishoudelijk afvalwater voor landbouwdoeleinden, bestaat er behoefte aan een juridisch kader dat te gebruiken is om grootschalig hergebruik ten behoeve van landbouw of het watersysteem mogelijk te maken, als onderdeel van de watertransitie.



Een optie voor hergebruik in de landbouw. Hergebruik van restwater uit omgekeerde osmose (het relatief schone en ruim beschikbare RO-permeaat) kan bijvoorbeeld een deel van de grondwateronttrekkingen voor landbouw vervangen. Daardoor vermindert de restwaterstroom richting de RWZI.

Belang: hergebruik van industrieel restwater kan druk op watersysteem verminderen

Nederlands grondwater wordt voor meerdere doelen gebruikt en de verschillende gebruikers beconcurreren elkaar om het beschikbare zoete water. Een transitie naar een klimaatrobuust

watersysteem is nodig om de nadelige effecten van droogte zoveel mogelijk te voorkomen. De voedingsmiddelenindustrie is verantwoordelijk voor een belangrijk deel van het industriële grondwatergebruik en produceert tegelijkertijd veel restwater. Hergebruik van restwater (voor de

landbouw, het watersysteem of intern) kan de vraag naar grondwater verminderen. Er is behoefte aan een algemeen kader voor hergebruik van restwater uit de zuivelindustrie dat de kansen en aandachtspunten voor hergebruik in beeld brengt. Ook is inzicht nodig in hoe de effecten van (meer) hergebruik van industrieel restwater doorwerken op het watersysteem.

Aanpak: scenario's verkend voor hergebruik van restwater, in combinatie met experimenten

Om te achterhalen welke restwaterstromen uit de zuivelsector geschikt zijn voor hergebruik, zijn twee casestudies uitgevoerd. Voor de productielocaties Veghel en Borculo van FrieslandCampina zijn verschillende hergebruikscenario's opgesteld, voor verschillende toepassingen. Daarbij is op hoofdlijnen geschetst welke voorwaarden en aandachtspunten er zijn voor de waterbehandeling, het juridisch kader en de waterkwaliteit. Daarnaast zijn experimenten uitgevoerd met restwatermonsters uit de fabrieken om de benodigde waterbehandeling in te schatten.

Resultaten: hergebruik theoretisch mogelijk, aanvullende behandeling van restwater nodig

De hoeveelheid restwater op de locaties Veghel en Borculo is in theorie ruim voldoende om aan de landbouwwatervraag binnen 5 km van beide fabrieken te voldoen. Hergebruik voor landbouwdoeleinden is alleen toepasbaar in de zomer, zodat het rendement van een dergelijk scenario sterk afhangt van de bestemming van het restwater in de winter. Maximaal intern hergebruik heeft het grootste effect op het watersysteem: daarbij is in theorie vrijwel geen extern water nodig en neemt de hoeveelheid effluent sterk af.

De kwaliteit van de deelstromen in de fabrieken verschilt onderling sterk, wat gedeeltelijk hergebruik van restwater kansrijk maakt. Restwater uit de omgekeerde osmose (RO-permeaat) lijkt het meest geschikt voor hergebruik vanwege het grote volume en de relatief lage vuillast. De overige deelstromen

zijn relatief vuil. Coagulatie kan de CZV-belasting (chemisch zuurstofverbruik) sterk verminderen, maar voor hergebruik is aanvullende behandeling nodig. Restproducten van schoonmaak- en desinfectieprocessen kunnen risico's opleveren. Om te kunnen bepalen welke behandeling nodig is, moeten gegevens over volumes en waterkwaliteit beschikbaar zijn.

Hergebruik van industrieel restwater valt niet onder de nieuwe EU-verordening voor hergebruik van huishoudelijk afvalwater voor landbouwdoeleinden. Voor aanvulling van het watersysteem zal in alle gevallen een omgevingsvergunning nodig zijn.

Toepassing: haalbaarheid hergebruik afhankelijk van gegevens en juridisch kader

Intern of extern hergebruik van restwater uit de zuivelindustrie kan in potentie bijdragen aan het verminderen van de druk op het watersysteem en de drinkwatervoorziening. In deze verkennende studie zijn de randvoorwaarden en aandachtspunten voor hergebruik op hoofdlijnen in beeld gebracht. Eventueel vervolgonderzoek moet helderheid scheppen in onder andere de kosten en baten en de precieze effecten op het regionale watersysteem. Gegevens over de volumes en de waterkwaliteit van de verschillende reststromen zijn belangrijk, omdat de benodigde waterbehandeling sterk afhangt van de kwaliteit van de deelstromen. Beschikbaar stellen van die gegevens is nu nog niet vanzelfsprekend.

Een helder en toepasbaar juridisch kader voor extern hergebruik van industrieel restwater ontbreekt momenteel nog. Het is van groot belang helderheid te krijgen in de vereisten voor wet- en regelgeving om belemmeringen weg te nemen voor grootschalig hergebruik voor de landbouw of het watersysteem.

Rapport

Dit onderzoek is beschreven in het rapport *Hergebruik van restwater uit de zuivelindustrie voor landbouw en watersysteem* (KWR 2024.035).

Inhoud

Samenwerkingspartners	2
<i>Managementsamenvatting</i>	4
Inhoud	6
1 Inleiding	8
1.1 Aanleiding en probleemstelling	8
1.2 Doel, aanpak en leeswijzer	8
2 Meetgegevens van restwaterstromen	10
2.1 Veghel	10
2.2 Borculo	12
2.3 Vergelijking met literatuur	15
3 Analyse watersysteem	18
3.1 Veghel	18
3.1.1 Gebiedsbeschrijving en geohydrologie	18
3.1.2 Overzicht waterstromen	21
3.2 Borculo	24
3.2.1 Gebiedsbeschrijving en geohydrologie	24
3.2.2 Overzicht waterstromen	28
3.3 Discussie watersysteemanalyse	31
4 Scenario's voor waterhergebruik	32
4.1 Scenario 1: Huidige situatie	32
4.2 Scenario 2: Direct hergebruik van RO-permeaat	34
4.3 Scenario 3: Maximaal intern hergebruik	37
4.4 Scenario 4: Direct hergebruik van nutriëntenrijk water	40
4.5 Scenario 5: Indirect hergebruik van volledige hoeveelheid restwater	42
4.6 Scenario 6: Deelstroombehandeling en intern hergebruik	44
5 Waterbehandeling	45
5.1 Verwijdering van chloride uit restwater van demineralisatie	45
5.2 Verwijdering van ureum uit RO-permeaat	46
5.3 Behandeling totale restwaterstroom voor hergebruik	47
5.4 Direct hergebruik van nutriëntenrijk water	49
5.5 Deelstroombehandeling voor intern hergebruik	49
5.5.1 Materialen en methoden	50

5.5.2	Analyse van de restwaterstromen	53
5.5.3	CZV-verwijdering door middel van bekertesten	54
6	Risico's waterhergebruik zuivelindustrie	58
6.1	Risico's waterhergebruik in de landbouw	58
6.1.1	Chemische risico's	58
6.1.2	Microbiologische risico's	59
6.1.3	Overzicht geanalyseerde risico's hergebruik in de landbouw	60
6.2	Risico's intern hergebruik	60
6.2.1	Chemische risico's	61
6.2.2	Microbiologische risico's	61
7	Juridische aspecten en waterkwaliteitseisen	63
7.1	Direct hergebruik voor landbouwdoeleinden	63
7.2	Indirect hergebruik (watersysteem)	64
7.3	Overige juridische aspecten	66
7.3.1	Hergebruik als meststof	66
7.3.2	Intern hergebruik	67
8	Conclusies en aanbevelingen	68
8.1	Algemeen	68
8.2	Samenvatting scenario's	68
8.3	Conclusies	71
8.4	Aanbevelingen	72
9	Bronvermelding	74
Bijlagen		76
I	Waterkwaliteitseisen landbouw	77

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en probleemstelling

De beschikbaarheid van het grondwater in Nederland staat onder druk, zowel qua kwantiteit als kwaliteit. In het oosten van het land speelt vooral verdroging, met name op de hoge zandgronden; in het westen speelt met name verzilting van de ondergrond. Grondwater wordt voor meerdere doelen gebruikt, onder meer voor drinkwaterproductie, landbouw en de industrie. De verschillende gebruikers, inclusief de natuur, concurreren met elkaar om het beschikbare grondwater, terwijl de vraag blijft groeien. Ook het drinkwaterverbruik in Nederland neemt toe door een groeiende bevolking. De drinkwaterbedrijven en waterschappen willen de transitie naar een klimaatrobuust watersysteem versnellen om daarmee nadelige effecten van droogte zoveel mogelijk te voorkomen. Klimaatadaptatie staat centraal in deze transitie (Unie van Waterschappen & Vewin, 2021).

Bijna een derde van het industriële grondwaterverbruik in Nederland komt voor rekening van de voedingsmiddelenindustrie (ongeveer 35 miljoen m³/jaar). Daarnaast betreft de voedingsmiddelenindustrie ook een significante hoeveelheid van het drinkwater (55 miljoen m³/jaar) en oppervlaktewater (171 miljoen m³/jaar) (CBS Statline, 2023) ten behoeve van het productieproces. Een van de grote zuivelproducenten in Nederland, FrieslandCampina, gebruikt met haar fabrieken in Nederland 15,5 miljoen m³/jaar. Een groot deel van dit water wordt na gebruik geloosd op het riool of het oppervlaktewater.

Ook de land- en tuinbouw krijgt te maken met toegenomen effecten van verdroging. Onttrekkingen uit grondwater voor beregening zetten het watersysteem verder onder druk: in 2019 ging het naar schatting in totaal al om 664 miljoen m³/jaar (Pronk et al., 2020). Tegelijkertijd produceren zuivelfabriek in het productieproces veel restwater. Wanneer het water van de (zuivel-)industrie hergebruikt zou worden, bijvoorbeeld voor landbouwdoeleinden of aanvulling van het watersysteem, kan dat in potentie significant bijdragen aan de afname van onttrekkingen door de landbouw.

Hergebruik van industrieel restwater wordt gezien als een van de mogelijke oplossingsrichtingen binnen de zoetwateropgave. Het is nadrukkelijk niet dé oplossing, maar kan wel bijdragen aan het verminderen van het gebruik van grondwater. Hiervan moeten andere functies, zoals natuur, profiteren.

1.2 Doel, aanpak en leeswijzer

Het doel van dit project is om een algemeen kader voor waterhergebruik van restwater uit de zuivelindustrie te schetsen, waarbij de kansen en aandachtspunten voor hergebruik van industrieel restwater in beeld worden gebracht. Zo is onder andere onderzocht welke restwaterstromen die vrijkomen in de zuivelsector, beschikbaar kunnen zijn voor hergebruik, op basis van waterkwantiteit en -kwaliteit. Op basis hiervan zijn een aantal scenario's met hergebruik voor verschillende toepassingen opgesteld. Vervolgens zijn de voorwaarden en aandachtspunten bij deze scenario's op hoofdlijnen geschetst als het gaat om technieken voor waterbehandeling, juridisch kader en waterkwaliteit. Om meer gevoel te krijgen bij de mogelijke waterbehandeling, zijn bovendien enkele laboratoriumexperimenten uitgevoerd met monsters uit restwater. Voorliggende studie is nadrukkelijk een verkennende studie, waarbij de randvoorwaarden en aandachtspunten niet uitputtend maar op hoofdlijnen zijn onderzocht. De uitkomsten van de verkenningen geven handvatten aan eventueel vervolgonderzoek indien hergebruik van restwaterstromen kansrijk blijkt. De studie is uitgevoerd aan de hand van twee casestudies, de productielocaties Veghel en Borculo van FrieslandCampina.

Casus Veghel (Noord-Brabant)

De locatie Veghel is een grote productielocatie van FrieslandCampina, vallend onder de business unit Ingredients, en de locatie met het hoogste watergebruik (grondwater en drinkwater). Het restwater wordt niet op locatie gezuiverd, maar alle restwaterstromen worden gezamenlijk via het riool afgevoerd naar RWZI Dinther, eigendom van waterschap Aa en Maas. Het effluent van deze RWZI wordt via een kleine waterloop in de rivier de Aa geloosd, maar kan tijdens langdurig droge periodes ook rechtstreeks worden toegevoerd aan het slotensysteem van het nabijgelegen landbouwgebied. FrieslandCampina meet zelf de volumes en samenstelling van het restwater, aan de hand waarvan een zuiveringsheffing wordt berekend. Gedurende een week in april 2019 zijn gegevens over de kwantiteit en kwaliteit van de verschillende deelstromen verzameld. Deze gegevens zijn in de huidige studie ter beschikking zijn gesteld.

Casus Borculo (Achterhoek, Gelderland)

De locatie Borculo is een andere grote productielocatie van de business unit Ingredients, qua waterverbruik de derde fabriek van FrieslandCampina. Een deel van het restwater wordt op locatie gezuiverd en intern hergebruikt. Daarnaast wordt een deel van het restwater gezuiverd met een anaerobe zuivering. Het effluent hiervan wordt, samen met het overige restwater, via een pijpleiding naar de Nereda-zuiveringsinstallatie in Zutphen afgevoerd. Deze Nereda-installatie, eigendom van waterschap Rijn en IJssel, is specifiek bedoeld voor zuivering van het restwater van de productielocaties Lochem en Borculo van FrieslandCampina. Het effluent van de Nereda-installatie wordt afgevoerd naar RWZI Zutphen, waarna het effluent wordt geloosd op de rivier de IJssel.

Leeswijzer

De waterkwantiteit en -kwaliteit van de verschillende deelstromen van het restwater op de locaties Veghel en Borculo wordt beschreven in hoofdstuk 2. Een analyse van het watersysteem op beide locaties, inclusief een geohydrologische beschrijving en een schematisch overzicht van de belangrijkste waterstromen, is opgenomen in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 worden zes scenario's voor hergebruik van het restwater schematisch geschetst en voorzien van een globale kosten-batenanalyse. Hierbij is zowel gekeken naar hergebruik van de totale restwaterstroom als naar hergebruik van deelstromen, zowel intern als extern. In hoofdstuk 5 wordt voor de verschillende scenario's beschreven welke waterbehandeling mogelijk is om hergebruik te kunnen realiseren. Als onderdeel van dit deel van het onderzoek zijn enkele laboratoriumexperimenten uitgevoerd met watermonsters uit twee deelstromen van de productielocatie Veghel. In hoofdstuk 6 worden op hoofdlijnen de chemische en microbiologische risico's in beeld gebracht die kunnen ontstaan bij hergebruik van behandeld restwater voor landbouwdoeleinden en bij intern hergebruik. Een samenvatting van de verschillende manieren en routes van hergebruik, inclusief een verkennende analyse van waterkwaliteitseisen, is opgenomen in hoofdstuk 7. Een overzichtstabel van de hergebruiksscenario's en de belangrijkste conclusies en aanbevelingen van de studie zijn opgenomen in hoofdstuk 8.

2 Meetgegevens van restwaterstromen

De fabrieken in Veghel en Borculo behoren beide tot de divisie ‘Ingredients’ binnen FrieslandCampina. Er worden onder andere vetten, suikers (zoals lactose) en eiwitten (zoals caseïne) uit de melk gehaald die dienen als ingrediënten voor verschillende toepassingen in de farmaceutische en voedingsmiddelenindustrie. Daarnaast wordt ingedikte melk en room geleverd aan andere locaties van FrieslandCampina of aan externe klanten om producten zoals boter en slagroom te maken. Water wordt gebruikt in verschillende processen, bijvoorbeeld bij het reinigen, wassen, steriliseren, pasteuriseren, koelen, verwarmen en in overige processen die nodig zijn voor de bereiding van zuivelproducten. In dit hoofdstuk worden de waterkwantiteit en -kwaliteit van de verschillende deelstromen van het restwater beschreven voor de locaties Veghel (paragraaf 2.1) en Borculo (paragraaf 2.2). De waterkwaliteit van het restwater van beide locaties wordt vervolgens in paragraaf 2.3 vergeleken met informatie uit de wetenschappelijke literatuur.

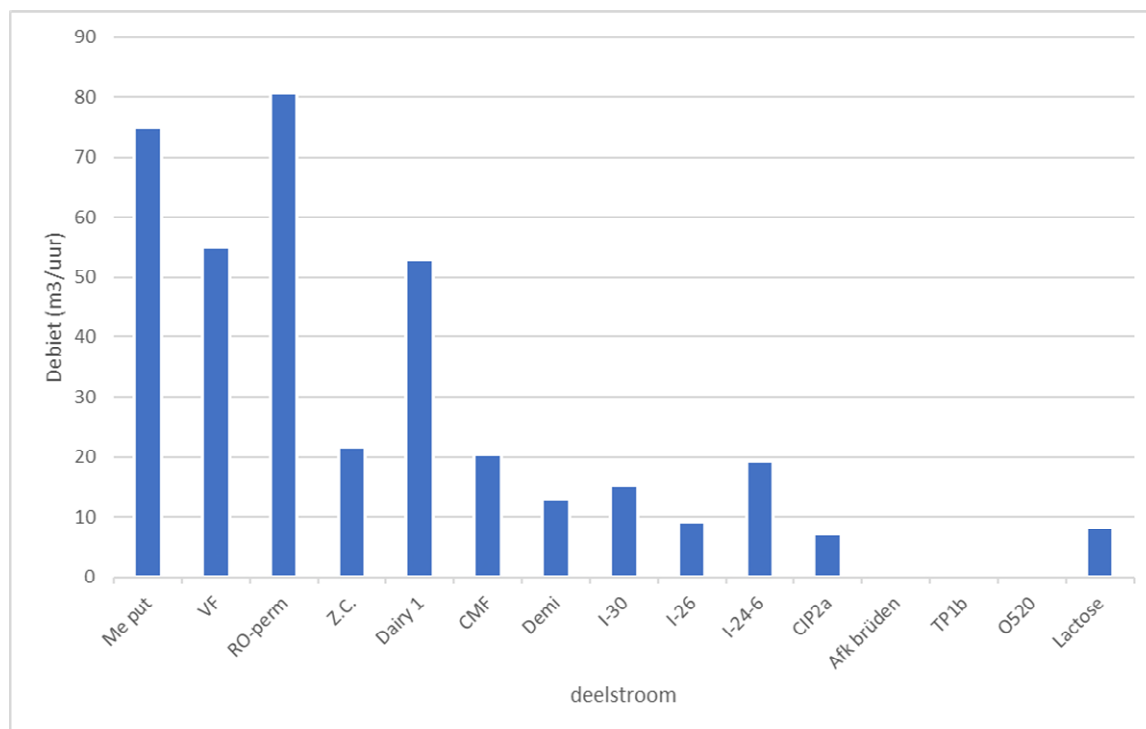
2.1 Veghel

In Veghel wordt water ingenomen vanuit grondwater en drinkwater. Daarnaast komt er water de fabriek binnen in de vorm van melk, wei en nog enkele kleine stromen. Al deze typen water worden in de fabriek verwerkt, waarbij er verschillende deelstromen aan restwater worden geproduceerd. Voor de analyse van de waterkwantiteit en -kwaliteit van de deelstromen is gebruikt gemaakt van meetgegevens van één week in april 2019, die door FrieslandCampina voor dit onderzoek zijn aangeleverd. De volumes en gemeten waterkwaliteit tijdens de meetweek worden door FrieslandCampina representatief geacht voor een heel jaar. Voor een uitleg bij de naamgeving van de verschillende deelstromen wordt verwezen naar Tabel 2-1. In Figuur 2-1 is een grafiek opgenomen van het debiet van de verschillende deelstromen. Een overzicht van de waarden van de bemeaten waterkwaliteitsvariabelen is te vinden in Tabel 2-2.

Tabel 2-1: Uitleg bij de naamgeving van de deelstromen.

Deelstroom	Uitleg
ME-put	Melkeiwitput
VF	Voorfabriek
RO-perm	RO-permeaat
Z.C.	Zeecontainer met het restwater uit het <i>Cleaning in place</i> -proces (CIP) van de UF/RO-installatie
Dairy1	Restwater uit het G-gebouw
CMF	Restwater uit de productie van koemelk-flesvoeding (<i>Cow's Milk Formula</i>) – o.a. microfiltratie van de WPC-productie (Weiproteïne-concentraat)
Demi	Restwater uit het ontzoutingsproces (demineralisatie)
I-30, I-26, I-24-6	Restwaterstromen van de verschillende indampers
CIP2a	Restwater van het CIP-proces (inclusief de keuken) op tankpark 2a
Lactose	Restwater uit de lactosefabriek

In de meetweek in 2019 is het debiet van de totale stroom restwater ongeveer 377 m³/uur. Uit aangeleverde gegevens van waterschap Aa en Maas blijkt dat jaarlijks ongeveer 3,6 miljoen m³ restwater wordt afgevoerd naar RWZI Dintther (gemiddelde 2019-2021). De wei die wordt aangevoerd naar de fabriek wordt ingedikt met een RO-installatie. Het permeaat hiervan wordt afgevoerd als restwater. De deelstroom RO-permeaat is de grootste stroom qua volume (80,7 m³/uur), maar bevat slechts 1-2% van de totale vracht chloride, fosfor, sulfaat en CZV en is daarmee stroom met een relatief goede waterkwaliteit. Wel bevat de stroom een relatief groot aandeel (19%) van de totale vracht stikstof. Dit wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van ureum. Het volume van deelstroom ME-put is eveneens groot (75,1 m³/uur) en bevat grote vrachten CZV, N en P. Het draagt bij aan 18,4% van de vuillast (ve). Een andere grote deelstroom is VF (54,9 m³/uur). De stroom heeft een pH van gemiddeld 11,9, wat kan worden verwacht voor een reststroom met zuivelrestanten. Een andere stroom die opvalt is deelstroom Demi, het restwater uit de demineralisatiestap. Deze stroom is relatief klein (13 m³/uur, 3,6% van het totaal) maar bevat wel 55% van de totale vracht chloride, en 25% van het P-totaal. Tot slot valt op dat enkele deelstromen opvallend hoge gehalten aan nitraat en nitriet hebben, waardoor de gehalten in de restwaterstroom als geheel ook vrij hoog zijn.



Figuur 2-1: Debiet van de deelstromen van het restwater in de fabriek in Veghel, gebaseerd op door FrieslandCampina aangeleverde gegevens van de meetweek in april 2019.

Tabel 2-2: Waarden van waterkwaliteitsvariabelen van de deelstromen van het restwater in de fabriek in Veghel, gebaseerd op door FrieslandCampina aangeleverde gegevens van de meetweek in april 2019. Alle getallen zijn in mg/L.

Deelstroom	Chloride	CZV	N-Kjeldahl	Nitraat	Nitriet	Sulfaat	P-totaal	P-totaal (gefilterd)	pH
ME-put	543	1214	83	471	46	34	23,7	8,7	10,0
VF	45	1366	44	300	8,5	1,0	8,7	4,4	11,9
RO-perm	12	127	33	0,2	0,05	7,4	1,9	1,8	4,2

Z.C.	25	835	63	38	0,05	4,0	30,4	17,6	8,6
Dairy 1	278	1638	69	313	5,7	116	31,5	16,9	9,1
CMF	51	2239	101	81	5,0	18	13,1	5,6	10,9
Demi	6259	2808	139	1507	0,05	376	287	322	5,3
I-30	40	3329	40	4260	0,05	8,6	83,0	67,5	2,6
I-26	36	2850	33	12.606	0,06	2524	372	343	1,3
I-24-6	22	1563	30	9241	0,05	2171	265	280	1,4
CIP2a	76	3366	52	533	2,0	45	33,7	17,3	8,5
Lactose	487	7979	42	9,4	0,3	67	26,7	19,5	5,7
Gehele afvalstroom	413	1456	61	1264	12	226	53	46	7,6

2.2 Borculo

In de fabriek op locatie Borculo worden de sanitaire waterstromen gescheiden gehouden van de proceswaterstromen. De sanitaire waterstromen worden afgevoerd naar RWZI Haarlo. Deze worden niet beschouwd voor waterhergebruik. Van de proceswaterstromen wordt één stroom behandeld voor intern waterhergebruik. De samenstelling en het debiet staan in Tabel 2-3.

Tabel 2-3: Samenstelling van condensaatstroom in Borculo, aangeleverd door FrieslandCampina.

Parameter	eenheid	waarde
Debiet	m ³ /jaar	200.000
	m ³ /dag	548
Temperatuur	°C	30
pH		6,5 – 8,5
Zwevende stof (TSS)	mg/L	20
Chloride	mg/L	50
CZV	mg O ₂ /L	50
Stikstof (N-Kjeldahl)	mg N/L	5
Nitraat	mg N/L	15
Nitriet	mg N/L	0,5
Fosfaat	mg P/L	1
Zuurstof	mg O ₂ /L	mini. 5

IJzer	mg/L	10
-------	------	----

De overige proceswaterstromen, gemiddeld 6165 m³/dag, worden gecombineerd afgevoerd via een pijpleiding richting Zutphen, ongeveer 30 km ten westen van de fabriekslocatie. Op jaarbasis gaat het gemiddeld om 2,25 miljoen m³. Onderweg wordt het gecombineerd met het proceswater afkomstig van de fabriek van FrieslandCampina in Lochem (gemiddeld 8767 m³/dag). Het gecombineerde proceswater (gemiddeld ongeveer 15.000 m³/dag) wordt in Zutphen behandeld in een zuiveringsinstallatie met Nereda-technologie (de Bruin et al., 2012). Dit is een korrelslibreator, inclusief influentbuffer, die als doel heeft het verwijderen van verontreinigingen gecombineerd met het produceren van zoveel mogelijk slib. Uit het slib wordt het biopolymeer Kaumera¹ gewonnen, een biologisch afbreekbaar product dat verschillende eigenschappen heeft zoals water vasthouden en afstoten, een brandvertragende werking en een functie als bindmiddel voor onder andere composietmaterialen. De capaciteit van de Nereda-installatie is ongeveer 7500 m³/dag. Het effluent uit het Nereda-proces wordt afgevoerd naar de RWZI, waarna het samen met het effluent uit de RWZI zelf wordt geloosd op de IJssel. Deze constructie heeft als voordeel dat, mocht de zuivering in de Nereda-installatie niet voldoen aan de zuiveringsdoelstelling, het Nereda-effluent op de RWZI nog verder gezuiverd kan worden. Een ander voordeel is dat het teveel aan restwater vanuit Borculo en Lochem (ongeveer de helft van de aanvoer) direct kan worden doorgestuurd naar de RWZI, waar dit overtollige water alsnog gezuiverd wordt.

Van deze restwaterstromen zijn geen afzonderlijke gegevens over kwantiteit en kwaliteit beschikbaar voor de huidige studie. Om toch een globaal beeld te krijgen van de waterkwaliteit van de proceswaterstromen, is gebruikt gemaakt van kwaliteitsmetingen van influent en effluent van de Nereda, aangeleverd door waterschap Rijn en IJssel. De aanname hierbij is dat de kwaliteit van het influent van de Nereda een maat is voor de kwaliteit van het restwater dat de fabriek in Borculo verlaat. De gegevens over het Nereda-influent zijn deels daggemiddelden uit 2022 en deels gemiddelden van steekmonsters die zijn gedaan in de influentbuffer. Ook van het Nereda-effluent zijn daggemiddelde gegevens over 2022 beschikbaar, die zijn aangevuld met vijf fosfaatmetingen uit mei 2023. De gemiddelde metingen, inclusief standaardafwijking en minimale en maximale meetwaarde, zijn opgenomen in Tabel 2-4.

Uit de meetgegevens van het influent volgt dat de variatie binnen de metingen per variabele groot is, met vrij grote verschillen tussen de minimale en maximale waarde. Dit wordt verder geïllustreerd door de metingen van CZV en N-Kjeldahl uit de influentbuffer (steekmonsters), die sterk afwijken van het daggemiddelde. Het vasthouden van het restwater in de influentbuffer lijkt de restwatereigenschappen te veranderen. Verschillen in het aantal gemeten monsters en het type monster dat is verzameld (steekmonsters of samengestelde monsters) kunnen ook verantwoordelijk zijn voor de verschillen in waterkwaliteit tussen de buffer en het influent van Nereda. Verder blijkt het influent verschillende zuren te bevatten. Het CZV van het Nereda-effluent is ongeveer een factor 15 lager dan van het influent. Ook de concentratie zwevende stof is sterk afgenomen. Uit de metingen uit mei 2023 blijkt dat de orthofosfaatconcentratie van het effluent ongeveer gemiddeld 0,9 mg P/L bedraagt. Dit is lager dan de lozingseis voor oppervlaktewater van 1 mg P/L.

Tabel 2-4: Waterkwaliteitsgegevens van het influent en effluent van de Nereda-installatie in Zutphen. Gegevens zijn aangeleverd door waterschap Rijn en IJssel.

Categorie meetgegevens			Gemiddelde	SD	Min	Max
Influent Nereda – daggemiddelde 2022	CZV	mg/L	1124	323	760	2320
	CZV (na filtratie)	mg/L	449	203	250	1480

¹ <https://www.efgf.nl/projecten/grondstoffenfabriek-kamera>

	BZV5	mg/L	571	160	370	1250
	Stikstof (N-Kjeldahl)	mg-N/L	76	12	56	134
	Ammonium	mg-N/L	30,3	7,6	12,2	52,0
	Nitriet	mg-N/L	0,086	0,266	0,020	1,200
	Nitraat	mg-N/L	0,062	0,068	0,050	0,470
Influentbuffer Nereda – steekmonsters (2022)	CZV	mg/L	2089	1570	530	7330
	Stikstof (N-Kjeldahl)	mg-N/L	106	55	46	328
	Zwevende stof (TSS)	mg/L	1035	1199	140	6900
	Fosfaat	mg-P/L	10,0	1,6	7,5	14,0
	P-totaal	mg/L	20,9	3,7	15,0	39,0
	Azijnzuur	mg/L	212	126	40	590
	Boterzuur	µg/L	11917	8055	5000	32000
	Isoboterzuur	µg/L	11194	4869	5000	23000
	Isovaleriaan-zuur	µg/L	15417	8630	5000	39000
	Propionzuur	µg/L	72704	61425	330	280000
	Valeriaanzuur	µg/L	5917	1422	5000	10000
Effluent Nereda – daggemiddelde 2022	CZV	mg/L	85,5	63,9	47,0	400
	Fosfaat (na filtratie)	mg-P/L	4,0	3,3	0,9	18,0
	Totaal fosfor	mg/L	5,6	5,3	1,6	33,0
	Zwevende stof (TSS)	mg/L	33,2	64,4	5,0	380
Effluent Nereda – gemiddelde van 5 metingen in mei 2023	Fosfaat	mg-P/L	0,90	-	0,46	1,62

Het effluent dat de Nereda verlaat, is niet in contact geweest met sanitairwater en daardoor in principe vrij van (humane) pathogenen en organische microverontreinigingen (OMV's) zoals medicijnresten. Dit maakt het effluent interessant als alternatieve bron van zoet water. Doordat het effluent wordt afgevoerd naar RWZI Zutphen, raakt het echter alsnog vervuild met pathogenen en OMV's. Daarnaast is het nadelig voor de biologische zuivering op de RWZI dat het influent sterk wordt verdund met het al behandelde water uit de Nereda. Indien het effluent van de

Nereda apart zou worden afgevoerd, kan dit de RWZI ontlasten en kan het water beschikbaar komen voor hergebruik.

De aanname dat de kwaliteit van het influent van de Nereda overeenkomt met de kwaliteit van het restwater uit Borculo, is waarschijnlijk niet correct. Tijdens de afvoer van het restwater vanuit Borculo richting Zutphen vindt er waarschijnlijk al een gedeeltelijke afbraak van het CZV plaats, doordat de pijpleiding als een anaerobe reactor kan fungeren. Over de gevolgen van dit proces zijn geen gegevens of metingen bekend. Daarnaast zijn er in het huidige project geen gegevens bekend over de watersamenstelling van de fabriek in Lochem, en de invloed daarvan op de kwaliteit van de waterstroom richting de Nereda-installatie. In de fabriek in Lochem wordt, naast de productie van deels dezelfde ingrediënten als in Borculo, ook room verwerkt tot boter en poedermelk geproduceerd. De samenstelling van het restwater uit Lochem is daardoor naar verwachting anders dan in Borculo.

2.3 Vergelijking met literatuur

Om te onderzoeken of de waterkwaliteit van de restwaterstromen uit Veghel en Borculo representatief zijn voor restwater uit de zuivelsector, is nader literatuuronderzoek gedaan naar kwaliteitskenmerken van restwaterstromen uit de zuivelindustrie. Er zijn geen studies gevonden waarin de kwaliteit van de verschillende restwaterstromen van melkverwerking uitgebreid wordt beschreven. Er is meer informatie beschikbaar over de restwaterkwaliteitskenmerken van het totale restwater dat wordt geproduceerd op de locatie van zuivelfabrieken, bijvoorbeeld in experimentele studies of rapportages over best beschikbare technieken (BBT).

De kwaliteit van het restwater van de verschillende stromen op een zuivellocatie zal variëren afhankelijk van de kwaliteit van de grondstoffen en het toegepaste productieproces, dat varieert afhankelijk van de geproduceerde producten (Brião & Granhen Tavares, 2007). In een rapportage over best beschikbare technologieën voor emissiebeheersing van zuivelfabrieken wordt gesteld dat er grote verschillen productieprocessen van verschillende zuivelproducten zijn (Giner Santonja et al., 2019). In het algemeen wordt restwater in de zuivelindustrie voornamelijk geproduceerd uit verdunde melk of melkproducten (Balannec et al., 2002) en reinigingsproducten. Het restwater van zuivelbedrijven wordt doorgaans gekenmerkt door hoge waarden voor CZV, stikstof, fosfor, olie en vetten (Brião & Granhen Tavares, 2007).

Enkele bronnen in de literatuur bevatten overzichten van kwaliteitsgegevens van het totale restwater uit zuivelfabrieken. In Tabel 2-5 worden de meetgegevens uit Veghel en Borculo vergeleken een zuivelfabriek in India (Sarkar et al., 2006) en het gemiddelde van zes zuivelfabriek in Ierland (O'Connor et al., 2018). Wat opvalt is dat er verschillende parameters worden gemeten op de verschillende locaties. In zowel het influent van de Nereda-installatie als in het restwater in de studie uit India is de CZV concentratie hoog, namelijk >1000 mg/l. Opvallend is de lage ammonium- en hoge nitraatconcentratie in het Ierse onderzoek, terwijl dat bij het influent in de Nereda juist een hoog ammonium- en laag nitraatgehalte is. In de pijpleiding naar Zutphen toe heersen anaerobe omstandigheden en mogelijk heeft daar een omzetting van ammonium naar nitraat plaatsgevonden. Bij Veghel is geen ammonium gemeten maar is nitraat erg hoog, voornamelijk veroorzaakt door twee deelstromen. Stikstof is gemiddeld ongeveer 1300 mg/L (N-tot) in Veghel terwijl in de literatuurbronnen en in het influent van de Nereda maar ongeveer <100 mg/L N aanwezig is. In het Ierse onderzoek is ook de chlorideconcentratie redelijk hoog, hoger dan de lozingseis op oppervlaktewater van 150 mg/l. Dit geldt ook voor het restwater in Veghel.

Tabel 2-5: Vergelijking van waterkwaliteit van het restwater uit de fabriek in Veghel en het influent van de Nereda in Zutphen met gegevens uit twee literatuurreferenties.

Variabele	Fabriek Veghel	Influent Nereda Zutphen	Gefiltreerd onbewerkt zuivelafvalwater, India (Sarkar et al., 2006)	Gemiddelde van zes bedrijven in Ierland (O'Connor et al., 2018)
pH (-)	7,6		6,61	7,16

Zwevende stof (TSS) (mg/L)		1035	216	
Hardheid (mg/L)			125	
Chloride (mg/L)	413		70,4	212
CZV (mg/L)	1456	1124-2089	1080,5	
FOG (mg/L)			216	
BZV (mg/L)		571	540	
Ammonium (mg-N/L)		30,3		0,24
N-Kjeldahl (mg/L)	61	76-106		
Nitraat (mg-N/L)	1264	0,062		38,6
Nitriet (mg-N/L)	12	0,086		0,37
Fluoride (mg/L)				0,71
Sulfaat (mg/L)	226			210,7
Tot-P (mg/L)	53	20,9	1,5	

Enkele bronnen in de literatuur verwezen naar de verschillende restwaterstromen die in zuivelfabrieken worden geproduceerd, maar de kwaliteit van de restwaterstromen werd nauwelijks benoemd. Buabeng-Baidoo et al. (2017) onderzochten bijvoorbeeld hoe het hergebruik van water uit *cleaning-in-place*-processen (CIP) kan worden geoptimaliseerd door middel van procesmodellering van een groot melkinzamelingsbedrijf in India. De restwaterkwaliteit werd gekarakteriseerd door CZV- en TSS-metingen. De CIP2a-stroom in Veghel heeft ook een relatief hoge CZV-concentratie in vergelijking met de overige waterstromen (ca 1500 mg/L, zie Tabel 2-5). Balannec et al. (2002) rapporteerden het gebruik van nanofiltratie en omgekeerde osmose (RO) voor de behandeling van kunstmatig afvalwater, bestaand uit verdunde melk. Volgens de auteurs is een enkele membraanoperatie niet genoeg om de kwaliteit van het water voor hergebruik te bereiken. De membraanstap is in staat om lactose en ionen te verwijderen en het CZV sterk te verlagen, maar de concentraties in het permeaat bleven te hoog voor waterhergebruik, zelfs bij toepassing van RO.

Giner Santonja et al. (2019) vermelden indirect de kenmerken van de restwaterkwaliteit bij het adviseren van specifieke technologieën. Figuur 2-2 toont de mogelijke waterrecycling- en hergebruik die kunnen worden geïmplementeerd op locaties van zuivelbedrijven op basis van deze referentie.

Reuse	Use	CIP used cleaning solution	CIP final rinse	Condensate	Permeate from RO installation
	Cleaning the outsides of vehicles	1	1	1	1
	Crate cleaning	2	1	1	1
	Manual cleaning of the outside of equipment	3	3	1	1
	CIP pre-rinse	2	1	1	1
	CIP main cleaning supply	3	3	3	1
	CIP final rinse	NO	3	3	3
	Water purge of product lines	NO	3	3	3
NB: 1 = Direct reuse; 2 = Reuse after screening of solids; 3 = Reuse after advanced treatment, e.g. membrane separation and/or disinfection; NO = no reuse. Source: [192, COM 2006]					

Figuur 2-2 : Mogelijkheden voor waterhergebruik in zuivelfabrieken. Bron: Giner Santonja et al. (2019), met verwijzing naar bron 192, COM 2006.

Volgens Figuur 2-2 kan waterhergebruik in proceswater worden geïmplementeerd door het toepassen van screening van vaste stoffen en meer geavanceerde technologieën als RO en desinfectie. Filters worden toegepast voor het verwijderen van zwevende deeltjes en RO voor het verwijderen van ionen, zoals chloride. Hoewel pathogene micro-organismen in principe niet aanwezig zullen zijn in het restwater, wordt desinfectie niettemin vaak toegepast als een veiligheidsstap om het risico op mogelijke besmettingen te verminderen.

3 Analyse watersysteem

Inzicht in het bodem- en watersysteem biedt belangrijke informatie in de latere afweging van hergebruiksopties. Dit hoofdstuk bevat een beschrijving van het gebied, de geohydrologie en een kwantitatief overzicht van de waterstromen op en rondom de locaties Veghel (paragraaf 3.1) en Borculo (paragraaf 3.2).

3.1 Veghel

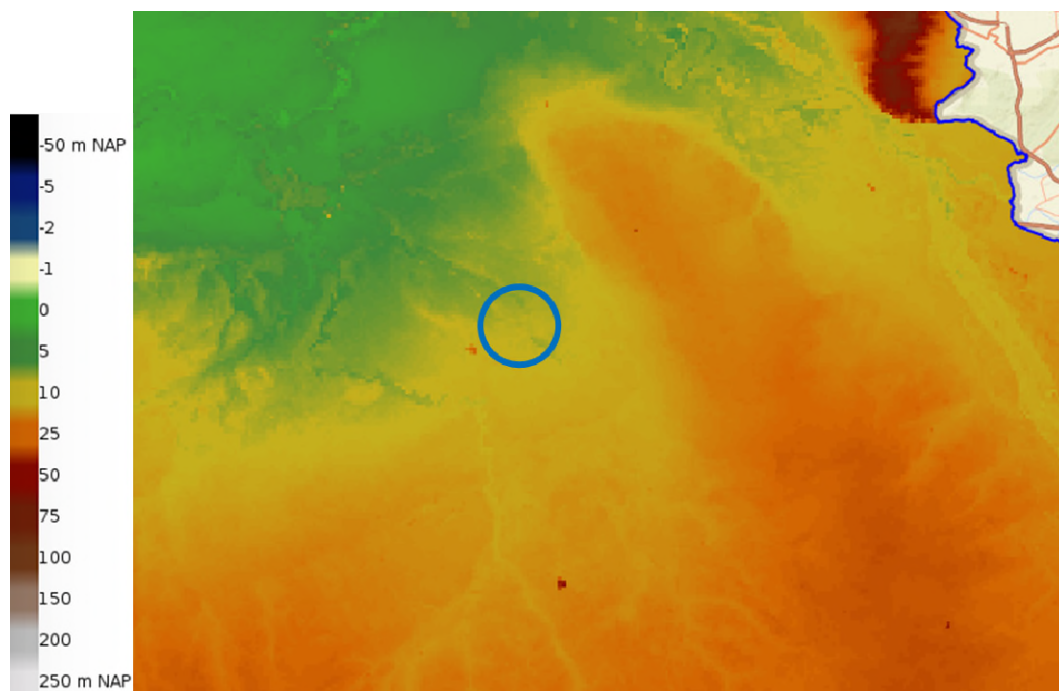
3.1.1 Gebiedsbeschrijving en geohydrologie

De fabriek van FrieslandCampina in Veghel ligt in het beekdal van de rivier de Aa, die ten oosten van de locatie stroomt. Net ten westen van de locatie loopt de Zuid-Willemsvaart. Het maaiveld ligt op 9-10 m+NAP. In Figuur 3-1 is een kaartje met de maaiveldhoogte in de wijde omtrek van de projectlocatie, waarbij de locatie van FrieslandCampina blauw is omcirkeld. Het maaiveld is het hoogste ten zuidoosten van de fabriekslocatie en loopt af naar het noordwesten. De fabriek ligt globaal op de overgang van de hoge zandgronden in het oosten en zuiden naar het lager gelegen riviergebied in het noordwesten. FrieslandCampina ligt op het industrieterrein van Veghel, nabij stedelijk gebied. In de omgeving is hoofdzakelijk landbouw aanwezig (Figuur 3-2), met name maïs en grasland, met verspreid liggend ook enkele bosgebieden.

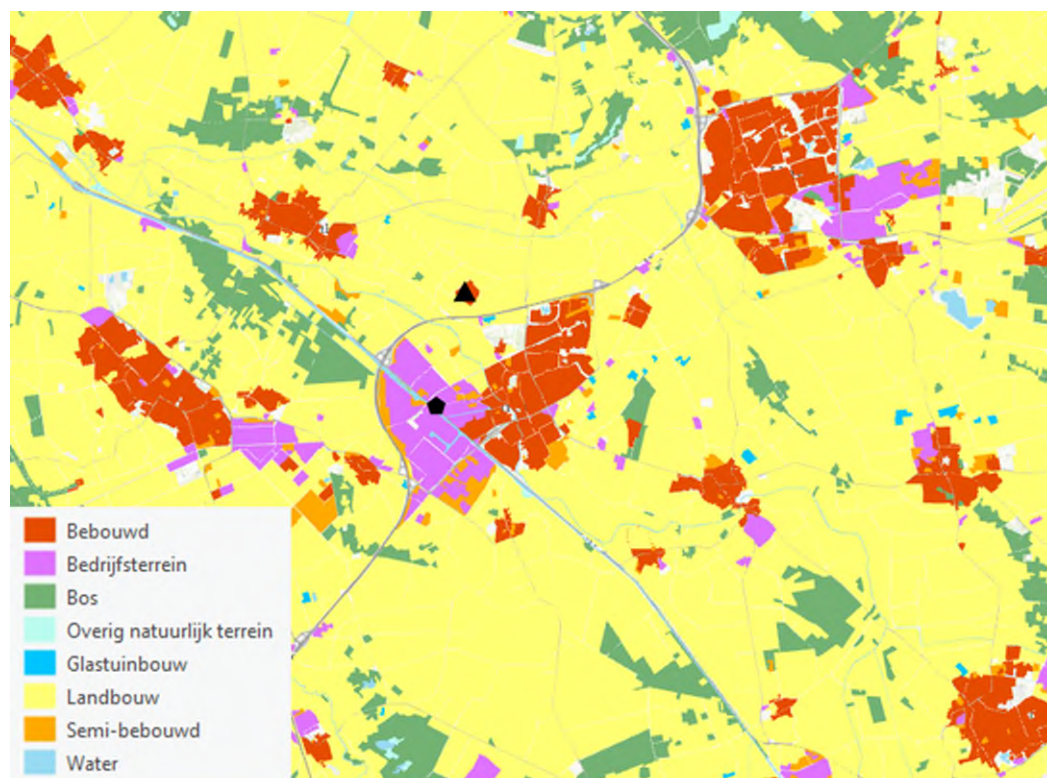
In Figuur 3-3 is een verticale doorsnede opgenomen, opgesteld ter hoogte van de projectlocatie, waarin tot een diepte van ongeveer 180 m-mv (170 m-NAP) de geohydrologische opbouw van de ondergrond is weergegeven. Het is een doorsnede van noordwest (A) naar zuidoost (A'), waarbij de verticale zwarte lijntjes de locatie aangeven van RWZI Dinther (linker lijn) en FrieslandCampina (rechter lijn). Alle lagen met 'z' betreffen zandlagen, de lagen met een 'k' betreffen kleilagen (slecht doorlatend). Uit de doorsnede volgt dat de ondergrond op de projectlocatie tot circa 70 m-mv voornamelijk uit watervoerende zandlagen bestaat (formaties van Boxtel, Beegden en Sterksel). Mogelijk komen lokaal leem- of kleilaagjes voor. De horizontale doorlatendheid (k) van de watervoerende pakketten varieert tussen 5 en 100 m/d, met een geschat totaal doorlaatvermogen (kD) van 600 tot 1600 m²/d. De bovengrond (bodem) bestaat hoofdzakelijk uit fijn zand (dekzand, formatie van Boxtel).

In Figuur 3-4 is een kaart opgenomen van het voorkomen van kwel (blauwe kleuren) en wegzijging (rode kleuren) in de omgeving van de fabriek in Veghel. Zowel de RWZI als de fabriek (groen omcirkeld) ligt in het beekdal van de Aa, wat van nature een kwelgebied is (tussen 0 en 1 mm/d). Ook in het landbouwgebied ten noorden van RWZI Dinther en in het gebied ten westen van Veghel treedt overwegend lichte kwel vanuit het grondwater op. Verder naar het oosten, op de hogere rug in de omgeving van Uden, komt overwegend wegzijging voor.

Figuur 3-5 geeft een beeld van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG; in feite de grondwaterstand in de winter) in de omgeving van de fabriek van FrieslandCampina. Het stedelijke gebied rondom de fabriek is vrij goed ontwaterd, met grondwaterstand rond 1 m-mv. In het agrarische gebied ten noorden van RWZI Dinther kan het in de winter lokaal vrij nat zijn, met grondwaterstanden minder dan 0,5 m-mv op sommige plekken. De Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG), die doorgaans voorkomt in de zomer, ligt gemiddeld een meter lager dan de GHG.

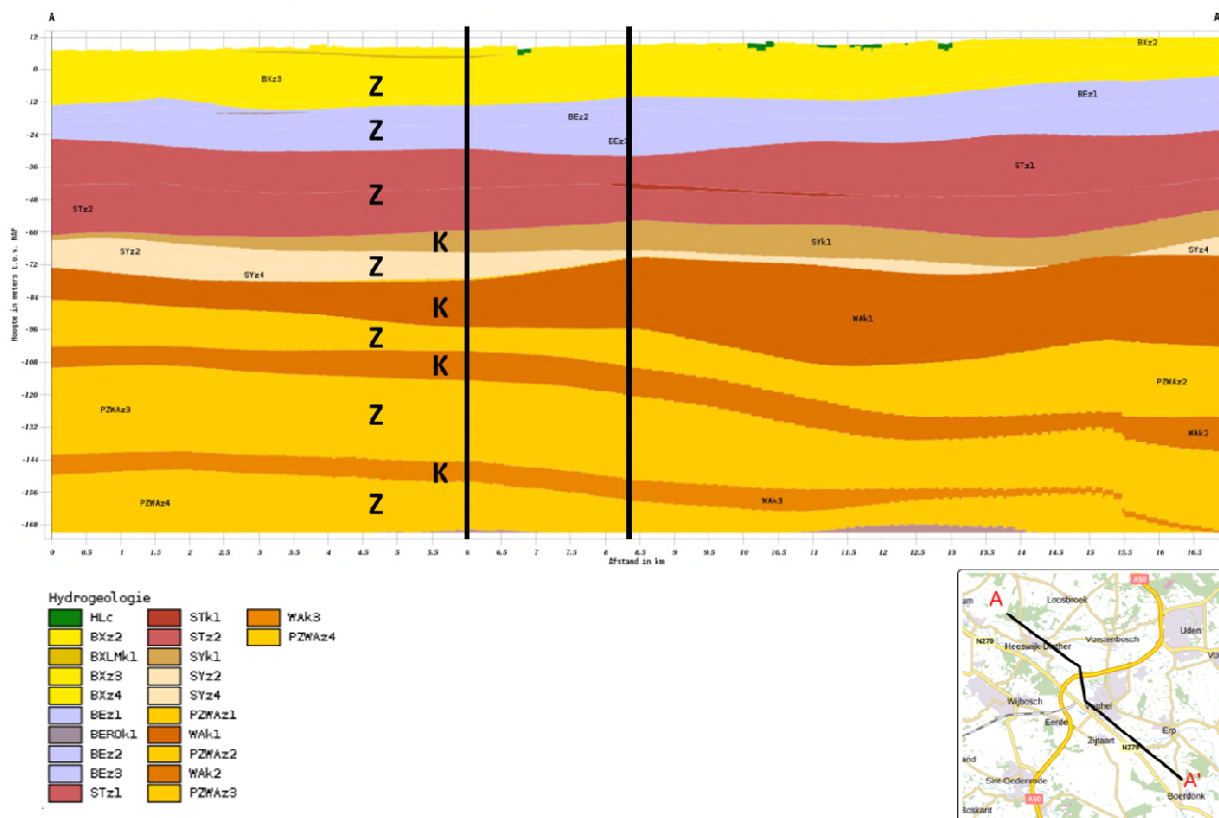


Figuur 3-1: Maaiveldhoogte in de wijde omtrek van locatie Veghel (blauw omcirkeld). Bron: schematisatie LHM 4.1 via NHI dataportaal.

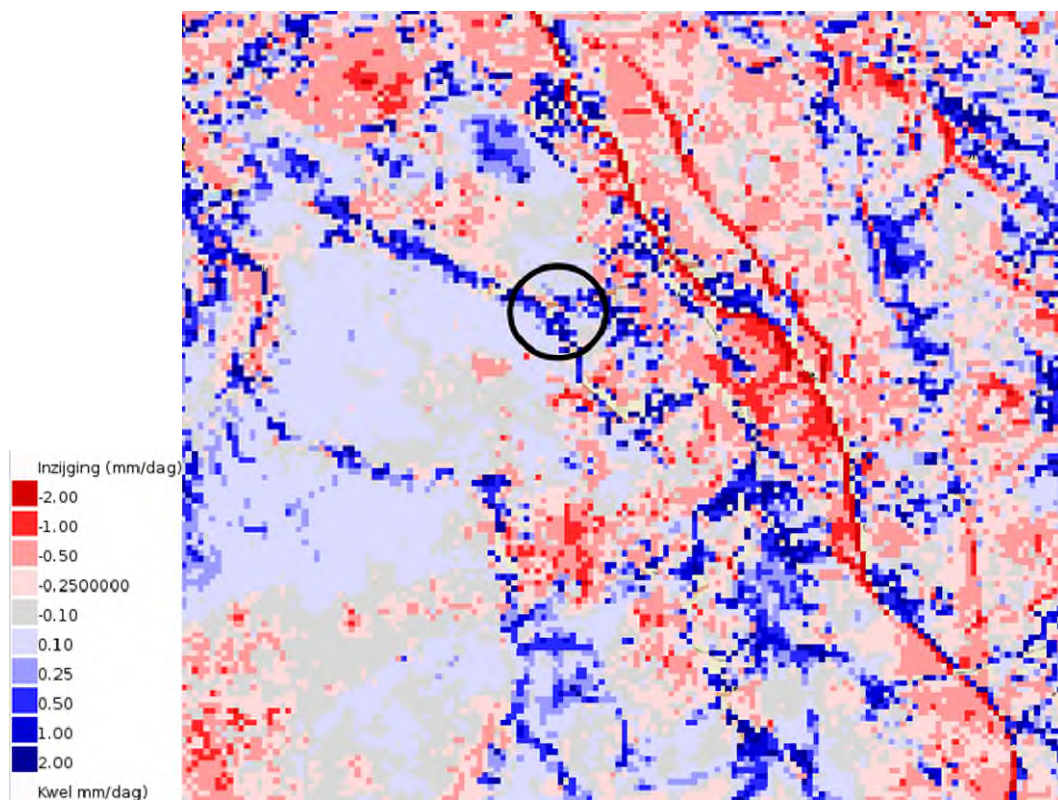


Figuur 3-2: Landgebruik in de omgeving van de fabriek van FrieslandCampina in Veghel. De zwarte vijfhoek is de locatie van de fabriek, de zwarte driehoek is de locatie van RWZI Dinther. Bron: Bestand Bodemgebruik (BBG), 2015.

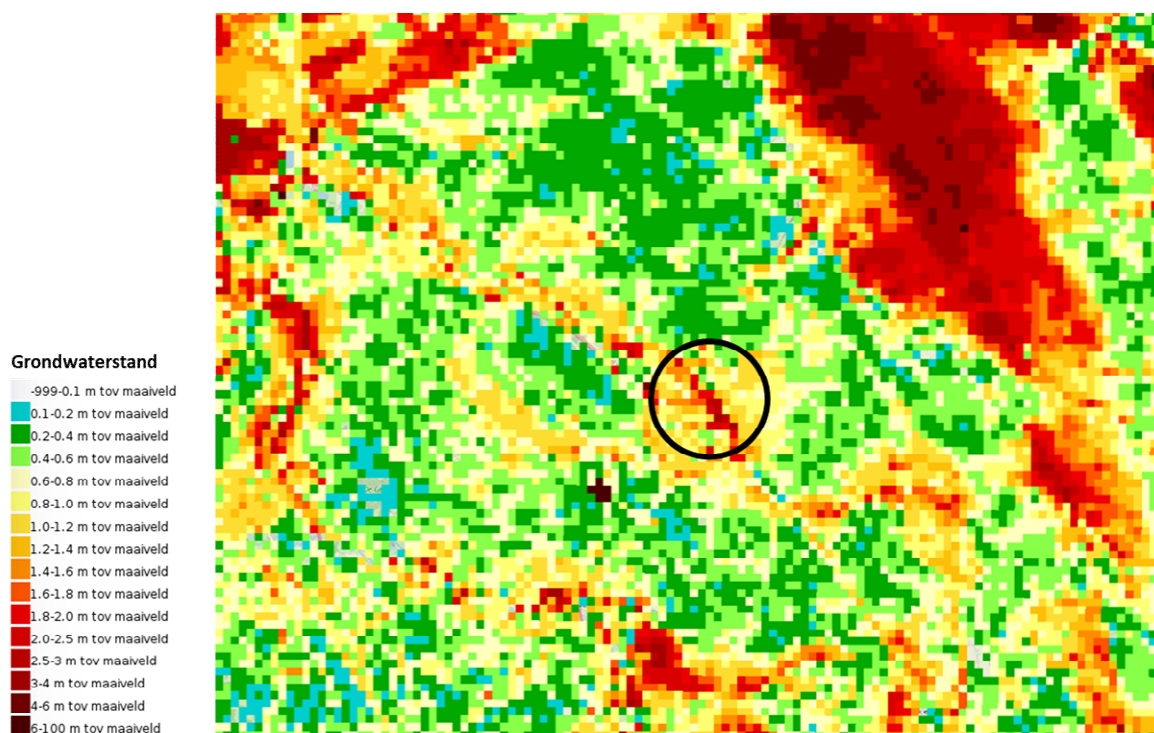
Verticale Doorsnede BRO REGIS II v2.2.1



Figuur 3-3: Geohydrologische doorsnede ter hoogte van de fabriek van FrieslandCampina in Veghel. Z = zandlaag; K = kleilaag. De linker verticale zwarte lijn is de locatie van RWZI Dinther; de rechter lijn is de locatie van FrieslandCampina. Bron: BRO REGIS II.



Figuur 3-4: Kwel en wegzijging in de omgeving van FrieslandCampina Veghel. De fabriek en RWZI Dinther bevinden zich binnen de groene cirkel. Bron: LHM 4.1, via NHI Dataportaal.



Figuur 3-5: Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) over de periode 2011-2018. RWZI Dinther en FrieslandCampina bevinden zich binnen de blauwe cirkel. Bron: LMH 4.1, via NHI Dataportal.

3.1.2 Overzicht waterstromen

Gegevens over de hoeveelheden geleverd drinkwater en onttrokken grondwater door FrieslandCampina Veghel zijn opgevraagd bij FrieslandCampina en provincie Noord-Brabant. De fabriek in Veghel gebruikt zowel drinkwater als zelf onttrokken grondwater binnen het bedrijfsproces. Jaarlijks wordt 1 miljoen m³ grondwater onttrokken (gemiddelde in de periode 2018-2021) en 900.000 m³ drinkwater gebruikt (gemiddelde 2018-2021). De fabriek voert het restwater af naar RWZI Dinther, in totaal ongeveer 3,6 miljoen m³/jaar (gemiddelde 2019-2021). Door het jaar heen is de hoeveelheid restwater vrij constant. In de droge maand juli van 2019 bedroeg de hoeveelheid ruim 300.000 m³. Het verschil tussen de hoeveelheid restwater ('afvoer') en de hoeveelheden drinkwater en grondwater ('aanvoer') betreft de externe aanvoer in de vorm van ruwe zuivel (1,7 miljoen m³/jaar).

RWZI Dinther heeft een aanvoergebied van ongeveer 230 km² en omvat onder andere de plaatsen Schijndel, Veghel en Uden. Gegevens over effluentvolumes zijn opgevraagd bij waterschap Aa en Maas. Gemiddeld produceert de RWZI 17 miljoen m³ effluent per jaar (gemiddelde over 2018-2021). In het zomerhalfjaar (april-september) gaat het gemiddeld om 7,7 miljoen m³, en in de maand juli om ongeveer 1 miljoen m³. Het effluent wordt in principe geloosd op de Beekgraaf, een waterloop die verderop in de Aa uitmondt. Vooral in droge zomers vindt in het kader van droogtebestrijding via het oppervlaktewater overstort van een deel van het effluent plaats richting het landelijk gebied ten noorden van het RWZI-terrein. In sommige jaren gaat het om bijna 1 miljoen m³/jaar met 400.000-500.000 m³ in de maand juli, maar bijvoorbeeld in 2020 heeft geen overstort van effluent via deze route plaatsgevonden.

De omgeving van FrieslandCampina en RWZI Dinther is een agrarisch gebied, waar op veel plekken beregening plaatsvindt, waarvoor grondwater wordt onttrokken. De aanname is dat de onttrekking enkel in de periode april tot augustus plaatsvindt, met 25% van het jaartotaal onttrokken in juli (Krajenbrink et al., 2021). Bij waterschap Aa en Maas is informatie opgevraagd over de hoeveelheden en globale locaties van de onttrekkingen binnen het werkgebied van het waterschap. Binnen een straal van 5 km gaat het om 900.000 m³/jaar (gemiddelde over 2018-

2021). Voor de droge maand juli 2019 wordt de hoeveelheid ingeschat op 264.000 m³ (25% van het jaartotaal). Binnen een straal van 10 km gaat het om 4,4 miljoen m³/jaar (2018-2021) en 1,16 miljoen m³ in juli 2019. In Figuur 3-6 zijn de locaties van de onttrekkingen rondom de fabriek van FrieslandCampina weergegeven. In het kaartje valt op dat de watervraag verder naar het oosten groter is dan in de directe nabijheid van de fabriek en de RWZI. Verder naar het oosten ligt het maaiveld hoger en ligt de grondwaterstand dieper ten opzichte van maaiveld, waardoor het gebied gevoeliger is voor droogte. In droge periode zal landbouw in deze regio meer beregening nodig hebben dan in de nabijheid van de RWZI (nabij de Aa), waar de droogtegevoeligheid minder is. Merk op dat de gegevens uit waterschap De Dommel niet bij ons bekend zijn en dus niet op de kaart voorkomen (gebied ten zuidwesten van Veghel en Schijndel).

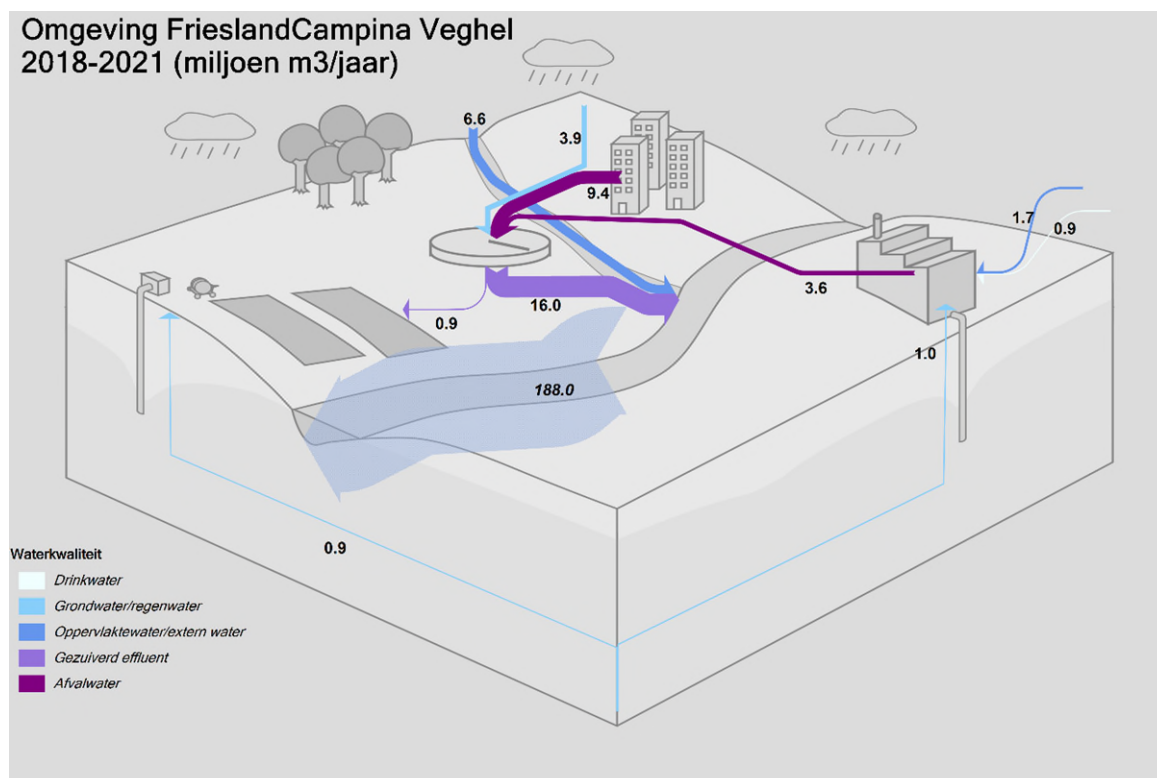


Figuur 3-6: Onttrekkingen van grondwater ten behoeve van de landbouw in de omgeving van FrieslandCampina (vijfhoek) en RWZI Dinther (driehoek) in 2021. De grootte van de bollen is een maat voor de onttrokken hoeveelheid. De bol tussen Veghel en Uden, aangeduid met 1, is 215.000 m³/jaar; de grootste bol rechts in beeld, aangeduid met 2, is 792.000 m³/jaar. De rode cirkels geven de straal van 5 en 10 km rondom FrieslandCampina aan. Alleen de onttrekkingslocaties binnen het werkgebied van waterschap Aa en Maas worden getoond. De groene lijn is de grens tussen de waterschappen Aa en Maas (ten noordoosten van de lijn) en De Dommel (ten zuidwesten van de lijn).

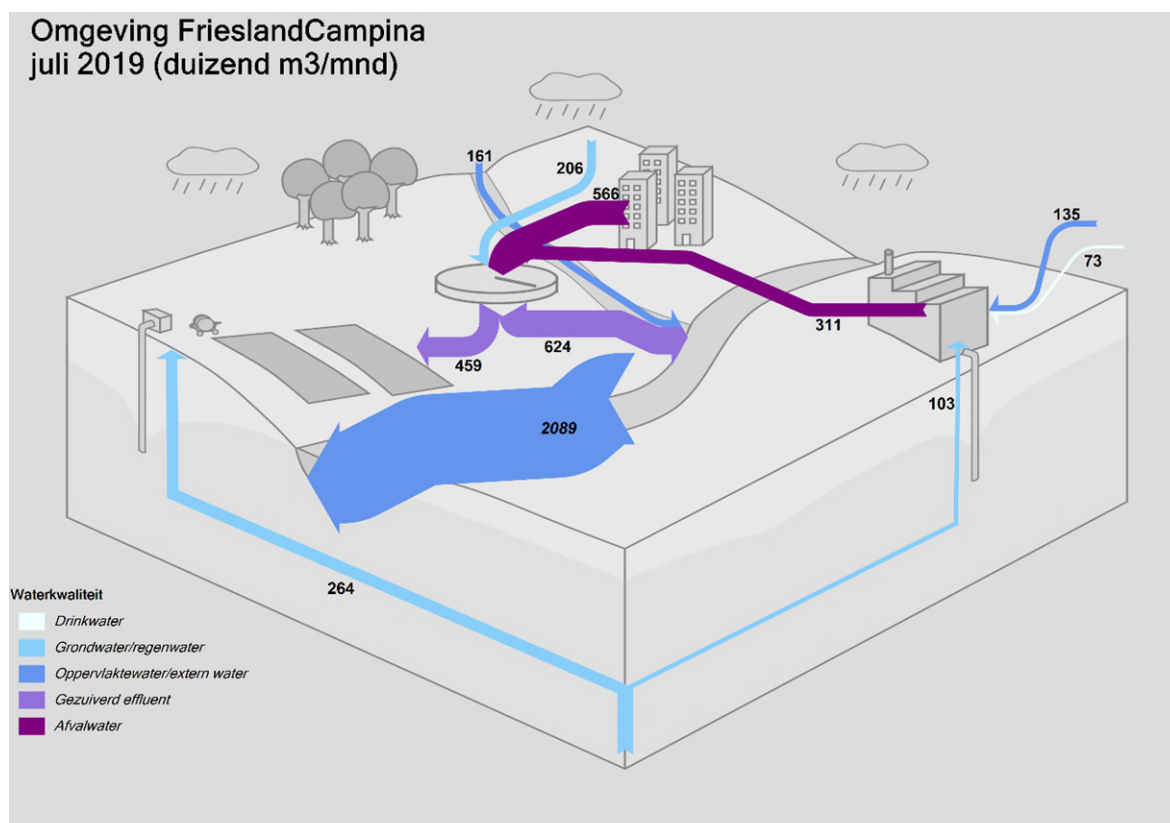
Afvoergegevens van waterlopen in de omgeving van Veghel zijn opgevraagd bij het waterschap. RWZI Dinther loost op de Beekgraaf. De afvoer van deze beek, bovenstrooms van het lozingspunt bepaald, is gemiddeld 0,23 m³/s, ofwel 6,6 miljoen m³/jaar. In een gemiddelde zomer (april-september) bedraagt de afvoer 0,14 m³/s, ofwel 2,2 miljoen m³. In de droge maand juli 2019 was de afvoer een stuk lager: 0,06 m³/s, ofwel 161.000 m³. De afvoer van de rivier de Aa ter hoogte van de monding van de Beekgraaf is lastig te schatten, aangezien hier geen meetpunt is. Iets verder benedenstrooms is de gemiddelde jaarafvoer berekend op 6 m³/s (188 miljoen m³/jaar) en de

zomerafvoer op 3,65 m³/s (58 miljoen m³ voor de periode april-september). In juli 2019 bedroeg de afvoer 0,78 m³/s (2,1 miljoen m³).

Op basis van bovenstaande gegevens zijn twee Sankey-stroomdiagrammen getekend van de belangrijkste waterstromen rondom de fabriek van FrieslandCampina in Veghel en de RWZI Dinther. Sankey-diagrammen geven een schematische weergave van verbindingen binnen/tussen waterketen en watersysteem, waarbij de dikte van de pijlen proportioneel is voor de watervolumes per tijdseenheid (Krajenbrink et al., 2021; Pronk et al., 2020). De nadruk ligt op antropogene waterstromen, maar de beek- en rivierafvoer worden ook getoond. De landbouwwatervraag (grondwateronttrekkingen) representeert de vraag binnen een straal van 5 km van FrieslandCampina. Uit het Sankey-diagram van een gemiddeld jaar (Figuur 3-7) is af te leiden dat de meeste antropogene waterstromen veel kleiner zijn dan de afvoer van de Aa (laatstgenoemde pijl is niet op de juiste relatieve grootte weergegeven omdat dit het diagram te veel zou vertekenen). Het geeft een beter beeld om te kijken naar de verhoudingen van de waterstromen ten tijde van droogte, bijvoorbeeld in de droge maand juli 2019 (Figuur 3-8). De afvoer van de Aa is nog steeds een stuk hoger dan bijvoorbeeld de afvoer van effluent, maar de verschillen zijn lang niet zo groot als wanneer op jaarbasis wordt gekeken. De beschikbare stroom effluent lijkt qua grootte in principe voldoende om een deel van de watervraag in het gebied op te vangen, bijvoorbeeld landbouwwatervraag. Het restwater van FrieslandCampina zou in een situatie als in juli 2019 in theorie de volledige landbouwwatervraag binnen 5 km van de fabriek kunnen dekken. Wel zou een substantiële afname van de effluentstroom richting de Beekgraaf een vermindering van de benedenstroomse afvoer in deze waterloop teweeg kunnen brengen.



Figuur 3-7: Sankey-diagram van de waterstromen rondom FrieslandCampina Veghel en RWZI Dinther in een gemiddeld jaar.



Figuur 3-8: Sankey-diagram van de waterstromen rondom FrieslandCampina Veghel en RWZI Dinther in een droge zomermaand (juli 2019).

3.2 Borculo

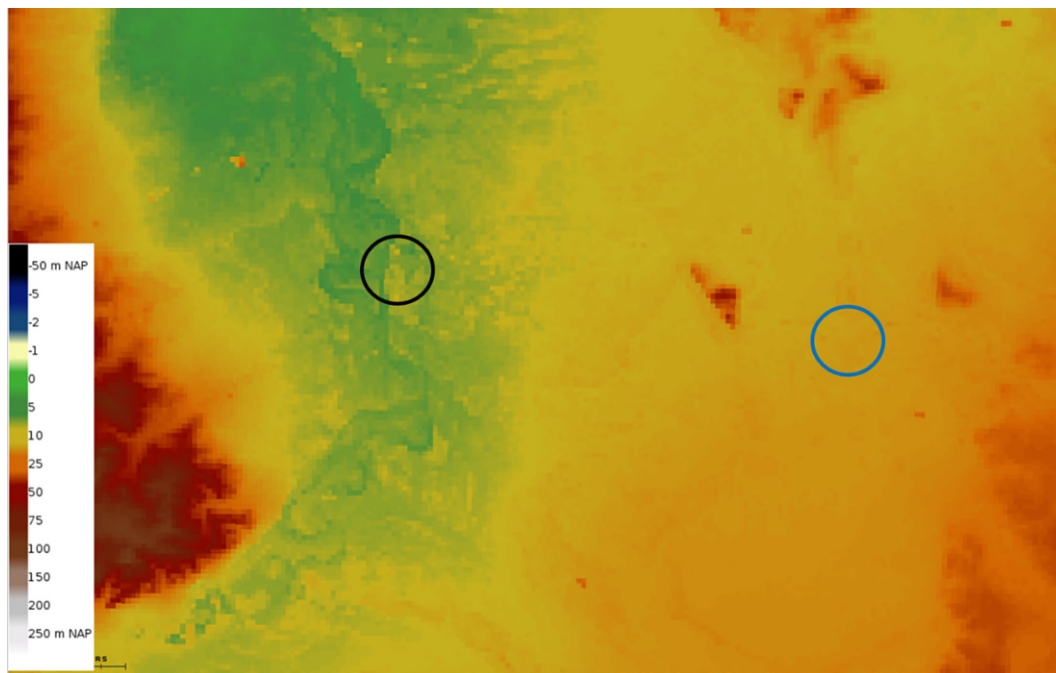
3.2.1 Gebiedsbeschrijving en geohydrologie

De fabriek van FrieslandCampina in Borculo ligt in het beekdal van de Berkel, die net ten noorden van de locatie loopt. In Figuur 3-9 is een kaartje met de maaiveldhoogte in de wijde omtrek van de projectlocatie, waarbij de locatie van FrieslandCampina blauw is omcirkeld. De fabriek ligt op 15-16 m+NAP. Het maaiveld loopt langzaam af in westelijke richting, naar het dal van de IJssel. FrieslandCampina Borculo voert het restwater af naar de Nereda-installatie op het terrein van RWZI Zutphen, hemelsbreed circa 25 kilometer naar het westen (zwart omcirkeld in Figuur 3-9). De RWZI ligt vlak bij de IJssel, op ongeveer 8 m+NAP. FrieslandCampina ligt op het industrieterrein van Borculo. In de omgeving is hoofdzakelijk landbouw aanwezig (Figuur 3-10), met name grasland en maïs; ten zuidwesten van Borculo, in de omgeving van Lochem en Vorden, liggen ook grote stukken (naald)bos. RWZI Zutphen ligt aan de IJssel, met in de omgeving veel stedelijk gebied en ook wat landbouw.

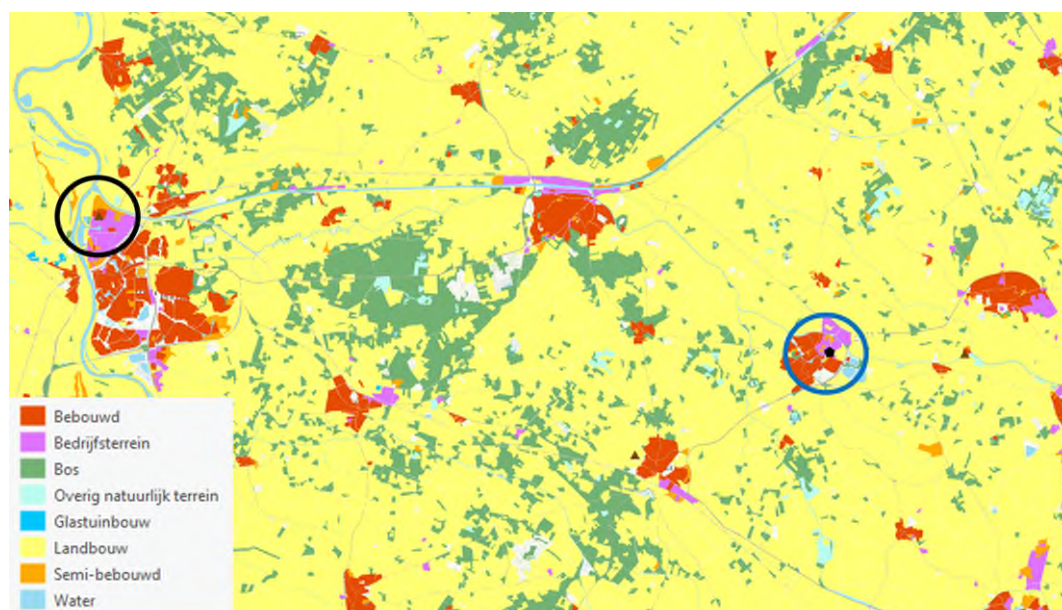
Figuur 3-11 bevat de verticale doorsnede uit REGIS, waarin tot een diepte van ongeveer 110-120 m-mv de geohydrologische opbouw van de ondergrond van de projectlocatie is weergegeven. Het is een doorsnede van west (A) naar oost (A'), waarbij de verticale zwarte lijntjes de locatie aangeven van RWZI Zutphen (linker lijn) en FrieslandCampina (rechter lijn). Alle lagen met 'Z' betreffen zandlagen, de lagen met een 'K' betreffen kleilagen (slecht doorlatend). Bij Borculo komt tot circa 30 m-mv zand in de ondergrond voor; in westelijke richting wordt dit geleidelijk meer. De horizontale doorlatendheid van het zandpakket (formaties van Bontel en Drenthe) varieert tussen 5 en 50 m/d, met een geschat totaal doorlaatvermogen (kD) van 150-200 m²/d. Nabij Zutphen komt tot ongeveer 40 m-mv zand voor (voornamelijk formatie van Kreftenheye), met een geschat doorlaatvermogen van 1200 m²/d. De bovengrond (bodem) bestaat hoofdzakelijk uit zand, met lokaal nabij de IJssel wat kleiige bovengrond.

Figuur 3-12 toont het voorkomen van kwel (blauwe kleuren) en wegzijging (rode kleuren) in de omgeving van de fabriek in Borculo (rechter cirkel) en RWZI Zutphen (linker cirkel). De fabriek ligt in het beekdal van de Berkel, wat van nature een kwelgebied is. Op enige afstand van waterlopen treedt voornamelijk wegzijging op. RWZI Zutphen ligt nabij de IJssel, maar hier komt voornamelijk wegzijging voor.

Figuur 3-13 geeft een beeld van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) in de omgeving van de fabriek van FrieslandCampina Borculo en RWZI Zutphen. In de omgeving van Borculo, met name nabij de Berkel, kan het in de winter vrij nat zijn met grondwaterstand ondieper dan 0,5 m-mv. De Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (GLG) ligt bijna een meter lager dan de GHG. Nabij RWZI Zutphen zorgt de IJssel voor een sterk drainerende werking, waardoor de GHG tot enkele meters beneden maaiveld ligt.

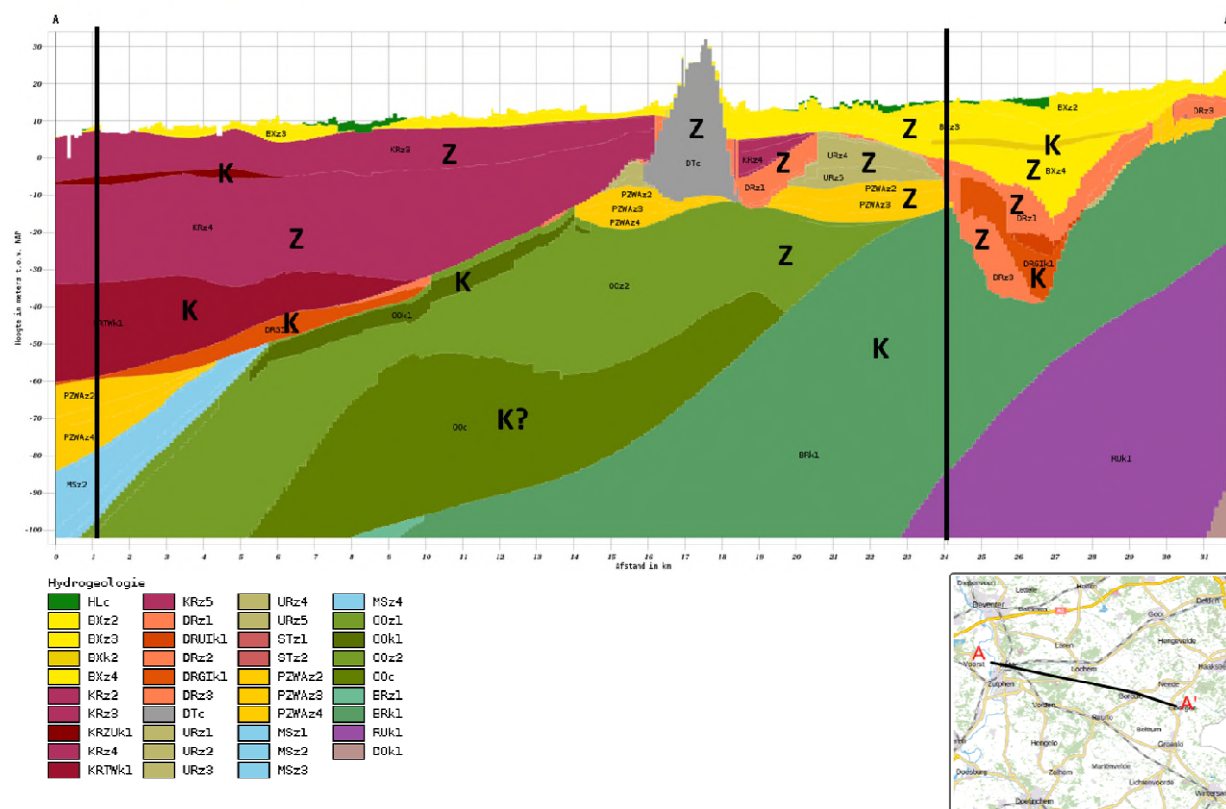


Figuur 3-9: Maaiveldhoogte in de wijde omtrek van locatie Borculo (blauw omcirkeld) en de Nereda-installatie nabij RWZI Zutphen (zwart omcirkeld). Bron: schematisatie LHM 4.1 via NHI dataportaal.

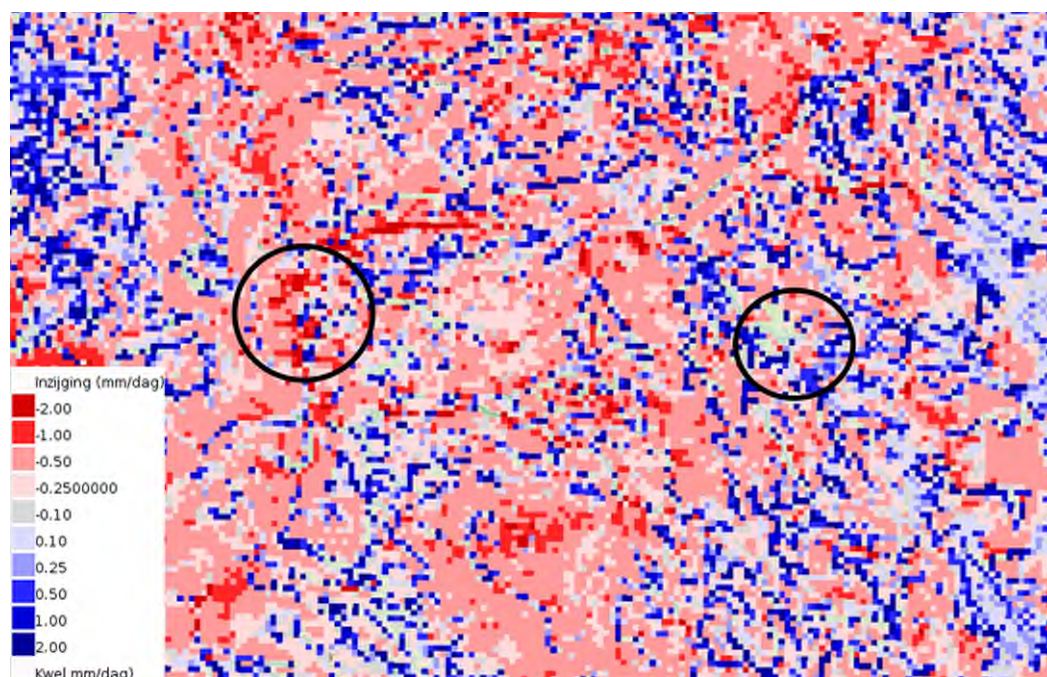


Figuur 3-10: Landgebruik in de omgeving van de fabriek van FrieslandCampina in Borculo (blauwe cirkel) en RWZI Zutphen (zwarte cirkel). Bron: Bestand Bodemgebruik (BBG), 2015.

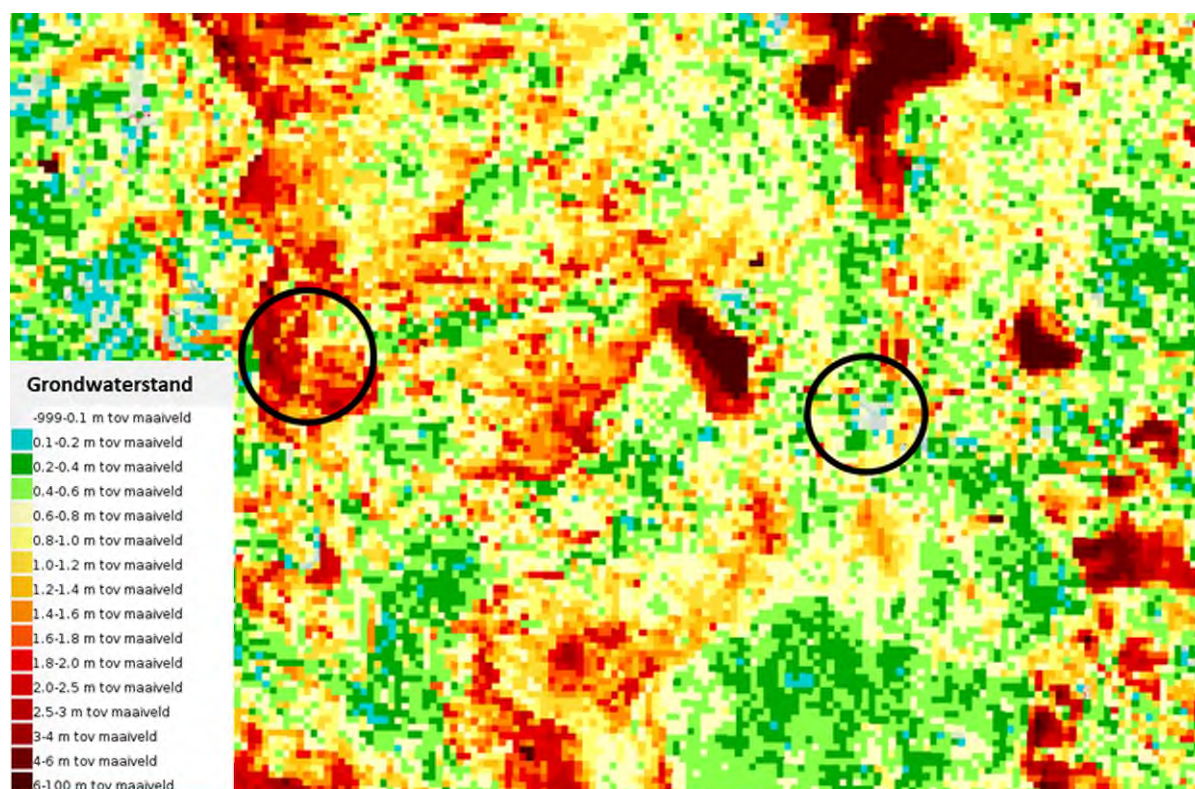
Verticale Doorsnede BRO REGIS II v2.2.1



Figuur 3-11: Geohydrologische doorsnede ter hoogte van de fabriek van FrieslandCampina in Borculo. Z = zandlaag; K = kleilaag. De linker verticale zwarte lijn is de locatie van RWZI Zutphen; de rechter lijn is de locatie van FrieslandCampina. Bron: REGIS II.



Figuur 3-12: Kwel en wegzijging in de omgeving van FrieslandCampina Borculo (rechter cirkel) en RWZI Zutphen (linker cirkel). Bron: LHM 4.1, via NHI Dataportaal.



Figuur 3-13: Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) over de periode 2011-2018. RWZI Zutphen bevindt zich binnen de linker cirkel, FrieslandCampina bevindt zich binnen de rechter cirkel. Bron: LMH 4.1, via NHI Dataportaal.

3.2.2 Overzicht waterstromen

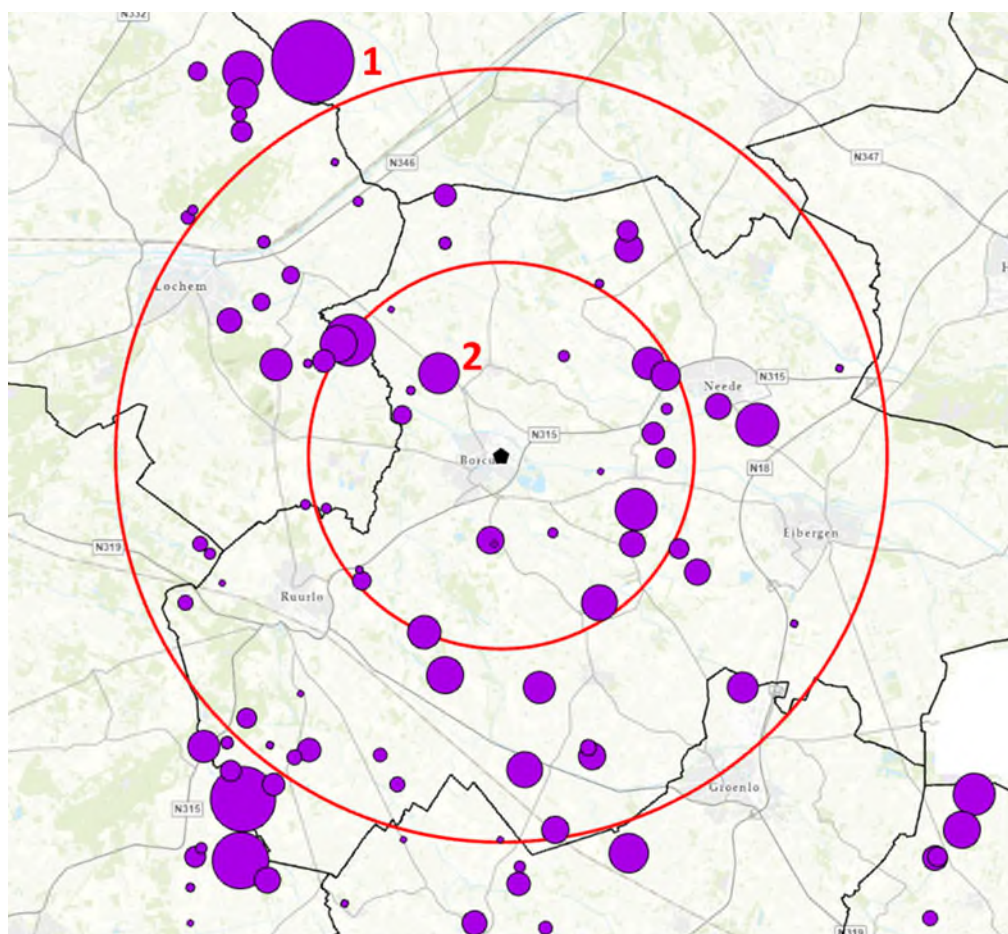
Informatie over de waterstromen van en naar de fabriek in Borculo is opgevraagd bij FrieslandCampina. Informatie over dagelijkse effluentvolumes die worden geloosd door de RWZI's Zutphen en Haarlo is aangeleverd door waterschap Rijn en IJssel. Daarnaast is informatie over oppervlaktewaterafvoer ontleend uit het dataportaal van het waterschap.

De fabriek van FrieslandCampina in Borculo maakt in het bedrijfsproces gebruik van zowel grondwater als drinkwater. Jaarlijks wordt gemiddeld 850.000 m³ grondwater onttrokken en 1,05 miljoen m³ drinkwater verbruikt. Er is op dit moment geen informatie beschikbaar over variatie door het jaar heen en tussen jaren, zodat de hoeveelheden in dit project als constant worden verondersteld. De fabriek voert het grootste deel van het restwater af naar de Nereda-installatie op het terrein van RWZI Zutphen, circa 25 kilometer ten westen van Borculo. De totale hoeveelheid restwater richting de Nereda bedraagt gemiddeld 6164 m³/dag, ofwel 2,25 miljoen m³/jaar. Ook over deze stroom is geen informatie over seizoensvariatie bekend. Behalve de restwaterstroom richting de Nereda is er nog een stroom van condensaat en overige restwater (onder andere hemelwater) ter grootte van circa 550 m³/dag (200.000 m³/jaar) die vanuit de fabriek naar de dichterbij gelegen RWZI Haarlo gaat. Het verschil tussen de hoeveelheid restwater en de hoeveelheden drinkwater en grondwater betreft de externe aanvoer in de vorm van zuivelproducten, gemiddeld ongeveer 350.000 m³/jaar.

De Nereda-installatie in Zutphen ontvangt, behalve het restwater van de fabriek in Borculo, ook restwater van de fabriek in Lochem. In totaal gaat het om circa 5,5 miljoen m³/jaar (circa 15.000 m³/dag). Er is geen informatie beschikbaar over variatie door het jaar heen en tussen jaren onderling. Na onttrekking van grondstoffen voert de Nereda het restwater af richting RWZI Zutphen. Deze RWZI verwerkt jaarlijks een totaal volume aan restwater van ongeveer 9,4 miljoen m³. Dit betekent dat meer dan helft van het influent van de RWZI bestaat uit water dat is aangevoerd vanaf de Nereda-installatie. In de zomerperiode (april-september) gaat het gemiddeld om 4,5 miljoen m³, en in de maand juli 2018 ongeveer 632.000 m³. Het effluent wordt geloosd op de IJssel. De RWZI Haarlo ligt op enige afstand ten oosten van FrieslandCampina Borculo, net ten zuidwesten van Neede. Jaarlijks produceert de RWZI gemiddeld 4,16 miljoen m³ effluent, dat op de rivier de Berkel wordt geloosd. In het zomerhalfjaar gaat het gemiddeld om 1,9 miljoen m³/halfjaar. In juli 2019 werd 251.000 m³ effluent geproduceerd.

Binnen tien kilometer afstand van Borculo bevinden zich vier drinkwaterwinningen van Vitens: Haarlo (circa 4 km ten zuidoosten), Olden Eibergen (circa 7 km ten zuidoosten), Noordijkerveld (circa 6 km ten noorden) en Lochem (8-9 km ten noordwesten). Op deze locaties vindt drinkwaterwinning relatief ondiep plaats.

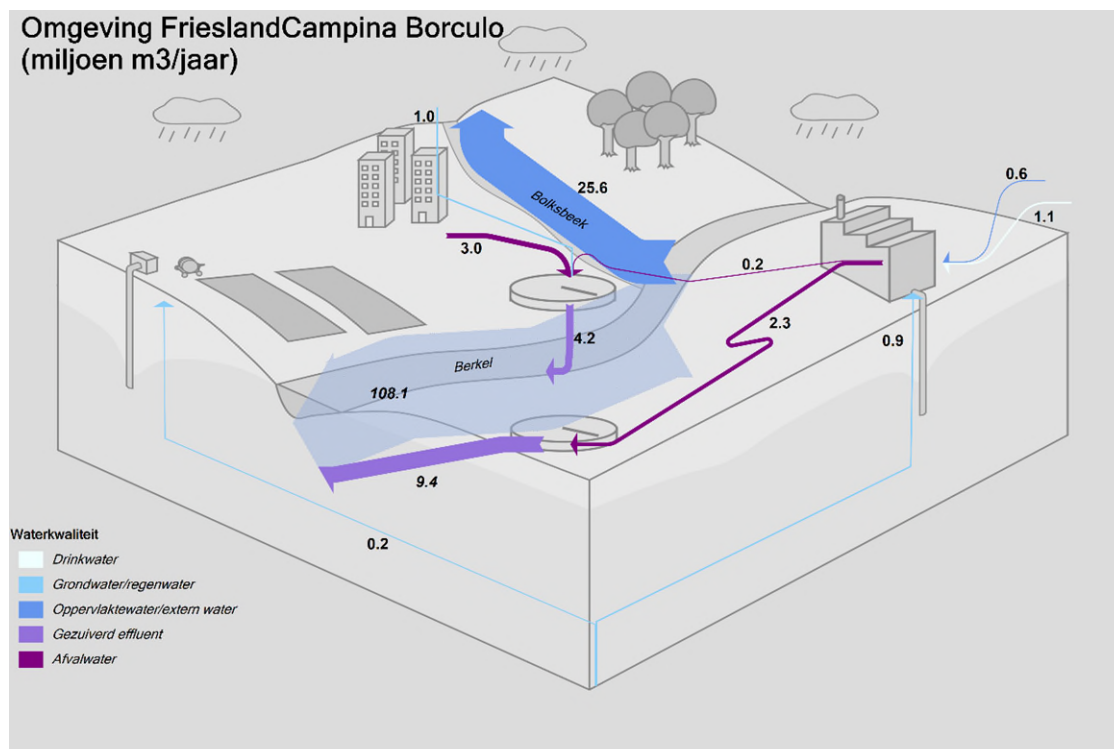
De omgeving van FrieslandCampina Borculo is een overwegend agrarisch gebied (Figuur 3-10). Op een aantal plekken vindt ook beregening plaats, voornamelijk uit grondwater. De aanname is dat de onttrekking enkel in de periode april tot augustus plaatsvindt, met 25% van het jaartotaal onttrokken in juli (Krajenbrink et al., 2021). Er zijn onttrekkingsgegevens van enkele jaren geleden (tot en met 2019) beschikbaar (Krajenbrink et al., 2021), waaruit volgt dat binnen 5 km van de fabriek jaarlijks ongeveer 200.000 m³ wordt onttrokken voor beregening (2011-2019). In juli 2019 ging het om ongeveer 108.000 m³. Binnen een straal van 10 km van de fabriek wordt gemiddeld 500.000 m³/jaar onttrokken, in juli 2019 naar schatting 275.000 m³. In Figuur 3-14 is de locatie van de onttrekkingen rondom de fabriek van FrieslandCampina weergegeven. Er zijn enkele clusters van winningen ten noordwesten en ten oosten van de fabriek. Opgemerkt moet worden dat de onttrekkingsgegevens enigszins gedateerd zijn en wellicht niet volledig. De gegevens konden op korte termijn niet worden geverifieerd met nieuwe gegevens. De verwachting is dat het aantal locaties en de onttrokken hoeveelheden de laatste jaren hoger zijn.



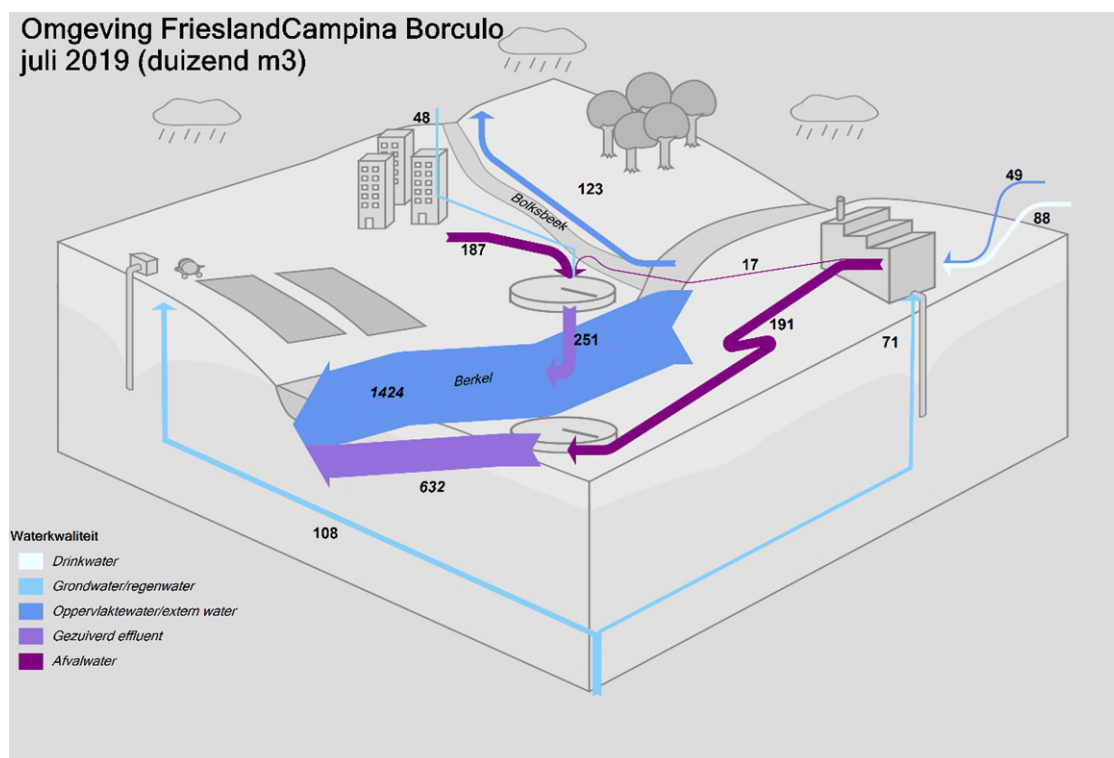
Figuur 3-14: Onttrekkingen van grondwater ten behoeve van landbouw in de omgeving van FrieslandCampina Borculo in 2019. De grootte van de bollen is een maat voor de onttrokken hoeveelheid (1-100.000 m³/jaar). De grootste bol boven in het kaartje, aangeduid met 1, is 98.000 m³; de bol ten noorden van Borculo, aangeduid met 2, is 45.000 m³/jaar. De rode cirkels geven de straal van 5 en 10 km rondom de fabriekslocatie aan. Alleen onttrekkingslocaties binnen het werkgebied van waterschap Rijn en IJssel worden getoond.

De RWZI Haarlo loost het effluent op de Berkel. De afvoer van de Berkel ter hoogte van het lozingspunt bedraagt gemiddeld 3 m³/s, ongeveer 104 miljoen m³/jaar. In een gemiddelde zomerperiode (april-september) gaat het om ongeveer 1,7 m³/s, ofwel 26 miljoen m³ voor de hele zomerperiode. In juli 2019 bedroeg de afvoer ongeveer 1,2 miljoen m³. Vlak voor het lozingspunt splitst een deel van de Berkel af richting de Bolksbeek. Gemiddelde gaat het om 25,6M m³/jaar; in juli 2019 bedroeg de afvoer 123.000 m³.

Op basis van bovenstaande gegevens zijn twee Sankey-diagrammen getekend van de belangrijkste waterstromen rondom de fabriek van FrieslandCampina in Borculo. De nadruk ligt op antropogene waterstromen, maar de beek- en rivierafvoer worden ook getoond. De landbouwwatervraag (grondwateronttrekkingen) representeert de vraag binnen een straal van 5 km van FrieslandCampina. Zoals eerder al rondom de fabriek in Veghel is geconstateerd, volgt uit het Sankey-diagram van een gemiddeld jaar (Figuur 3-15) dat de meeste antropogene waterstromen veel kleiner zijn dan de rivierafvoeren. Met name de grondwateronttrekkingen voor landbouw en FrieslandCampina zijn vele malen kleiner dan de afvoer van de Berkel of de Bolksbeek. Wanneer echter naar de situatie in juli 2019 wordt gekeken (Figuur 3-16), blijkt dat de verschillende antropogene waterstromen relatief groter zijn dan in het jaarlijkse beeld. Op basis van de bekende gegevens is de hoeveelheid restwater van FrieslandCampina Borculo in een droge zomermaand ruim voldoende om aan de landbouwwatervraag binnen 5 km te voldoen. Hier moet wederom bij worden aangetekend dat de onttrekkingsgegevens uit 2019 mogelijk niet compleet zijn en er waarschijnlijk een toename van het aantal onttrekkingen is geweest in afgelopen jaren.



Figuur 3-15: Sankey-diagram van de waterstromen rondom FrieslandCampina Borculo, RWZI Haarlo en de Nereda Zutphen in een gemiddeld jaar.



Figuur 3-16: Sankey-diagram van de waterstromen rondom FrieslandCampina Borculo, RWZI Haarlo en Nereda Zutphen in een droge zomermaand (juli 2019). De effluentstroom voor RWZI Zutphen is gebaseerd op 2018, aangezien gegevens voor het jaar 2019 niet compleet waren.

3.3 Discussie watersysteemanalyse

Uit de watersysteemanalyse rondom de fabriek in Veghel volgt dat de omgeving van de fabriek op de hoge zandgronden ligt. De ondergrond bestaat grotendeels uit zand, er vindt wegzijging plaats en de grondwaterstand in de zomerperiode is naar verwachting vrij laag. Deze combinatie zorgt ervoor dat de omgeving droogtegevoelig is. Zodoende vindt er veel onttrekking plaats voor beregening, met name in het oosten van het gebied. De fabriek en RWZI Dinther liggen iets lager, in het beekdal van de Aa. Door ondiepere grondwaterstanden is de nabije omgeving van de fabriek minder droogtegevoelig. De hoeveelheid restwater die van de fabriek naar de RWZI wordt afgevoerd, lijkt in theorie voldoende om in een droge zomer de landbouwwatervraag binnen 5 km van de fabriek te kunnen dekken. Grootschalige afkoppeling kan effect hebben op de afvoer van de waterloop die effluent ontvangt, met name in de zomer, maar het exacte effect is moeilijk in te schatten.

Uit de analyse van de casus Borculo volgt dat de omgeving van de fabriek eveneens behoort tot de hoge zandgronden. De ondergrond bestaat grotendeels uit zand en de grondwaterstand kan in de zomer wat dieper onder het maaiveld liggen. Dit betekent dat de regio droogtegevoelig is, wat ook blijkt uit de aanwezige landbouwonttrekkingen. Daarnaast vindt in de omgeving van Borculo drinkwaterwinning plaats. Deze winningen vinden als gevolg van de opbouw van de ondergrond vrij ondiep plaats. In de winter ligt de grondwaterstand vrij ondiep. De fabriek zelf ligt nabij de rivier de Berkel. In de directe nabijheid vindt enige kwel plaats en is daardoor minder droogtegevoelig. De totale restwaterstroom van de fabriek in Borculo zou in theorie ruim voldoende zijn om aan de landbouwwatervraag binnen 5 km van de fabriek te voldoen. Op dit moment wordt het restwater afgevoerd richting Zutphen. Deze regio is door nabijheid van de IJssel en Berkel minder droogtegevoelig, waardoor de landbouwwatervraag kleiner zal zijn. De inschatting is dat het restwater van de fabriek in Borculo waarschijnlijk meer van nut kan zijn in de omgeving van de fabriek dan in de omgeving Zutphen.

4 Scenario's voor waterhergebruik

Er zijn verschillende opties denkbaar voor het hergebruik van restwater uit de fabrieken van FrieslandCampina in Veghel en Borculo. Zo zijn er verschillende eindgebruikers denkbaar, zoals de landbouw, de fabriek zelf (intern hergebruik) of het natuurlijke watersysteem. Daarnaast kan de gehele restwaterstroom worden hergebruikt of slechts enkele deelstromen, en kan hergebruik het hele jaar plaatsvinden of slechts in bepaalde periodes van het jaar. Tot slot is er nog de optie dat de huidige situatie wordt voortgezet, waarbij het restwater niet wordt hergebruikt maar alsnog naar de RWZI wordt afgevoerd. De verschillende opties hebben voor- en nadelen voor de verschillende stakeholders. In dit hoofdstuk worden zes scenario's schematisch geschetst en voorzien van een kosten- en batenanalyse. Deze kosten en baten zijn nadrukkelijk op hoofdlijnen geschetst (kwalitatieve analyse) om gevoel te krijgen waar de belangrijkste voordelen van het hergebruikscenario liggen en waar nog belangrijke aandachtspunten liggen. Alle processchema's, behalve de huidige situatie (paragraaf 4.1), zijn gebaseerd op de fabriek in Veghel, omdat hiervoor de meeste informatie beschikbaar is, tenzij dit anders is aangegeven. De volgende scenario's worden behandeld:

- 1 Voortzetting huidige situatie
- 2 Direct hergebruik van RO-permeaat
- 3 Maximaal intern hergebruik
- 4 Direct hergebruik van nutriëntenrijk water
- 5 Indirect hergebruik van volledige hoeveelheid restwater
- 6 Deelstroombehandeling en intern hergebruik

Voor een aantal scenario's wordt een analyse van de mogelijke waterbehandeling beschreven in hoofdstuk 5. Tot slot worden de scenario's op hoofdpunten met elkaar vergeleken in paragraaf 8.1.

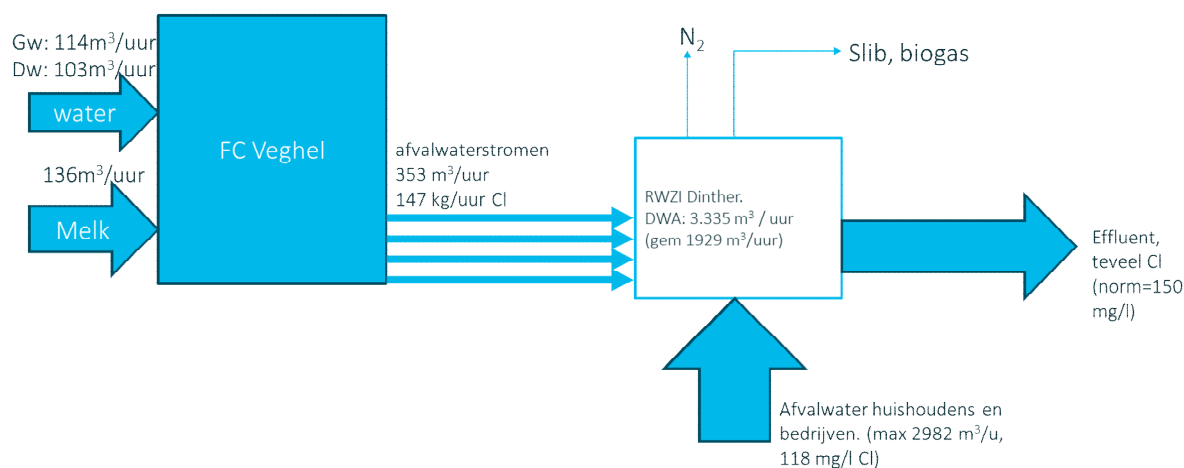
4.1 Scenario 1: Huidige situatie

In de huidige situatie onttrekt FrieslandCampina op de locaties Veghel en Borculo water in uit een eigen grondwaterbron en werkt dit op tot proceswater. Daarnaast wordt voor het productieproces drinkwater gebruikt. Tot slot komt er ook veel water de fabriek binnen in de vorm van melk. Het restwater uit de verschillende processen wordt gecombineerd afgevoerd naar een zuiveringsinstallatie. In geval van Veghel is dat RWZI Dinther, in geval van Borculo is dat de Nereda-installatie in Zutphen, die het effluent na behandeling afvoert naar RWZI Zutphen. Na zuivering wordt het effluent geloosd op het oppervlaktewater: RWZI Dinther loost op de Aa, RWZI Zutphen loost op de IJssel. In dit eerste scenario worden situatie en de kosten en baten geschetst indien de huidige situatie, dus zonder hergebruik, wordt voortgezet.

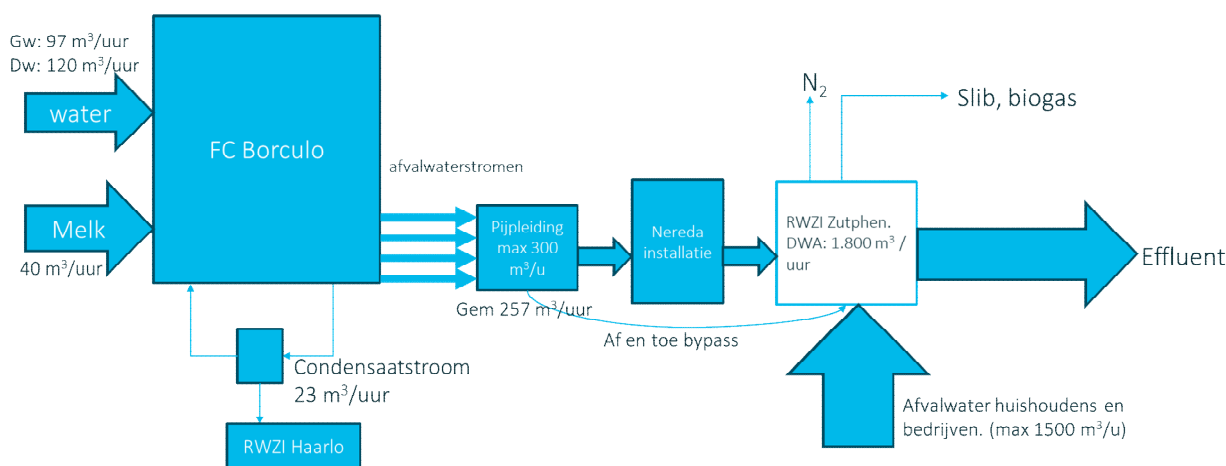
De huidige situatie bij de fabriek in Veghel is schematisch weergegeven in Figuur 4-1. De getallen zijn gebaseerd op de meetweek in april 2019. Een overzicht van deze en overige waterstromen in de omgeving van de fabriek in juli 2019 is weergegeven in het Sankey-diagram in Figuur 3-8 in Hoofdstuk 3. De huidige situatie bij de fabriek in Borculo is weergegeven in Figuur 5-2. Een Sankey-diagram van de waterstromen in de omgeving van Borculo en Zutphen is opgenomen in Figuur 3-16 in hoofdstuk 3. In Tabel 4-1 wordt een kwalitatief overzicht gegeven van kosten/ risico's en baten bij voortzetting van de huidige situatie.

In verschillende scenario's en in de vergelijking tussen scenario's zijn voor de locatie Veghel een aantal kosten zoals drinkwaterverbruik en zuiveringsheffing op hoofdlijnen ingeschat. De zuiveringsheffing die het zuivelbedrijf betaalt, wordt via een standaardmethode vastgesteld en wordt jaarlijks bijgesteld. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de vuillast, uitgedrukt in vervuilingseenheden (ve) die worden berekend aan de hand van concentraties CZV en enkele

nutriënten als stikstof en fosfaat. Voor een inschatting van de vuillast op locatie Veghel is gebruik gemaakt van de formule in bijlage C1 van de (verouderde) verordening zuiveringsheffing Aa en Maas 2022². Op basis van de meetweek in april 2019 is de vuillast van de fabriek in Veghel berekend op ongeveer 111.000 ve. Op de locatie Veghel gelden tarieven van waterschap Aa en Maas; het tarief van 2023 bedraagt €52,08/ve. De zuiveringsheffing bedraagt zodoende ongeveer 5,8 miljoen €/jaar. De RWZI Dinther kan een maximale vuillast behandelen van 271.093 ve. FrieslandCampina gebruikt nu ruim 40% van deze capaciteit. In de huidige studie is geen informatie over de zuiveringsheffing van de fabriek in Borculo, aangezien de overeenkomst hierover tussen FrieslandCampina en waterschap Rijn en IJssel vertrouwelijk zijn.



Figuur 4-1: Schematische weergave van de waterstromen bij Veghel in de huidige situatie. Gw= grondwater, Dw=drinkwater, DWA= droogweerafvoer.



Figuur 4-2: Schematische weergave van de waterstromen bij Borculo en Zutphen in de huidige situatie. Gw= grondwater, Dw=drinkwater, DWA= droogweerafvoer.

Tabel 4-1: Kosten en baten bij voortzetting van de huidige situatie (scenario 1).

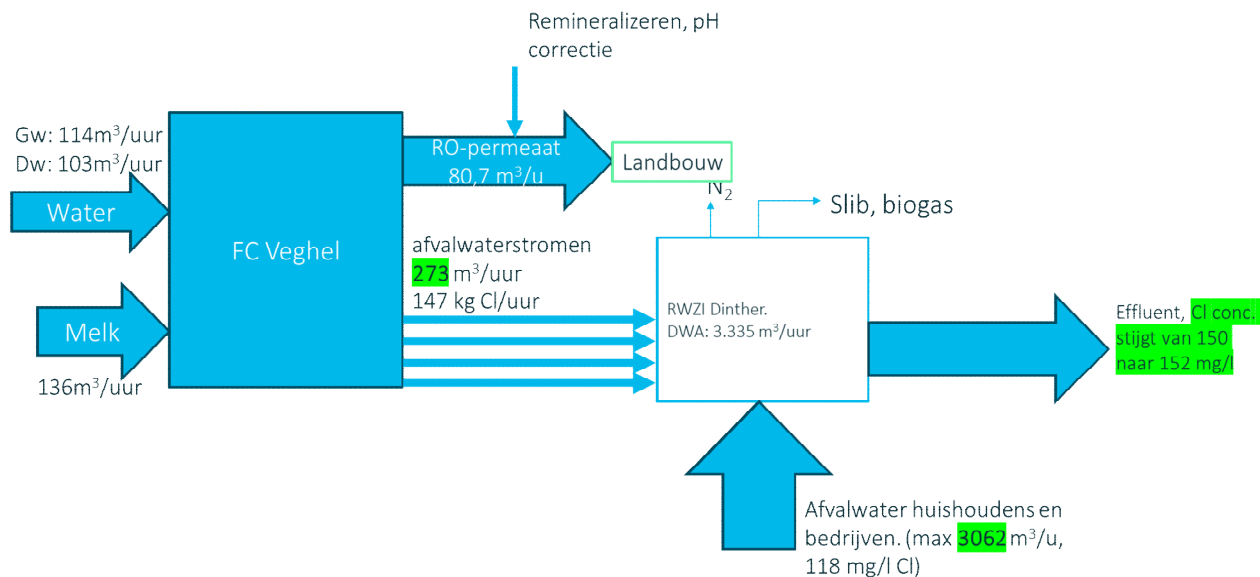
Belanghebbende	Kosten	Baten
Zuivelproducent	Zuiveringsheffing, gebaseerd op de vuillast (schatting <u>Veghel</u> : 5,8 miljoen €/jaar).	Geen kosten en inspanning om hergebruik of besparing te implementeren.

² <https://lokaleregelgeving.overheid.nl/CVDR668803/1>

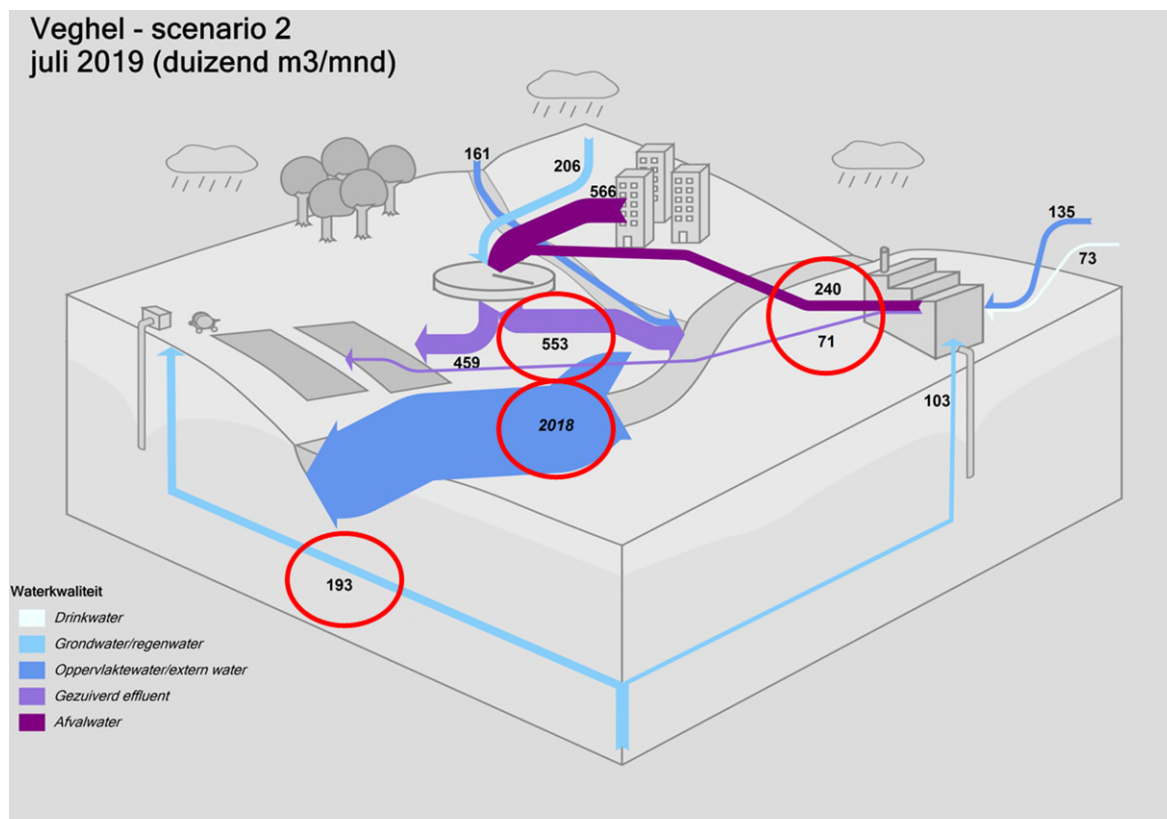
	Kosten voor drinkwatergebruik (schatting <u>Veghel</u>: 540.000 €/jaar o.b.v. 0,60 €/m³). Toekomstig risico op vermindering van de productie of zoektocht naar alternatieve bronnen van zoet water in geval van waterschaarste en mogelijke beperkingen op watergebruik.	
Waterschap	<u>Veghel</u>: Uitbreiding van zuivering door demografische ontwikkelingen. De huidige capaciteit en kwaliteit van de zuivering is in de toekomst mogelijk onvoldoende. <u>Borculo</u>: De hydraulische capaciteit van de leiding van Borculo naar Zutphen is limiterend (<i>pers. meded.</i> FrieslandCampina).	Inkomsten uit zuiveringsheffing. Restwaterstroom uit zuivelindustrie is relatief warm, wat gunstig is voor het biologisch zuiveringsproces op de RWZI.
Landbouw	Kosten voor beregening (o.a. haspel, brandstof voor generator). Opbrengstderving in geval van langdurige droogte en mogelijk beregeningsverbod.	Hogere opbrengst van de gewassen door beregening.
Drinkwaterbedrijf	Beschikbare hoeveelheid water voor drinkwaterproductie neemt af door toenemende druk op grondwatersysteem als gevolg van toenemend gebruik van grond- en oppervlaktewater. Vraag naar drinkwater neemt toe door demografische veranderingen en klimaatverandering, terwijl de productie niet eenvoudig verhoogd kan worden.	
Natuur/ watersysteem	Ontwatering en onttrekkingen kunnen leiden tot verdroging en te lage watervoerendheid van waterlopen. Effluent beïnvloedt waterkwaliteit van waterlopen negatief, met name in geval van kleine waterlopen in droge periodes.	Constance effluentstroom vanuit RWZI draagt bij aan de watervoerendheid van met name kleine waterlopen in droge periodes.

4.2 Scenario 2: Direct hergebruik van RO-permeaat

FrieslandCampina heeft verschillende installaties voor omgekeerde osmose (RO), onder andere om wei in te dikken. Het permeaat dat hieruit komt heeft een relatief lage temperatuur (~12°C) en bevat vrijwel geen zouten en slechts wat ureum. Daarnaast is het een grote deelstroom qua volume (Veghel: 80,7 m³/uur, 20-25% van het totaal). In de huidige situatie wordt het RO-permeaat samengevoegd met de andere deelstromen. De verwachting is dat deze deelstroom relatief eenvoudig aanvullend kan worden gezuiverd, wat een relatief grote hoeveelheid water oplevert dat bijvoorbeeld kan worden gebruikt voor beregening in de landbouw. In Figuur 4-3 wordt de situatie schematisch weergegeven voor de locatie Veghel. Het Sankey-diagram in Figuur 4-4 geeft een overzicht van de waterstromen rondom Veghel in de maand juli 2019 in dit scenario. De rode cirkels geven de waterstromen aan die veranderen ten opzichte van de huidige situatie zonder hergebruik (zie Figuur 3-8). Een kwalitatieve kosten-batenanalyse is opgenomen in Tabel 4-2.



Figuur 4-3: Schematische weergave van de waterstromen bij Veghel in geval van direct hergebruik van RO-permeaat (scenario 2).



Figuur 4-4: Sankey-diagram van de waterstromen rondom FrieslandCampina Veghel en RWZI Dinther in een droge zomermaand (juli 2019), bij direct hergebruik van RO-permeaat (scenario 2). De rode cirkels geven de waterstromen aan die veranderen ten opzichte van de huidige situatie zonder hergebruik (zie Figuur 3-8).

De belangrijkste verandering qua waterstromen ten opzichte van de huidige situatie zonder hergebruik is het volume dat nu wordt hergebruikt in de landbouw (in geval van Veghel 71.000 m³/maand). Bij ongewijzigde teelten en landbouwwatervraag betekent dit dat minder grondwater aan het watersysteem hoeft te worden onttrokken. Daarnaast neemt de hoeveelheid influent van de RWZI af en daarmee de vuillast (doorgaans uitgedrukt in vervuilingsequivalenten of ve). De RWZI Dinther kan een maximale vuillast behandelen van ongeveer 271.000 ve. Gebaseerd op de gegevens uit de meetweek van april 2019 loost de fabriek van FrieslandCampina in Veghel momenteel ongeveer 111.400 ve, oftewel ruim 40% van de maximale capaciteit van RWZI Dinther. Door afkoppeling van de deelstroom RO-permeaat daalt de vuillast van het restwater van FrieslandCampina Veghel met 3-4%. Hierdoor ontstaat er enige ruimte bij RWZI Dinther voor extra aansluitingen van huishoudens en andere bedrijven.

RO-permeaat bevat weinig zout (in Veghel gemiddeld 12 mg/l chloride), waardoor de totale zoutvracht van FrieslandCampina naar RWZI Dinther vrijwel gelijk blijft. Door waterschap Aa en Maas is medegedeeld dat de RWZI ongeveer op de chloride-norm van 150 mg/L zit. Wanneer dezelfde chloridelast in een kleiner watervolume wordt geloosd, stijgt daarmee de concentratie. Chloride wordt niet verwijderd op de RWZI. Dat betekent dat de chlorideconcentratie in het effluent van de RWZI naar verwachting licht zal stijgen naar 152 mg/L, waarmee de norm met 1-2% wordt overschreden. Dit is echter specifiek voor de situatie in Veghel en Dinther en zou op andere locaties nader moeten worden uitgezocht.

De landbouw heeft doorgaans alleen gedurende het groeiseizoen water nodig en als gevolg van jaarlijkse verschillen in weersomstandigheden kan de benodigde hoeveelheid sterk verschillen tussen jaren onderling. De rest van het jaar zal de gezuiverde deelstroom RO-permeaat dan naar de RWZI afgevoerd moeten worden of een andere bestemming krijgen. Dit kan, eventueel na extra behandeling, aanvulling van het watersysteem zijn of intern hergebruik in de fabriek. De kosten voor het aanleggen van een systeem voor directe levering van het water aan boeren, kunnen dan maar in een deel van het jaar worden gedekt. Mocht gekozen worden om het water in het overige deel van het jaar op de RWZI te lozen (huidige situatie), dan ontstaat er ook geen ruimte voor de RWZI om extra huishoudens aan te sluiten.

Tabel 4-2: Globale kosten-batenanalyse van Scenario 2: Direct hergebruik van RO-permeaat.

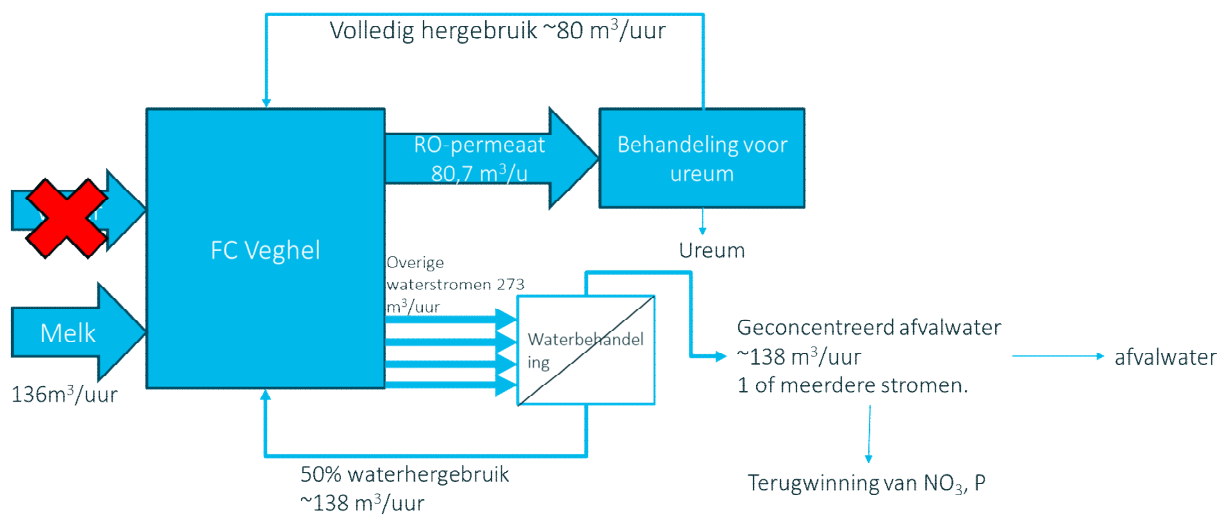
Belanghebbende	Kosten	Baten
Zuivelproducent	Behandeling van het RO-permeaat: renaturalisatie (pH, mineralen en T), eventueel verwijdering van ureum. Lichte toename van chlorideconcentratie in restwaterstroom; mogelijk moet deel van chloride worden verwijderd.	<u>Veghel</u> : zeer geringe daling van vuillast richting RWZI, waarschijnlijk verwaarloosbaar. <u>Borculo</u> : extra hydraulische ruimte in leiding richting Zutphen (capaciteit in huidige situatie beperkend).
Waterschap	Lichte toename chlorideconcentratie (1-2%); mogelijk wordt limiet in Dinther bereikt.	Afkoppelen van relatief koude stroom RO-permeaat levert relatief warmer influent op, wat biologisch zuiveringsproces op RWZI bevordert. Afname pompkosten of extra aansluitmogelijkheden door afname hydraulische last (2-4% van het dwa)
Landbouw	Kosten voor afname en transport van gezuiverd effluent voor beregening. Beregeningskosten gelijk aan huidige situatie.	Continue beschikbaarheid van water voor beregening, inclusief in langdurig droge periode. Ureum in restwater kan mogelijk dienen als meststof.

Drinkwaterbedrijf	-	Zeer geringe afname van druk op grondwatersysteem (= bron drinkwaterproductie) door afname van landbouwonttrekkingen. Effect waarschijnlijk minimaal, maar afhankelijk van lokale situatie en schaal van hergebruik.
Natuur/watersysteem	Lichte afname effluentstroom vanuit RWZI, met mogelijk iets verhoogd chloridegehalte. Ecologisch effect op ontvangende waterloop sterk afhankelijk van lokale situatie.	Minimale verlichting van druk op watersysteem.

4.3 Scenario 3: Maximaal intern hergebruik

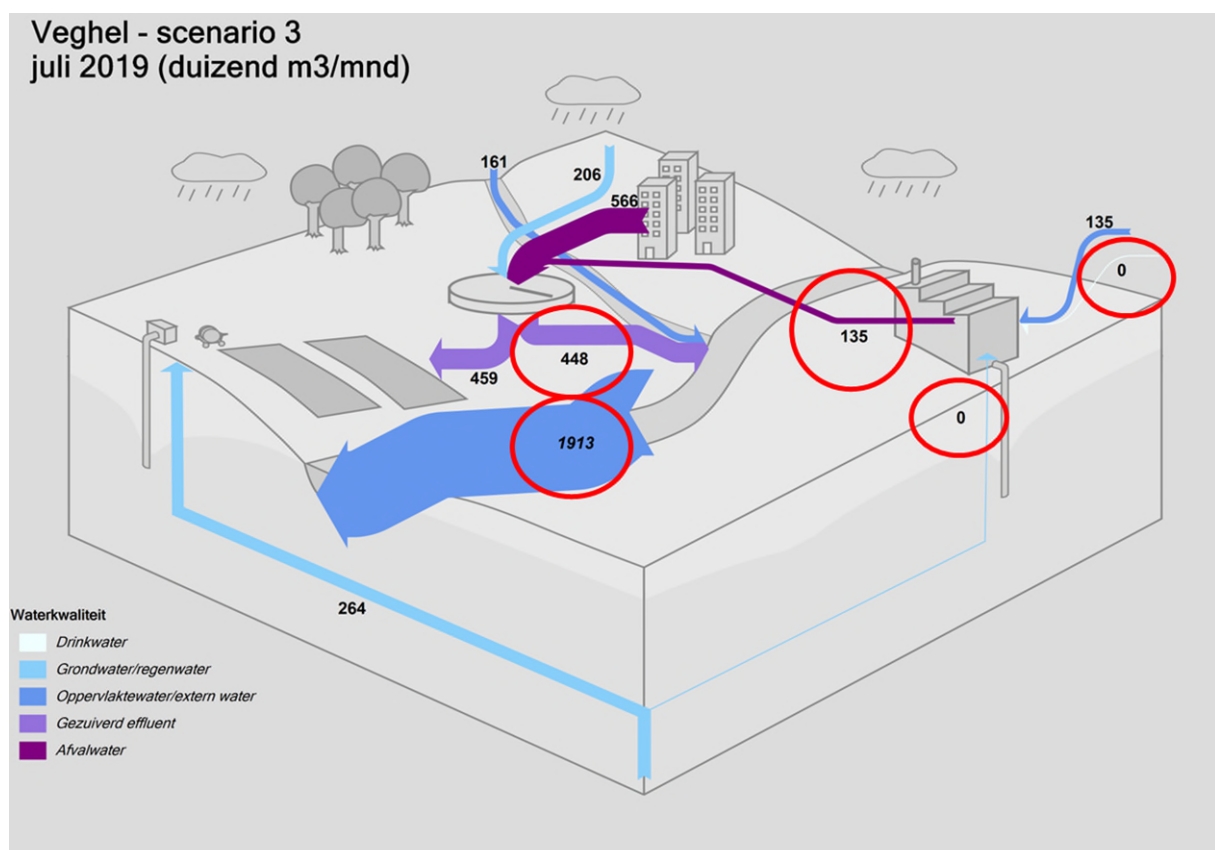
Op de locaties Veghel en Borculo worden in de huidige situatie alle restwaterstromen gecombineerd en gezamenlijk naar de zuivering afgevoerd. In dit scenario wordt de mogelijkheid verkend om dat water in zijn geheel te behandelen. Hierdoor wordt optimaal hergebruik mogelijk, bijvoorbeeld in de fabriek zelf. Wel zal na behandeling een kleinere waterstroom met een hoge concentratie afvalstoffen overblijven. Momenteel is FrieslandCampina dit al gedeeltelijk van plan op de locatie Borculo om een uitbreiding van de fabriek mogelijk te maken zonder dat het volume restwater richting de Nereda in Zutphen toeneemt. Wellicht is dit ook op andere locaties te implementeren, wat voordelen kan opleveren voor andere belanghebbenden. Voor dit scenario wordt aangenomen dat het onbehandelde restwater met een factor 2 wordt ingedikt, bijvoorbeeld door het gebruik van RO. Daarnaast wordt de bestaande deelstroom RO-permeaat apart behandeld voor hergebruik. Het hergebruik van deze stroom wordt nu gelimiteerd door ureum. Dat kan verwijderd worden zoals beschreven in paragraaf 5.2. De concentraatstroom die overblijft, gaat niet naar de RWZI maar wordt apart afgevoerd.

In Figuur 4-5 wordt het scenario schematisch weergegeven voor de locatie Veghel. Het Sankey-diagram in Figuur 4-6 geeft een overzicht van de waterstromen rondom Veghel in de maand juli 2019 in dit scenario. De rode cirkels geven de waterstromen aan die veranderen ten opzichte van de huidige situatie zonder hergebruik (zie Figuur 3-8). Een kwalitatieve kosten-batenanalyse is opgenomen in Tabel 4-3.



Waterinname via drinkwater en grondwater: $218 \text{ m}^3/\text{uur}$ lager

Figuur 4-5: Schematische weergave van de waterstromen bij Veghel in geval van maximaal intern hergebruik (scenario 3).



Figuur 4-6: Sankey-diagram van de waterstromen rondom FrieslandCampina Veghel en RWZI Dinther in een droge zomermaand (juli 2019), bij maximaal intern hergebruik (scenario 3). De rode cirkels geven de waterstromen aan die veranderen ten opzichte van de huidige situatie zonder hergebruik (zie Figuur 3-8).

Door de volledige deelstroom RO-permeaat en 50% van het overige restwater her te gebruiken, is het theoretisch niet nodig om aanvullend drinkwater en grondwater in te nemen. Als gevolg van verliezen tijdens het zuiveringsproces zal echter waarschijnlijk nog wel een kleine hoeveelheid extern water nodig zijn. Dit scenario kan het gehele jaar toegepast worden. De belangrijkste hydrologische verandering is de aanzienlijke reductie (in geval

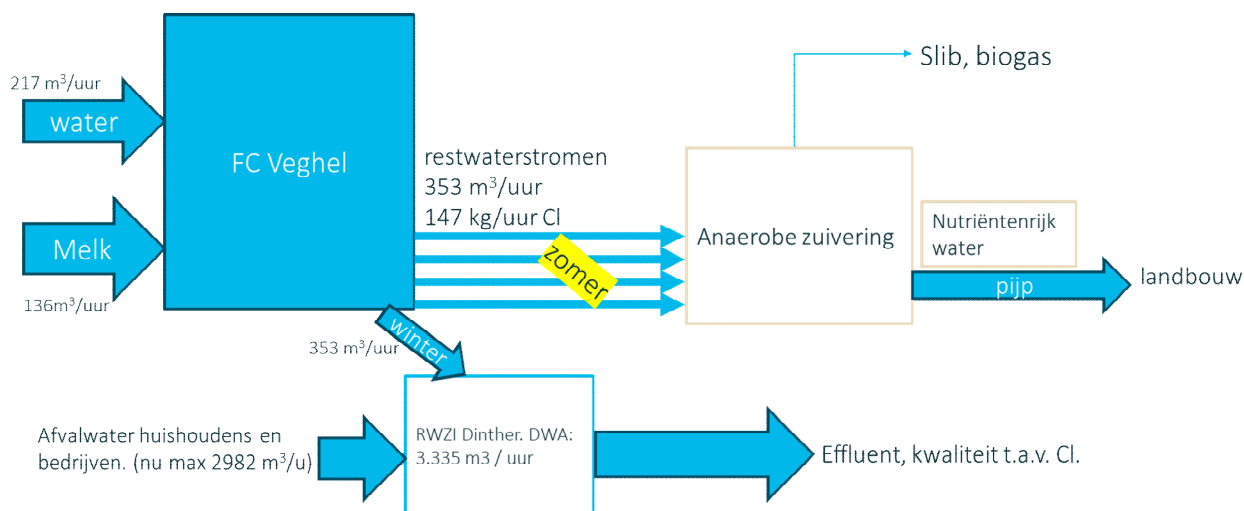
van RWZI Dinther ongeveer 40%) van de totale hoeveelheid influent die bij de RWZI binnenkomt. Het gevolg hiervan is ook een afname van de hoeveelheid effluent die op het oppervlakte water geloosd. Deze afname is relatief het grootst in droge periodes, wanneer de hoeveelheid influent doorgaans het kleinst is door de lagere hoeveelheid hemelwaterafvoer. Op de RWZI ontstaat mogelijk ruimte voor extra aansluitingen van huishoudens en bedrijven, maar dit hangt af van de precieze vuillast die overblijft na het behandlingsproces.

Tabel 4-3: Globale kosten-batenanalyse van Scenario 3: Maximaal intern hergebruik.

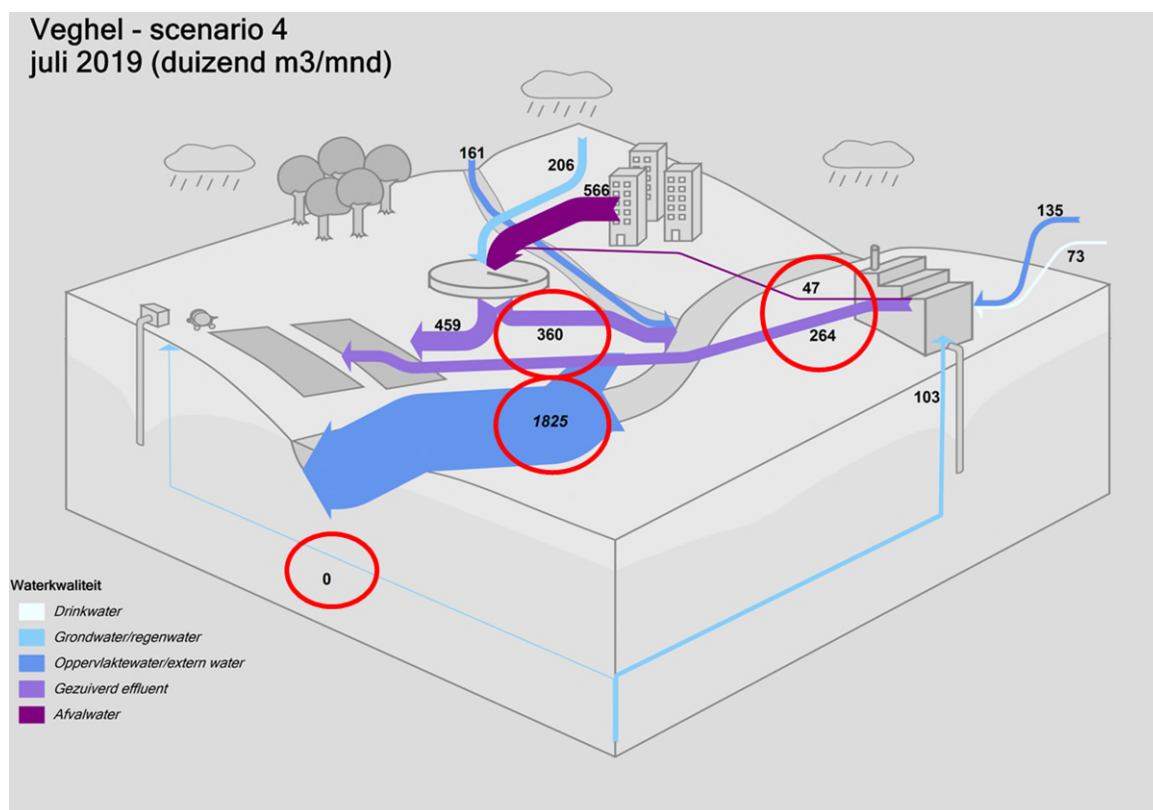
Belanghebbende	Kosten	Baten
Zuivelproducent	Kosten en interne infrastructuur voor waterbehandeling.	(Vrijwel) geen afname van drinkwater nodig. <u>Veghel</u> : besparing van 103 m ³ /uur (ca. 540.000 €/jaar) (Vrijwel) geen (vergunning voor) grondwateronttrekking nodig; daling kosten onduidelijk. Lagere kosten voor zuiveringsheffing.
Waterschap	Afname van inkomsten uit lozingsheffingen. Samenstelling van influent mogelijk negatief beïnvloed, precieze effect onduidelijk.	Reductie van influentstroom en benodigde zuivering (<u>Veghel</u> : ca 40% van huidige hoeveelheid). Afname van vuilvracht. Samenstelling van het influent mogelijk positief beïnvloed, precieze effect onduidelijk. Mogelijk ruimte voor extra aansluiting van huishoudens en bedrijven.
Landbouw	-	Voordeel van afname druk op grondwatersysteem, maar sterk locatie-afhankelijk. Positief effect (bijv. op grondwaterstanden) zal sterker zijn op locaties met ondiepe onttrekkingen voor o.a. drinkwaterproductie (zoals Borculo).
Drinkwaterbedrijf	Geen inkomsten uit drinkwaterafname door zuivelproducent (<u>Veghel</u> : ca 540.000 €/jaar).	Ruimte voor aansluiting van nieuwe particuliere en zakelijke klanten.
Natuur/watersysteem	Afname effluentstroom vanuit RWZI; mogelijk negatief effect op watervoerendheid van kleine waterlopen, met name in droge periodes. Ecologisch effect op ontvangende waterloop sterk afhankelijk van lokale situatie.	Afname druk op grondwatersysteem, met mogelijk hogere grondwaterstanden en positief effect op basisafvoer beek. Effect is sterk afhankelijk van lokale (geohydrologische) situatie, maar het sterkst op locaties met ondiepe grondwateronttrekkingen (Borculo).

4.4 Scenario 4: Direct hergebruik van nutriëntenrijk water

Het restwater van zuivelfabrieken zoals FrieslandCampina bevat veel organische stof en daarnaast ook veel nutriënten die van waarde kunnen zijn voor de landbouw. In dit scenario wordt verondersteld dat al het restwater van FrieslandCampina behandeld wordt middels een anaerobe zuivering. Hierbij wordt (nagenoeg) al het organisch materiaal verwijderd, maar na behandeling zal een groot deel van het aanwezige stikstof en fosfaat nog aanwezig zijn. In dit scenario wordt verkend wat de effecten op het watersysteem en de globale kosten en baten zijn als dit water gedurende het groeiseizoen (zomerhalfjaar) wordt hergebruikt voor landbouwdoeleinden. In het winterhalfjaar moet het restwater alsnog worden afgevoerd naar de RWZI. In Figuur 4-7 wordt de situatie schematisch weergegeven voor de locatie Veghel. Het Sankey-diagram in Figuur 4-8 geeft een overzicht van de waterstromen rondom Veghel in de maand juli 2019 in dit scenario. De rode cirkels geven de waterstromen aan die veranderen ten opzichte van de huidige situatie zonder hergebruik (zie Figuur 3-8). Een kwalitatieve kosten-batenanalyse is opgenomen in Tabel 4-4.



Figuur 4-7: Schematische weergave van de waterstromen bij Veghel in geval van direct hergebruik van nutriëntenrijk water (scenario 4).



Figuur 4-8: Sankey-diagram van de waterstromen rondom FrieslandCampina Veghel en RWZI Dinther in een droge zomermaand (juli 2019), bij direct hergebruik van nutriëntenrijk water (scenario 4). De rode cirkels geven de waterstromen aan die veranderen ten opzichte van de huidige situatie zonder hergebruik (zie Figuur 3-8).

De belangrijkste hydrologische verandering in dit scenario is de aanzienlijke reductie van de totale hoeveelheid influent die in het zomerhalfjaar binnenkomt bij de RWZI. Hierdoor neemt ook de hoeveelheid geloosd effluent navenant af. Het effect hiervan op het watersysteem is het grootst in droge periodes. Deze afname treedt niet op in het winterhalfjaar. Hierdoor zal de aanvoer van influent bij de RWZI sterk verschillen door het jaar heen. Het grondwater- en drinkwaterverbruik van de zuivelfabriek verandert niet in dit scenario. De landbouw in de omgeving kan voor beregening gebruik maken van het restwater van de zuivelfabriek, waardoor bij ongewijzigde teelt en watervraag geen grondwater meer hoeft te worden onttrokken. De druk op het grondwatersysteem neemt zodoende af.

De zoutconcentratie van het restwater is een aandachtspunt. In geval van Veghel is de chlorideconcentratie ongeveer 413 mg/L. De zoutschadedrempel voor gevoelige gewassen ligt rond de 300 mg/L Cl, die van matig gevoelig tot tolerante gewassen loopt op van 600 naar 2400 mg/L (Wageningen Environmental Research, 2018). Voor zowel grasland (tolerant) als snijmais (matig gevoelig) zal de chlorideconcentratie van het restwater naar verwachting geen probleem vormen.

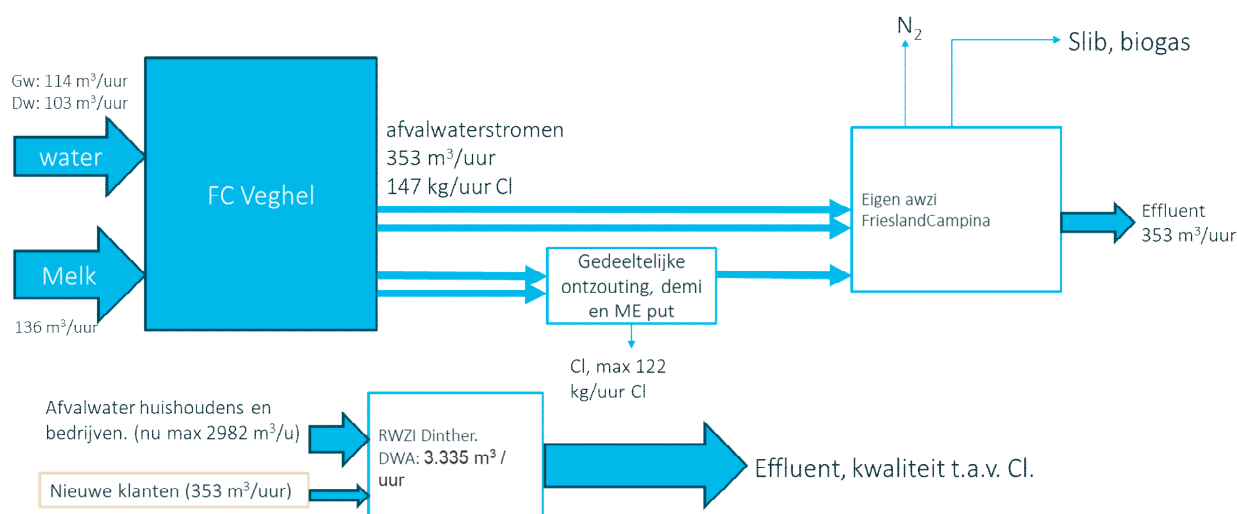
Tabel 4-4: Globale kosten-batenanalyse van Scenario 4: Direct hergebruik van nutriëntenrijk water.

Belanghebbende	Kosten	Baten
Zuivelproducent	Kosten en interne infrastructuur voor anaerobe zuivering (schatting kosten door FrieslandCampina: 0,2 €/m ³). (NB: in Borculo wordt dit al toegepast).	Lagere kosten voor zuiveringsheffing. Naar schatting een halvering tot 2,9 miljoen €/jaar.
Waterschap	Afname van inkomsten uit lozingsheffingen.	-

	Grote verschillen tussen influentvolume in zomer en winter beïnvloedt zuiveringsproces mogelijk negatief.	
Landbouw	Kosten voor afname en transport van gezuiverd effluent voor beregening. Beregeningskosten verder gelijk aan huidige situatie.	Continue beschikbaarheid van water voor beregening, inclusief in langdurig droge periode. Mogelijk minder kosten voor nutriënten/meststoffen.
Drinkwaterbedrijf	-	Afname van druk op grondwatersysteem (= bron drinkwaterproductie) door afname van landbouwonttrekkingen, met name in droge periodes
Natuur/watersysteem	Afname effluentstroom vanuit RWZI in groeiseizoen; negatief effect op watervoerendheid van kleine waterlopen, met name in droge periodes. Ecologisch effect op ontvangende waterloop sterk afhankelijk van lokale situatie.	Afname druk op grondwatersysteem, met mogelijk hogere grondwaterstanden. Effect is sterk afhankelijk van lokale (geohydrologische) situatie, maar het sterkst op locaties met ondiepe grondwateronttrekkingen (Borculo).

4.5 Scenario 5: Indirect hergebruik van volledige hoeveelheid restwater

In dit scenario wordt verondersteld dat al het restwater van de zuivelfabriek wordt behandeld. In de zomer is het water beschikbaar voor landbouwdoeleinden, zodat het hydrologische effect in dit seizoen gelijk is aan scenario 4. Het water moet hiervoor een volledige behandeling ondergaan, waarvan ook desinfectie een onderdeel is. In de rest van het jaar kan het water, met een extra nabehandeling, worden geloosd op het oppervlaktewater. In Figuur 4-9 wordt de situatie schematisch weergegeven voor de locatie Veghel. Aangezien het hydrologisch effect in de zomer hetzelfde is als in scenario 4, wordt voor een overzicht van de waterstromen rondom Veghel in de maand juli 2019 verwezen naar Figuur 4-8. Een kwalitatieve kosten-batenanalyse is opgenomen in Tabel 4-5.



Figuur 4-9: Schematische weergave van de waterstromen bij Veghel in geval van indirect hergebruik van de volledige hoeveelheid restwater (scenario 5).

In de zomer is dit scenario wat betreft de invloed op het watersysteem gelijk aan scenario 4. In de winter echter wordt in dit scenario het restwater direct geloosd op het oppervlaktewater, waardoor het watersysteem kan worden aangevuld. De lokale situatie is hierbij een aandachtspunt: in relatief natte gebieden kan dit ook tot vernatting en wateroverlast leiden. Bovendien is het netto effect afhankelijk van de locatie in het watersysteem waar het restwater in de winter zou worden geloosd. Als dit hetzelfde watersysteem is als waar in de RWZI loost in de huidige situatie, is er netto geen verandering in het effect. Een voordeel van dit scenario ten opzichte van scenario 4 is dat bij de RWZI capaciteit vrijkomt om extra huishoudens of bedrijven aan te sluiten.

Op de productielocatie Borculo wordt het restwater nu al apart behandeld in een Nereda-installatie in Zutphen. Dat water wordt nu via de RWZI afgevoerd naar de IJssel. Wanneer het niet via de RWZI zou worden geleid (waarbij het gecombineerd wordt met sanitair water), kan het met misschien een kleine extra nabehandeling direct op het oppervlaktewater worden geloosd. Het watersysteem in Zutphen is minder droogtegevoelig dan de omgeving van Borculo, vanwege de ligging van Zutphen nabij de rivier. Indien de zuivering dicht bij de fabriek in Borculo zou plaatsvinden en het restwater lokaal beschikbaar komt, kan het lokale watersysteem hiervan profiteren.

Tabel 4-5: Globale kosten-batenanalyse van Scenario 5: Indirect hergebruik van de volledige hoeveelheid restwater.

Belanghebbende	Kosten	Baten
Zuivelproducent	Kosten en interne infrastructuur voor aerobe zuivering en ontzouting.	Lagere/geen kosten voor zuiveringsheffing (Veghel: ca 5,8 miljoen €/jaar)
Waterschap	Afname van inkomsten uit lozingsheffingen.	Ruimte voor extra aansluiting van huishoudens en bedrijven (Veghel: ca 111.000 ve).
Landbouw	Kosten voor afname en transport van gezuiverd effluent voor beregning. Beregeningskosten verder gelijk aan huidige situatie. Mogelijk effecten van vernatting in de winter, sterk afhankelijk van lokale situatie.	Continue beschikbaarheid van water voor beregning, inclusief in langdurig droge periode. Mogelijk minder kosten voor nutriënten/meststoffen.
Drinkwaterbedrijf	-	Afname van druk op grondwatersysteem (= bron drinkwaterproductie) door afname van landbouwonttrekkingen, met name in droge periodes. Mogelijk positief effect van aanvulling watersysteem in winter, sterk afhankelijk van de locatie.
Natuur	Afname effluentstroom vanuit RWZI in groeiseizoen; negatief effect op watervoerendheid van kleine waterlopen, met name in droge periodes. Ecologisch effect op ontvangende waterloop sterk afhankelijk van lokale situatie.	Afname druk op grondwatersysteem, met mogelijk hogere grondwaterstanden. Effect is sterk afhankelijk van lokale (geohydrologische) situatie, maar het sterkst op locaties met ondiepe grondwateronttrekkingen (Borculo). Lokale vernatting in de winter kan positief effect hebben op bepaalde natuurtypen.

4.6 Scenario 6: Deelstroombehandeling en intern hergebruik

Gezien de verwachte kosten van zuivering van de volledige hoeveelheid restwater en het aanzienlijke verschil in waterkwaliteit tussen deelstromen onderling, kan het aantrekkelijk zijn om niet alle deelstromen te behandelen voor intern hergebruik. Indien gekozen wordt voor deelstromen met een relatief groot volume en een relatieve lage hoeveelheid verontreinigingen, kan mogelijk vrij efficiënt een aanzienlijk percentage hergebruik worden bereikt. Een van de deelstromen die voor intern hergebruik in aanmerking zou komen is RO-permeaat, vanwege het relatief grote volume (in Veghel >20% van het totaal) en de relatief goede kwaliteit. Wel moet dan het ureum nog verwijderd worden. Andere stromen op de locatie Veghel die een groot volume hebben, zijn de ME-put (>20%) en VF (15%).

De gekozen deelstromen bepalen in sterke mate de benodigde zuiveringstechniek en het netto effect op het watersysteem. Zodoende zijn voor dit scenario geen processchema en Sankey-diagram opgesteld, maar is alleen een globale kosten-batenanalyse opgesteld (Tabel 4-6). Wel is de mogelijke waterbehandeling en het te behalen rendement in meer detail onderzocht in een aantal laboratoriumexperimenten. De resultaten hiervan worden beschreven in paragraaf 5.5.

Tabel 4-6: Globale kosten-batenanalyse van Scenario 6: Deelstroombehandeling en intern hergebruik.

Belanghebbende	Kosten	Baten
Zuivelproducent	(Geringe) kosten en interne infrastructuur voor waterbehandeling en extra zuivering	Minder drinkwater en/of grondwater nodig. Lagere kosten voor zuiveringsheffing.
Waterschap	Mogelijke afname van inkomsten uit lozingsheffingen.	(Geringe) reductie van influentstroom en benodigde zuivering, afhankelijk van welke deelstroom wordt hergebruikt. Mogelijk ruimte voor nieuwe aansluitingen.
Landbouw	-	Mogelijk voordeel van afname druk op grondwatersysteem. Sterk afhankelijk van locatie en gekozen hergebruik.
Drinkwaterbedrijf	Mogelijke (geringe) afname van inkomsten uit drinkwaterlevering aan zuivelproducent.	Mogelijk ruimte voor aansluiting van nieuwe particuliere en zakelijke klanten.
Natuur/watersysteem	(Zeer) lichte afname effluentstroom vanuit RWZI. Ecologisch effect op ontvangende waterloop sterk afhankelijk van lokale situatie en gekozen hergebruik.	Zeer geringe verlichting van druk op watersysteem. Sterk afhankelijk van locatie en gekozen hergebruik.

5 Waterbehandeling

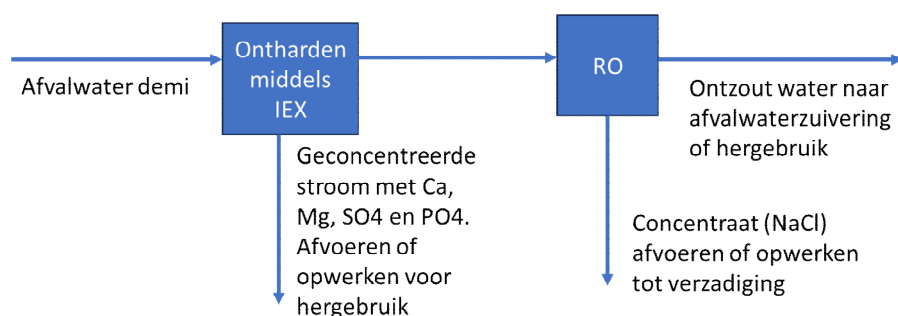
In de verschillende scenario's uit hoofdstuk 4 moeten verschillende waterstromen apart of samen behandeld worden om geschikt te worden gemaakt voor hergebruik. In dit hoofdstuk wordt voor de verschillende scenario's aangegeven welke waterbehandeling mogelijk is om hergebruik te kunnen realiseren. In paragraaf 5.5 worden de resultaten beschreven van experimenten die gedaan zijn om twee deelstromen te behandelen als eerste stap in een behandelingstrein voor volledig hergebruik.

5.1 Verwijdering van chloride uit restwater van demineralisatie

In een zuivelfabriek wordt wei ingedikt met behulp van omgekeerde osmose (RO). Het permeaat hiervan wordt nu als restwater geloosd maar bevat naast water en ureum weinig andere componenten. In scenario 2 (Direct hergebruik van RO-permeaat; paragraaf 4.2) wordt het RO-permeaat via direct hergebruik ingezet voor landbouwwatervoorziening. Het RO-permeaat bevat weinig zout en verdunt in de huidige situatie het influent op de RWZI. Een gevolg van het afkoppelen van het RO-permeaat van het influent van de RWZI is dat het resterende influent een (te) hoog zoutgehalte heeft. Om het chloridegehalte in de totale restwaterstroom te verlagen kan het restwater van de demineralisatie (Demi in Tabel 2-2) behandeld worden. Het gaat om een relatief kleine stroom (13 m³/uur, 3-4% van het volume) met een hoog chloridegehalte. De gemiddelde chlorideconcentratie is 6300 mg/L (omgerekend 55% van de totale chloridevracht). Daarnaast is gemiddeld 1500 mg/L nitraat en bijna 400 mg/L sulfaat aanwezig.

Mogelijke behandelopties van deze reststroom van de demineralisatie zijn het concentreren van deze stroom met RO onder hoge druk tot ongeveer 80 g/L zout (totaal), waarna in een tweede processtap het RO-concentraat tot verzadiging wordt geconcentreerd. Als aangenomen wordt dat het tegenion van chloride, nitraat en sulfaat alleen natrium is, zit er ongeveer 12,8 gram zout in het water. Dat betekent dat het ongeveer 6-6,25 keer geconcentreerd kan worden met RO. Het indikken van een waterstroom tot deze hoge zoutconcentratie vraagt om een hoge druk, en daarmee relatief veel energie. Er blijft dan nog een stroom van 2 m³/uur over. Dit kan afgevoerd worden naar een afvalverwerker (verbranding) of op de locatie verder behandeld worden met bijvoorbeeld *Eutectic freeze*-kristallisatie (EFC) of membraandestillatie-kristallisatie. Of deze technologieën geschikt zijn voor behandeling van deze geconcentreerde stroom, moet nader onderzocht en getest worden.

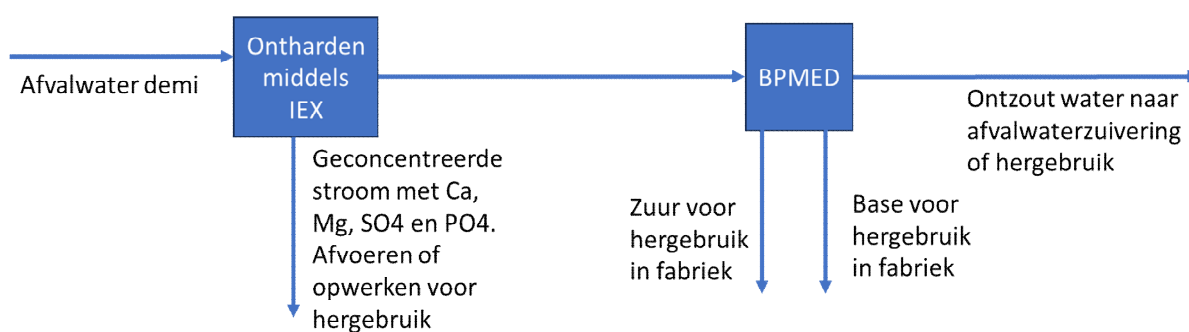
Indien er naast natrium ook calcium en magnesium als tegenion aanwezig zijn in de waterstroom, zal de mate van concentratie met omgekeerde osmose veel lager zijn omdat er dan aanslag kan optreden doordat het calcium en magnesium met het sulfaat neerslaan. Calcium en magnesium zouden voorafgaand aan de RO kunnen worden verwijderd met behulp van een ionenwisselaar voor ontharding (IEX). Het proces zou er dan als volgt uitzien (Figuur 5-1) :



Figuur 5-1: Behandeling van de reststroom Demi met IEX en RO.

De ionenwisselaar moet regelmatig geregenereerd worden. De geconcentreerde stroom uit het regeneraat van de ionenwisselaar bevat ook componenten die voor de landbouw interessant kunnen zijn als meststof.

Een andere behandeloptie is om elektrodialyse met bipolaire membranen (BPMED) toe te passen. Als er geen calcium en magnesium aanwezig zijn, kan dit direct op de reststroom van de demineralisatie plaatsvinden. Er vindt dan productie van een mengsel van zuren plaats, namelijk zoutzuur, salpeterzuur en zwavelzuur. Deze zuren kunnen misschien in de fabriek hergebruikt worden. Indien er wel magnesium en calcium aanwezig zijn, moet dit eerst verwijderd worden via een ionenwisselaar (IEX). Bij deze behandeloptie is er geen afval, maar een nieuw product geproduceerd. Schematisch is dit weergegeven in Figuur 5-2. Omdat de volledige samenstelling van de reststroom van het demineralisatieproces in het huidige onderzoek niet bekend is, kan niet worden aangegeven welke optie de meeste kansen biedt.



Figuur 5-2: behandeling van de demi-reststroom met IEX en elektrodialyse met bipolaire membranen

5.2 Verwijdering van ureum uit RO-permeaat

In de huidige situatie wordt wei behandeld met een RO-installatie, waarna het RO-permeaat wordt afgevoerd als restwaterstroom. In scenario 2 (Direct hergebruik van RO-permeaat; paragraaf 4.2) en 3 (Maximaal intern hergebruik; paragraaf 4.3) wordt het RO-permeaat teruggevoerd naar de fabriek voor hergebruik. Belangrijkste struikelblok om dat nu nog niet te doen, is de aanwezigheid van ureum ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) in het restwater. Ureum kan worden teruggewonnen uit waterstromen voor verschillende toepassingen, bijvoorbeeld als meststof in de landbouw of als de brandstoftoevoeging AdBlue. Methoden voor het verwijderen van ureum uit restwaterstromen zijn adsorptie, oxidatie, biologische behandeling, hydrolyse met behulp van thermische behandeling of enzymen, ontleding met behulp van een katalysator en een sterk oxidatiemiddel, of elektrochemische oxidatie (Urbańczyk et al., 2016; Weerakoon et al., 2023; Zaher & Shehata, 2019).

Adsorptie: Een veel gebruikt adsorbens is actief kool. De adsorptiecapaciteit van actief kool voor ureum verschilt erg per type gebruikt kool, activatiemethode en modificatie. De adsorptiecapaciteit is 0,6 mg/g tot 545 mg/g. Ook andere op kool gebaseerde materialen kunnen gebruikt worden voor adsorptie van ureum, zoals grafeen en fullereen. Andere adsorbentia die gebruikt kunnen worden zijn zeolieten, silicagel of chitosan. Ook hierbij hangt de adsorptiecapaciteit erg samen met het gebruikte type of modificatie. Door het aanpassen van het oppervlak, de poriegrootte en porievolume, kan de capaciteit aangepast worden. Vooral bij silica is het mogelijk om dit aan te passen. In geval van adsorptie wordt het ureum verwijderd en kan het niet hergebruikt worden.

Oxidatie: Ureum kan geoxideerd worden door sterke oxidanten zoals ozon of natriumchloraat. Hierbij is vaak een katalysator nodig.

Hydrolyse: Ureum kan gehydrolyseerd worden onder hoge temperatuur ($>200^\circ\text{C}$) en hoge druk ($>2\text{MPa}$). Door de hoge energiekosten lijkt deze methode niet geschikt voor volumes zoals die van de reststromen in deze studie. Een

andere methode is het gebruik van enzymen. Er zijn verschillende ureases (enzymen) die ureum omzetten in ammonia en carbonaat of bij lagere pH ammonium en CO₂. Processen met geïmmobiliseerde enzymen zijn relatief duur en worden daarom niet vaak toegepast voor behandeling van restwater. Ook is het mogelijk om ureum te verwijderen via biologische zuivering. Gezien het lage CZV van RO-permeaat is dat echter niet heel geschikt voor deze waterstroom. Voor een optimale biologische zuivering moet de verhouding tussen CZV en N ongeveer 20:1 zijn. In het geval van het RO-permeaat uit Veghel is de verhouding echter 4:1.

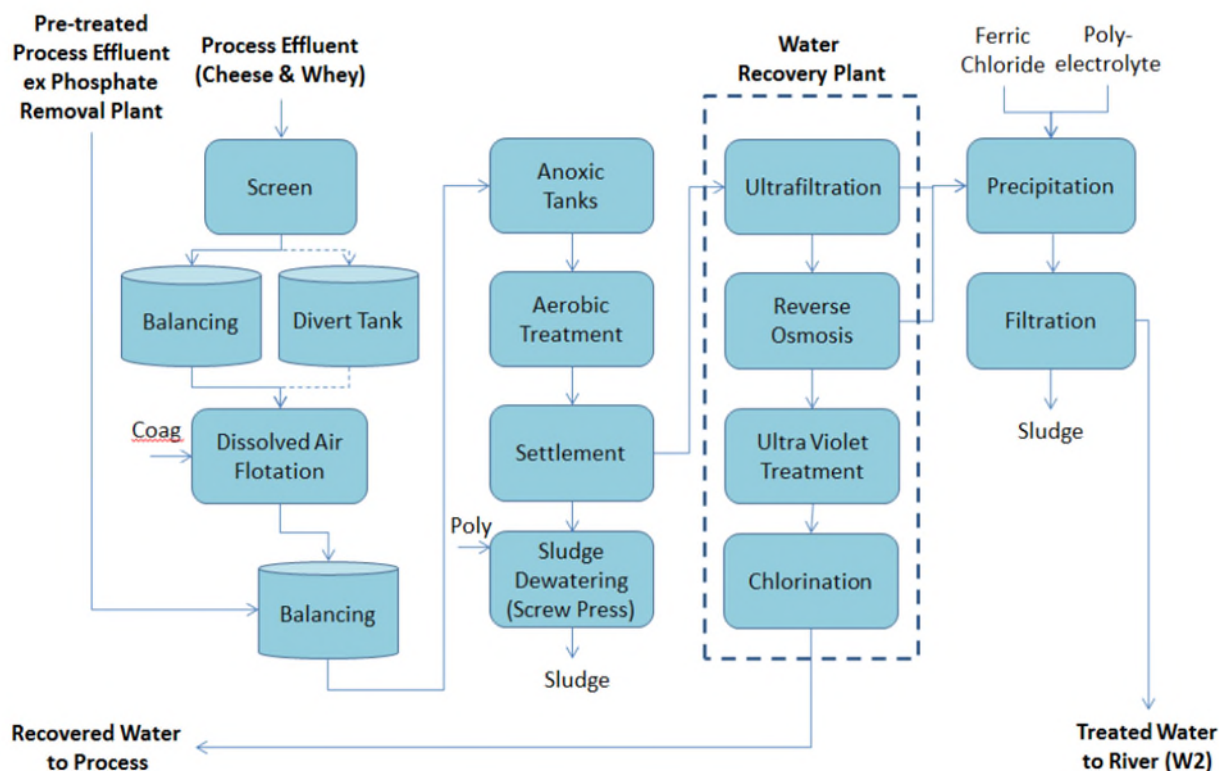
Een andere technologie om ureum om te zetten is middels elektrochemische oxidatie (Cataldo Hernández et al., 2014; Vedharathinam & Botte, 2013; Yang et al., 2024). Hierbij wordt ureum onder invloed van elektrische stroom aan een elektrode geoxideerd tot CO₂ en stikstofgas. Hoewel het elektrodemateriaal van groot belang is voor de katalyse van de reactie, is het verder een vrij eenvoudig te bedienen proces. Er zijn ook bedrijven die de combinatie van adsorptie en elektrochemische oxidatie combineren in één proces. Hierbij wordt het eerst geadsorbeerd aan een adsorbens waarna middels elektrochemische oxidatie het ureum vernietigd wordt.

Gezien de grootte van de stroom en het feit dat het hier om een (afval)waterstroom gaat, moet gekozen worden voor een robuuste technologie, die bij voorkeur niet te veel kost. Adsorptie en elektrochemische oxidatie lijken daarvoor in aanmerking te komen.

5.3 Behandeling totale restwaterstroom voor hergebruik

In scenario 3 (Maximaal intern hergebruik; paragraaf 4.3) en scenario 5 (Indirect hergebruik van volledige hoeveelheid restwater; paragraaf 4.5) wordt de restwaterstroom in zijn geheel behandeld en hergebruikt, uitgezonderd het RO-permeaat. In scenario 3 is dat met het doel voor intern hergebruik in de zuivelfabriek, terwijl het in scenario 5 voor hergebruik in het watersysteem is. Voor de productie van proceswater van hoge kwaliteit, namelijk biologisch inert en met een geleidbaarheid van minder dan 200 µS/cm (Giner Santonja et al., 2019), is een volledige behandeling van alle restwaterstromen die in de zuivelindustrie worden geproduceerd, noodzakelijk. Dit betekent dat in beide scenario's een uitgebreide zuivering van het restwater zal moeten plaatsvinden.

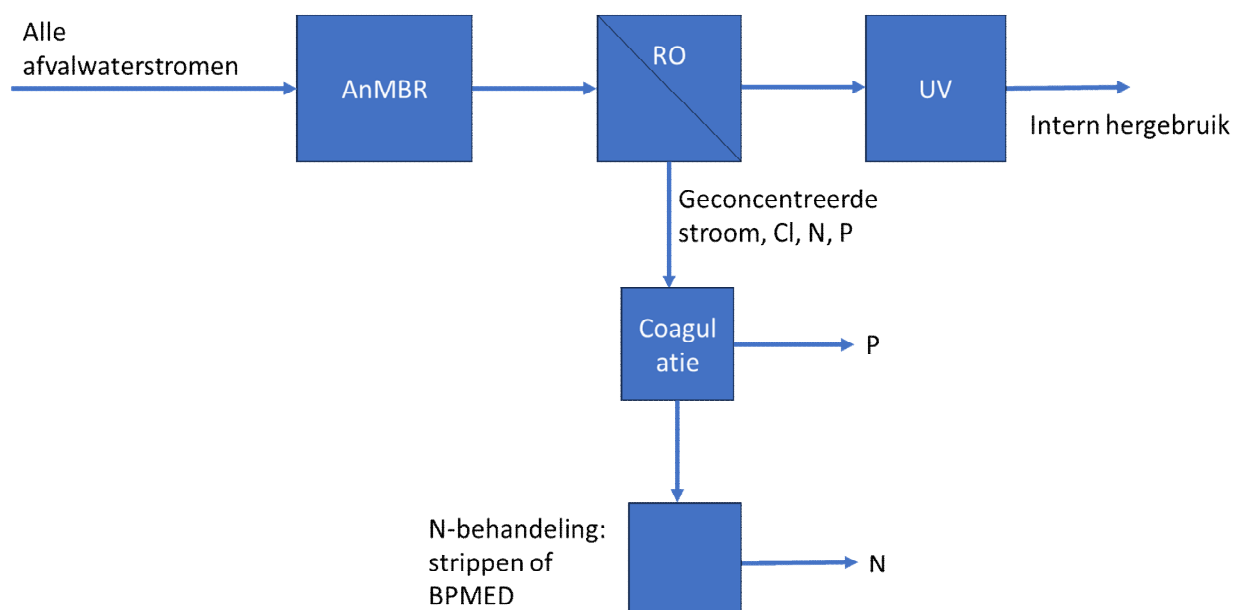
Figuur 5-3 toont het schema van de restwaterbehandeling van een kaasindustrie, waar proceswater van hoge kwaliteit wordt geproduceerd. Het teruggewonnen water wordt hergebruikt als proceswater. De restwaterbehandeling omvat primaire, secundaire en tertiaire behandeling. Tijdens de primaire behandeling wordt het influent gehomogeniseerd, gevolgd door coagulatie gekoppeld aan opgeloste lucht-flotatie. De secundaire behandeling bestaat uit actiefslibbehandeling in tanks met verschillende redoxcondities, namelijk anoxisch en aeroob. Het water en slib worden gescheiden door bezinktanks en het afvalslib wordt verder behandeld. Het secundaire effluent wordt verder behandeld door ultrafiltratie, omgekeerde osmose, UV en desinfectie door chlorering. De geconcentreerde stromen uit de membraanfiltratiestappen worden verder behandeld door een coagulatie-flocculatiestap, voordat de resterende vloeistof (supernatant) in het aquatisch milieu wordt geloosd. Voor de huidige studie was geen processchema van melkproductie beschikbaar. De verwachting is dat het processchema in Figuur 5-3 ook relevant is de waterbehandeling van restwater van FrieslandCampina ten behoeve van intern hergebruik, aangezien in de fabrieken soortgelijke productieprocessen plaatsvinden. Dit zal echter in vervolgonderzoek nader moeten worden onderzocht.



Figuur 5-3: Schema voor hergebruik van gezuiverd restwater in de kaasindustrie. Ontleend aan Giner Santonja et al. (2019), verwijzend naar 193,TWG 2015.

Hergebruik van restwater als aanvulling van het watersysteem (scenario 5) is op het oog een minder hoogwaardige toepassing dan hergebruik als proceswater in de voedingsmiddelenindustrie. Zodoende is het wellicht niet noodzakelijk om de membraanfiltratie en desinfectiestappen toe te passen. In geval van aanvulling van het oppervlaktewatersysteem moet de waterkwaliteit voldoen aan de lozingseisen van effluent op oppervlaktewater. In een eventuele vergunningaanvraag voor lozing op oppervlaktewater zal moeten worden aangetoond dat het gezuiverde restwater voldoet aan de lozingseis. Momenteel zijn die 20 mg/L BZV, 125 mg/L CZV, onopgeloste stoffen 30 mg/L, 1,0 mg/L fosfor en 10 mg/L stikstof voor RWZI effluent. Om industrieel restwater te mogen lozen op oppervlaktewater moet een vergunning worden aangevraagd bij het bevoegd gezag (zie hoofdstuk 7) maar deze waardes kunnen als eerste handreiking worden gebruikt.

De waterbehandeling voor maximaal intern hergebruik kan ook bestaan uit een anaerobe membraanbioreactor (AnMBR) gevolgd door een RO, en eventueel een UV en chloridebehandeling voor desinfectie. Het RO-concentraat bevat relatief hoge concentraties stikstof (als ammonium) en fosfor. Beide nutriënten worden in een anaerobe MBR niet verwijderd en komen dus mee in het effluent van de AnMBR. In de RO komen deze stoffen in het concentraat, evenals andere zouten zoals Cl. Stikstof en fosfor kunnen teruggewonnen worden: fosfor via coagulatie, en stikstof (ammonium) via bijvoorbeeld strippen bij hoge pH, of middels elektrolyse met bipolaire membranen, zie Figuur 5-4.



Figuur 5-4: Processchema voor de volledige behandeling van restwater voor intern hergebruik, als alternatief voor de methode uit Figuur 5-3.

5.4 Direct hergebruik van nutriëntenrijk water

Het restwater van FrieslandCampina bevat veel organische stof, maar daarnaast ook veel nutriënten die van waarde kunnen zijn in de landbouw. In scenario 4 (paragraaf 4.4) wordt deze variant van hergebruik omschreven. In het uitvoeringsbesluit (EU) 2019/2031³ van de Commissie tot vaststelling van de beste beschikbare technieken voor de voedingsmiddelen-, dranken- en melkindustrie wordt anaerobe behandeling aangemerkt als een van de beste technologieën om de terugwinningsefficiëntie van de sector te verhogen (Giner Santonja et al., 2019). Restwater uit de zuivelindustrie, gekenmerkt door hoge CZV- en BZV-waarden en relatief veel nutriënten, is zeer geschikt voor anaerobe vergisting. Anaerobe behandelingen maken de productie van methaan mogelijk, dat kan worden gebruikt als energiebron. Een anaerobe behandeling zet echter geen nutriënten zoals stikstof en fosfor om, zodat deze aanwezig blijven in het behandelde restwater. Indien dit restwater door middel van bevoeiing op het land wordt uitgereden, zou het een bijdrage kunnen leveren als meststof aan het landbouwproductieproces. Voor een inschatting van deze bijdrage zijn enkele getallen opgenomen in Bijlage I. Deze techniek zou echter alleen mogen worden toegepast als het agronomische voordeel ervan is aangetoond en als het geen negatieve gevolgen heeft voor het milieu, met name voor de bodem, het grondwater en het oppervlaktewater. Momenteel wordt dit nog niet toegepast vanwege het ontbreken van een (Europees) juridisch kader. Het aanvragen van een product als meststof staat beschreven in de meststoffenverordening (zie ook hoofdstuk 7.3 en RVO (2022)).

5.5 Deelstroombehandeling voor intern hergebruik

De behandeling van restwater uit de zuivelindustrie begint doorgaans met een primaire behandeling, gevolgd door een secundaire behandeling waarbij meestal biologische zuivering wordt toegepast. Op het niveau van de primaire behandeling wordt zuivelrestwater meestal met een coagulatie-flocculatie stap behandeld, ook wel genoemd als chemisch verbeterde primaire behandeling (Shewa & Dagnew, 2020). Meestal is het primaire doel van de coagulatie-flocculatie de verwijdering van vet of gesuspendeerde stoffen. De coagulatie-flocculatie verwijdert ook organische koolstof (vooral grotere moleculen) en nutriënten, naast andere verontreinigende stoffen (Shewa & Dagnew, 2020). Een primair behandelingsniveau met coagulatie kan goed zijn voor ongeveer 40% verwijdering van

³ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=CELEX%3A32019D2031>

de totale organische belasting. Bij biologische behandeling zijn koolstof en nutriënten nodig voor de biologische afbraak van de verontreinigende stoffen. Bij aerobe zuivering wordt een ideale verhouding voor optimale prestaties gewoonlijk beschouwd als 100/5/1 voor respectievelijk koolstof/stikstof/fosfor. Daarom kan een coagulatie-flocculatie stap, door het verwijderen van koolstof in overbelaste restwaterstromen, ook bijdragen aan een optimale biologische behandeling. In het algemeen is coagulatie-flocculatie noodzakelijk om vet te verwijderen en of de vervuiling te verminderen uit restwaterstromen van zuivelbedrijven.

In hoofdstuk 4 is de behandeling van deelstromen ten behoeve van intern hergebruik (scenario 6, zie paragraaf 4.6) voorgesteld als scenario om een relatief groot volume aan her te gebruiken restwater te produceren, zonder de volledige restwaterstroom te hoeven behandelen. Om de mogelijkheden nader te verkennen, zijn in dit onderzoek enkele coagulatie-experimenten uitgevoerd met water van twee deelstromen uit het productieproces van de fabriek in Veghel. Hiervoor werden twee restwaterstromen geselecteerd, namelijk de Voorfabriek (VF) en Melkeiwitput (ME-put). Voor een nadere omschrijving van deze deelstromen, zie Tabel 2-1. Deze deelstromen werden geselecteerd omdat ze, na het RO-permeaat, de twee grootste volumes restwaterstromen vertegenwoordigen die in Veghel worden geproduceerd. Het doel van de experimenten was om te bepalen hoeveel organisch materiaal verwijderd kan worden in de coagulatiestap, om op basis hiervan in te kunnen schatten in welke mate coagulatie kan bijdragen aan de behandeling van de volledige restwaterstroom. De experimenten bestonden uit twee delen:

- 1 Analyseren van de kwaliteit van de restwaterstromen (paragraaf 5.5.2);
- 2 Uitvoeren van bekertesten om de maximale verwijdering van CZV te bereiken, door een optimale concentratie van het coagulatiemiddel toe te passen (paragraaf 5.5.3).

5.5.1 Materialen en methoden

Voor de experimenten heeft Friesland Campina twee soorten watermonsters van de deelstromen VF en ME-put verzameld en aangeleverd, namelijk een debietsproportioneel monster (volume van 1 liter) en een steekmonster (volume van ongeveer 50 liter). De kwaliteit van steekmonsters uit industrieel restwater is sterk afhankelijk van de activiteiten die op de locatie worden uitgevoerd ten tijde van de monsternamen. Voor een debietsproportioneel monster worden vooraf vastgestelde volumes verzameld op vooraf vastgesteld momenten die representatief zijn voor de activiteiten op de locatie. Zodoende geven debietsproportionele monsters een representatiever beeld van de gemiddelde waterkwaliteit van de waterstromen. Hoewel een debietsproportioneel monster om die reden de voorkeur heeft boven een steekmonster, was het logistiek gezien ingewikkeld om een debietsproportioneel monster van 50 liter te nemen. Zodoende is in het experiment een vergelijking tussen het debietsproportioneel monster en het steekmonster uitgevoerd.

Een eerste screening van waterkwaliteitsparameters werd door KWR uitgevoerd direct na ontvangst van de monsters. Hierbij zijn de volgende parameters gemeten: Temperatuur, pH, Geleidbaarheid, Chemisch Zuurstofverbruik (CZV), Nitraat, P-totaal en N-totaal. Er is gebruik gemaakt van Hach testkits om CZV (LCK514), nitraat (LCK340), P-totaal (LCK 350) en N-totaal (LCK338) te meten. Tegelijkertijd werden de monsterflessen gevuld en opgestuurd naar het laboratorium van AL-West BV (vanaf nu aangeduid als extern laboratorium) om de nauwkeurigheid te garanderen en aanvullende informatie te verkrijgen. De parameters die in het laboratorium werden gemeten zijn: pH, Temperatuur, Geleidbaarheid, Totale hardheid, Chloride, Sulfaat, CZV, BZV 5 dagen, TOC, Olie en vetten (PE extraheerbaar), Totaal stikstof (N), Stikstof volgens Kjeldhal (N), Nitraat (als N), Nitriet (als N) en Totaal fosfor (P). Alle parameters werden gemeten volgens NEN- en/of ISO-methoden.

De bekertesten werden uitgevoerd in een testapparaat dat gebouwd is door de werkplaats van KWR (Figuur 5-5). De proefopstelling bestaat uit zes bekertjes met een volume van 2 liter, met platte roerstaafjes en een lichtbron op de achtergrond om de zichtbaarheid te vergroten. De eventuele pH-correctie en toevoeging van coagulant zijn programmeerbaar, evenals de roersnelheid en de tijd van elke stap.



Figuur 5-5 Testapparaat voor bekerteksten in de werkplaats van KWR.

De volgende procedure werd geprogrammeerd in het testapparaat:

- 1 min; 150 rpm; monsterhomogenisatie;
- 200 rpm; pH-correctie (indien van toepassing);
- 3 min; 200 rpm; coagulant toevoeging en snel mengen;
- 10 min; 30 rpm; langzaam mengen;
- 30 min; 0 rpm; bezinking.

Na de bezinkingsstap werd uit elke beker een monster van het supernatant verzameld. De coagulanten die voor de experimenten werden gebruikt, staan in

Tabel 5-1. De tabel toont ook de concentratie van de gebruikte stockoplossing en aan welk restwatermonster het werd toegevoegd. De restwatermonsters die voor de bekerexperimenten werden gebruikt, waren steekmonsters, aangezien er niet genoeg volume was om de tests met het debietsproportionele monster uit te voeren. De coagulanten werden geselecteerd op basis van een literatuurstudie en overleg met coagulantenleveranciers. Wanneer het chloridegehalte in de desbetreffende deelstroom als te hoog werd beschouwd (gebaseerd op eerdere kwaliteitsmetingen van de deelstromen), werd sulfaat als coagulant gekozen. In andere gevallen werd de voorkeur gegeven aan chloride als coagulant.

Voor de pH-correctie van de bekertest VF+ FeCl_3 werd vooraf een 1M NaOH-oplossing bereid. De hoeveelheden coagulant die aan elke beker moesten worden toegevoegd, werden bepaald op basis van de dichtheid van de coagulant, de concentratie in de stockoplossing en de molaire massa van de moleculen. In de literatuur werden indicatieve waarden voor optimale coagulantconcentraties gevonden; deze zijn gebruikt (Tabel 5-4). De bekertesten werden gecontroleerd door middel van CZV-metingen. Elke bekertest werd één keer uitgevoerd en de CZV-metingen werden twee keer uitgevoerd.

Tabel 5-1: Ovezicht van de coagulanten die in de experimenten werden gebruikt.

Chemicaliën		Concentratie stockoplossing	Deelstroom**	Opmerkingen
Aluminiumsulfaat	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	8.2%	ME-put	pH niet gecorrigeerd
Ijzersulfaat *	FeSO_4	32.8-35.9%	ME-put	pH niet gecorrigeerd
			VF	pH niet gecorrigeerd
Ijzerchloride	FeCl_3	39-41%	VF	pH gecorrigeerd

* Commerciële naam Aquafer.

** ME-put = Melkeiwitput; VF = Voorfabriek; zie ook Tabel 2-1.

5.5.2 Analyse van de restwaterstromen

De waterkwaliteitsresultaten van de door het externe laboratorium uitgevoerde metingen worden weergegeven in Tabel 5-2. Alle parameters werden gemeten in laboratoriumcondities, waardoor de temperatuur niet representatief is voor de lokale omstandigheden. Zoals Tabel 5-2 laat zien, zijn er aanzienlijke verschillen tussen de resultaten van het debietsproportionele monster en de steekmonsters, vooral wat betreft geleidbaarheid, chloride, sulfaat, CZV en stikstofcomponenten. De kwaliteit van steekmonsters voor industrieel restwater varieert afhankelijk van de activiteiten die op de industrielocatie worden uitgevoerd en dus van het moment van monstername. Om die reden zouden de bekerexperimenten idealiter uitgevoerd zijn met debietsproportionele monsters. Aangezien het in de praktijk niet mogelijk was om voor deze studie een voldoende volume aan debietsproportionele monsters te verzamelen, werden de bekerexperimenten alsnog uitgevoerd met steekmonsters.

Het restwater van de zuivelindustrie bestaat voornamelijk uit een mengsel van verdunde melk en reinigingsmiddelen die worden gebruikt om de apparatuur en werkgebieden te reinigen en te desinfecteren. In het geval van de onderzochte restwaterstromen bevat de deelstroom VF meer verdunde melk, terwijl de invloed van reinigingsactiviteiten meer zichtbaar is in de deelstroom ME-put.

De resultaten in Tabel 5-2 laten zien dat beide restwaterstromen een hoge CZV-concentratie hebben, met 1080 mg/L voor ME-comp en 1370 mg/L voor VF-comp. Het grootste deel van het CZV in de monsters is echter van anorganische aard, wat overeenkomt met de TOC-waarden die in beide monsters zijn gemeten, namelijk 320 mg/L en 420 mg/L voor respectievelijk ME-comp en VF-comp. Daarnaast bevat deelstroom VF ook vet, zoals gemeten VF-grab maar niet aangetroffen in ME-grab. De vetconcentraties duiden op de aanwezigheid van verdunde melk in VF. Wat betreft de stikstofcomponenten zijn de resultaten van de samengestelde monsters niet erg hoog, gezien de industriële aard van het restwater. VF-monsters bevatten meer stikstof dan monsters uit de ME-put.

De chloride- en sulfaatconcentraties verschillen per stroom. Over het algemeen zijn de concentraties sulfaat veel lager dan de concentraties chloride. In ME-comp werden hogere concentraties chloride (250 mg/L) gevonden dan in VF-comp (59 mg/L). Wat betreft sulfaat heeft ME-comp ook hogere concentraties dan VF-comp, respectievelijk 40 mg/L en 13 mg/L. Chloride en sulfaat in restwater zijn voornamelijk aanwezig als gevolg van reinigingsprocessen, waarbij reinigings- en/of desinfectieproducten op basis van chloride en sulfaat worden toegepast.

Tabel 5-2: Karakterisering van de restwatermonsters uitgevoerd in het externe laboratorium; grab= steekmonster; comp= debietsproportioneel monster.

	ME-grab	ME-comp	VF-grab	VF-comp
--	---------	---------	---------	---------

pH	-	12,7	12,2	11,9	11,4
Temperatuur	°C	20,2	18,7	20,1	18,7
Geleidbaarheid 25°C	mS/cm	11,7	3,98	3,16	1,65
Totale Hardheid	°dH	6,7	9	9,5	8,4
Totale Hardheid	mmol/l	1,2	1,6	1,7	1,5
Chloride (Cl)	mg/L Cl	86	250	46	59
Sulfaat	mg/L SO ₄	57	40	<11	13
CZV	mg/L O ₂	790	1080	2550	1370
BZV 5 dagen	mg/L O ₂	420	NB	1200	NB
TOC	mg/L C	360	320	750	420
Olie en vetten (PE extraheerbaar)	mg/L	<20	NB	330	NB
Totaal stikstof (N)	mg/L N	256,5	63	271,5	163,5
Stikstof volgens Kjeldahl (N)	mg/L N	80,9	42	138	77,4
Nitraat (als N)	mg/L N	32	17	64	9,6
Nitriet (als N)	mg/L N	0,04	0,5	0,7	42
Totaal fosfor (P)	mg/L P	15	13	20	12

NB = niet bepaald vanwege onvoldoende monstervolume om de analyse uit te voeren.

5.5.3 CZV-verwijdering door middel van bekertesten

De resultaten van de testkits die zijn uitgevoerd in het laboratorium van KWR na ontvangst van de monsters zijn opgenomen in Tabel 5-3. Deze resultaten werden gebruikt als indicatieve waarde voor de bekerexperimenten, aangezien de resultaten van het externe laboratorium enkele weken later werden ontvangen. Er zijn daardoor kleine verschillen tussen de resultaten in Tabel 5-2 en Tabel 5-3 als gevolg van verschillende analysemethoden. De conclusies die getrokken worden op basis van de analyses bij het externe laboratorium, het externe analyselaboratorium (Tabel 5-2) zijn ook van toepassing op de resultaten van de analyses bij KWR (Tabel 5-3). De in de literatuur gevonden optimale concentraties voor de toevoeging van geteste coagulanten worden weergegeven in Tabel 5-4.

Tabel 5-3: Resultaten testkits uitgevoerd bij KWR (grab= steekmonster; comp= debietsproportioneel monster).

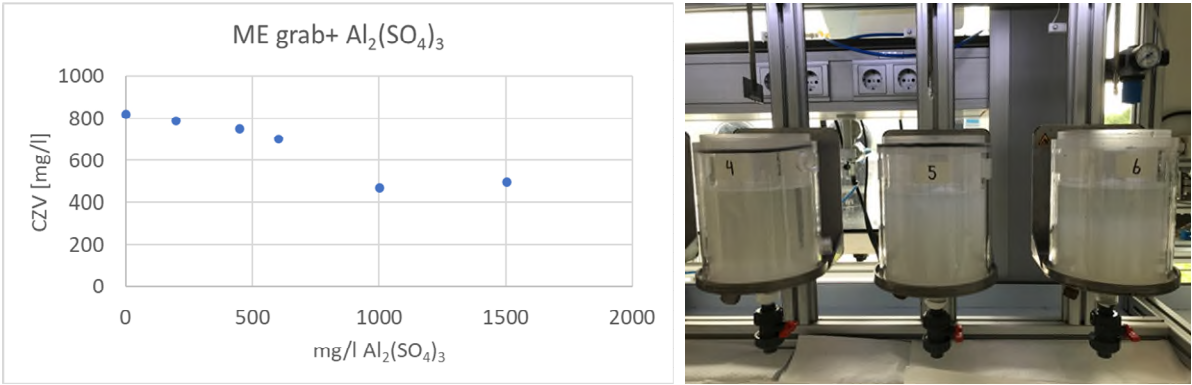
	ME-grab	ME-comp	VF-grab	VF-comp
Temperatuur	16,2	17,9	15,6	17,8
pH	12,6	12,17	11,92	12,07
Geleidbaarheid [mS/cm]	6,28	4,51	2,35	3,92
CZV	933	1299	3115	1803

Nitraat (als N)	56	19	112	36
Totaal fosfor (P)	16,6	17,2	23	13,5
Totaal stikstof (N)	256,5	63	271,5	163,5

Tabel 5-4: Optimale concentraties voor toevoeging van geteste coagulanten, gebaseerd op literatuur.

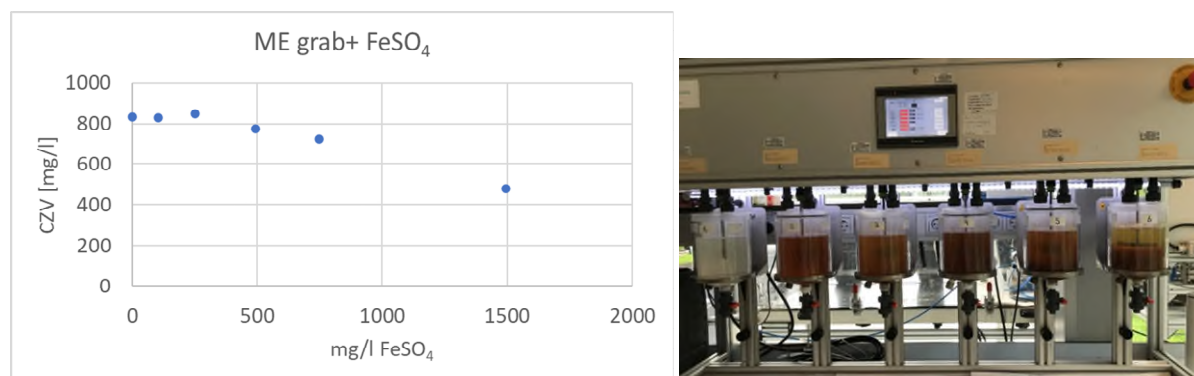
Chemicaliën	Optimale pH	Optimale concentratie	Type industrie	Referentie
Ijzerchloride (FeCl ₃)	6,5-8	450 mg/L	Zuivel	Sarkar et al. (2006)
Aluminiumsulfaat (Al ₂ (SO ₄) ₃)	7	1000 mg/L	Kaas	Carvalho et al. (2013)
Ijzersulfaat (FeSO ₄)	8,5	250 mg/L	Kaas	Carvalho et al. (2013)

Zoals eerder vermeld, werden aluminiumsulfaat en ijzersulfaat toegevoegd aan het monster uit de deelstroom ME-put. De verkregen resultaten van de toevoeging van aluminiumsulfaat aan ME-put zijn weergegeven in Figuur 5-6. De grafiek links laat zien dat de gevonden optimale concentratie vergelijkbaar is met literatuur. Voor het afvalwater van de kaasproductie geeft de literatuur een optimale concentratie van 1000 mg/L aan, terwijl onze resultaten een optimale concentratie tussen 600 en 1500 mg/L aangeven (Tabel 5-4). Bij de concentratie van 1000 mg/L werd 43% CZV verwijderd.



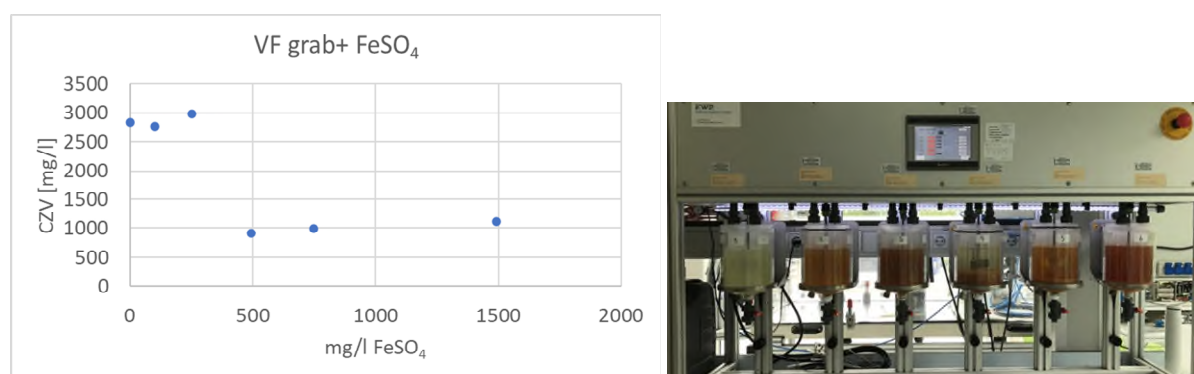
Figuur 5-6: Links: bekertestresultaten van de toevoeging van aluminiumsulfaat aan het monster ME-grab. Rechts: resultaten voor de drie bekers waar de verwijdering van verontreinigingen zichtbaar was.

De resultaten van de toevoeging van ijzersulfaat zijn weergegeven in Figuur 5-7. De grafiek laat zien dat er geen optimale concentratie werd gevonden binnen het meetbereik, in tegenstelling tot de literatuur waar een optimale concentratie van 250 mg/L werd gerapporteerd (Tabel 5-4). Concentraties boven 250 mg/L zorgen voor extra CZV-verwijdering. Binnen het meetbereik werd de maximale CZV-verwijdering van 57% bereikt bij de concentratie van 1500 mg/L ijzersulfaat.



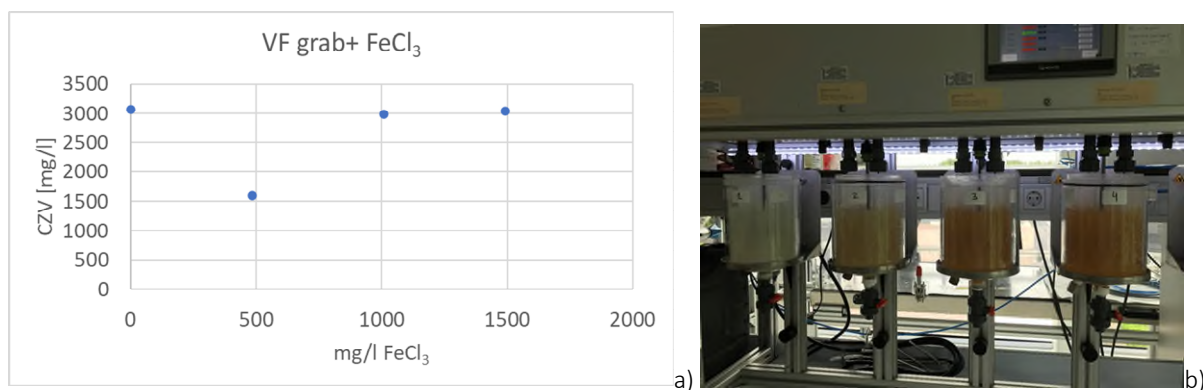
Figuur 5-7: Links: bekertestresultaten van de toevoeging van ijzersulfaat aan ME-grab. Rechts: bekers na afloop van het experiment.

Voor het monster VF-grab werden ijzersulfaat en ijzerchloride toegevoegd als coagulanten. De resultaten van de toevoeging van ijzersulfaat aan het VF-monster zijn weergegeven in Figuur 5-8. Uit de grafiek kan worden opgemaakt dat de optimale concentratie ijzersulfaat tussen 250 en 750 mg/L is, wat ook zichtbaar is op de foto van de experimenten. De verkregen optimale concentratie is hoger dan de in de literatuur vermelde concentraties maar kan door aanvullende experimenten nauwkeuriger worden vastgesteld. De kwaliteit van zuivelrestwater is zeer variabel, afhankelijk van de grondstof, het eindproduct en het productieproces. In onze experimenten werd bij de 495 mg/L concentratie een verwijdering van 61% van de CZV bereikt. Dit laatste resultaat is niet ongebruikelijk: een chemisch versterkte primaire behandeling kan tot maximaal 96% van de CZV verwijderen (Shewa & Dagnew, 2020). Wanneer de primaire behandeling wordt gevolgd door een biologische behandeling, heeft een maximale verwijdering van CZV niet de voorkeur, omdat het substraat voor biologische behandeling in een te vroeg stadium wordt verwijderd. Daarnaast bevat de deelstroom VF ook vet, wat bij verwijdering door coagulatie leidt tot een hogere CZV-verwijdering dan bij de stroom ME-put.



Figuur 5-8: Links: resultaten van bekertesten met de toevoeging van ijzersulfaat aan VF-grab. Rechts: bekers na afloop van het experiment.

De resultaten van de toevoeging van ijzerchloride zijn weergegeven in Figuur 5-9. Praktisch gezien was toevoeging van ijzerchloride de enige bekertest waarbij pH-correctie werd uitgevoerd. De optimale concentratie die werd verkregen is lager dan 1000 mg/L voor de toevoeging van ijzerchloride aan het monster VF-grab, volgens onze experimenten rond 485 mg/L, zoals weergegeven in de grafiek. De verkregen resultaten liggen dicht bij de in de literatuur gevonden optimale concentratie van 450 mg/L (Tabel 5-4). Bij de 485 mg/L concentratie bedroeg de CZV-verwijdering 52%.



Figuur 5-9: Links: bekertestresultaten van de toevoeging van ijzerchloride aan VF-grab. Rechts: bekers tijdens het uitvoeren van het experiment.

Over het algemeen laten de coagulatie-experimenten zien dat bij toepassing van optimale concentraties de CZV-belasting kan worden gereduceerd van 43% tot 61%, afhankelijk van de restwaterstroom en het toegepaste coagulatiemiddel. De hoogste CZV-verwijderingspercentages worden verkregen voor de deelstroom VF. Deze deelstroom heeft vooraf ook een hogere CZV-belasting. De CZV-waarden na coagulatie geven aan dat verdere behandeling nodig is om een secundaire effluentkwaliteit te verkrijgen.

6 Risico's waterhergebruik zuivelindustrie

Wanneer water wordt hergebruikt, kunnen er risico's ontstaan voor mens, dier, gewas en milieu. De hoogte van het risico is sterk afhankelijk van de aanwezigheid van een stof (concentratie), de blootstellingsduur aan de stof en het gevolg van de blootstelling. Welke betrokkenen risico lopen, hangt sterk af van de toepassing van het hergebruikte water. In dit hoofdstuk worden op hoofdlijnen de chemische en microbiologische risico's in beeld gebracht die kunnen ontstaan bij hergebruik van behandeld restwater voor landbouwdoeleinden (paragraaf 6.1) en bij intern hergebruik (paragraaf 6.2). Dit hoofdstuk is een eerste verkenning van de risico's voor water uit de zuivelindustrie en stipt een aantal aspecten aan. Het is nadrukkelijk geen uitputtend overzicht van alle blootstellingsroutes en risico's. Indien bepaalde hergebruikscenario's kansrijk lijken, dient een meer gedetailleerde risicobeoordeling uitgevoerd te worden.

6.1 Risico's waterhergebruik in de landbouw

Bij hergebruik van restwater in de landbouw zijn er verschillende betrokkenen die risico kunnen lopen. Het gaat bijvoorbeeld om (medewerkers van) agrariërs tijdens irrigatieactiviteiten, vee en wilde dieren die op de akker of het grasland in aanraking komen met irrigatiewater, of consumenten die producten consumeren die geteeld zijn op het land dat met hergebruikt restwater geïrrigeerd is. Daarnaast is er een risico voor het milieu wanneer geïrrigeerd restwater infiltreert naar de ondergrond of afstroomt naar het oppervlaktewater.

6.1.1 Chemische risico's

Chemische risico's kunnen ontstaan op het melkveebedrijf waar de melk wordt geproduceerd en in de zuivelfabriek waar de melk wordt verwerkt. Op het melkveebedrijf kunnen koeien via voer (onder andere hooi) of via weidegang blootgesteld worden aan chemische stoffen, bijvoorbeeld planttoxines, aflatoxines en milieucontaminanten. Chemische stoffen en residuen van diergeneesmiddelen kunnen via het dier in de melk terechtkomen. Hoeveel dat is, is afhankelijk van de omzettingen en uitscheidingsroutes (zoals urine, uitwerpselen of melk) van de chemische stof in het dier en de snelheden waarmee dat gebeurt. Dit verschilt per stof en diersoort. Het risico van chemische stoffen aanwezig in zuivel en zuivelproducten die vanuit voer (diervoeder en/of grazen in weiland) zijn opgenomen, wordt als gering beoordeeld. Voor sommige stoffen geldt dat ze niet of nauwelijks vanuit de koe in de melk terechtkomen (planttoxines) of onder de wettelijke norm voor melk blijven (aflatoxines) (BuRO, 2017). Water dat in contact is geweest met (resten van) melk kan deze stoffen bevatten, maar de concentraties worden zeer laag ingeschat. De kans dat resten van antibiotica in de fabriek terechtkomen is zeer klein als gevolg van zorgvuldig beleid hieromtrent. Iedere tank melk die wordt aangeleverd wordt direct bij aankomst namelijk gecontroleerd op de aanwezigheid van antibiotica. Wanneer dat wordt aangetroffen in de melk, wordt de melk teruggestuurd naar de melkveehouder, die het dan moet afvoeren. De NVWA heeft een streng controlesysteem waaruit blijkt dat de blootstelling aan antibiotica via melk nihil is (NZO, 2020). Het water wat in contact komt met de melk, zal hiermee dus ook (vrijwel) niet verontreinigd kunnen raken.

In de fabriek zelf kan water mogelijk wel verontreinigd raken met chemische stoffen. Dit zullen vooral waterstromen zijn die gebruikt worden voor schoonmaakwerkzaamheden zoals het CIP-water (*cleaning in place*) van membranen. Het water bevat dan de producten die gebruikt worden bij desinfectie, en mogelijk de bijproducten die ontstaan na reactie van water met desinfectieproducten. De meeste waterstromen die in het restwater zitten, zullen deze desinfectiebijproducten bevatten. Dit zijn, afhankelijk van het gebruikte desinfectiemiddel, gehalogeneerde koolwaterstofverbindingen zoals trichloormethaan, of gehalogeneerde azijnzuren. Uit de meetgegevens van waterkwaliteit van de reststromen in Veghel en Borculo kon niet worden afgeleid of dit in deze fabrieken het geval is. Wel is uit de meetgegevens gebleken dat een aantal restwaterstromen

zouten en nutriënten bevatten. Het kan voor toepassing in de landbouw een risico zijn wanneer de concentraties van deze nutriënten boven de tolerantie van een gewas liggen.

6.1.2 Microbiologische risico's

In rauwe melk kunnen verschillende micro-organismen aanwezig zijn die ziekteverwekkend zijn voor mens en dier. Het is denkbaar dat restwater, dat in contact komt met rauwe melk, hier ook mee kan worden besmet. Een overzicht van pathogenen die kunnen voorkomen in rauwe melk is opgenomen in Tabel 6-1.

Tabel 6-1: Overzicht van pathogenen die kunnen voorkomen in rauwe melk (BuRO, 2017).

Pathogeen	Risico voor mens	Risico voor koe
Salmonella	+	+
S. aureus	+	+
Campylobacter	+	Alleen jongvee wordt soms ziek
STEC = Shigatoxineproducerende E. coli-stammen	+	Uierontsteking door de bacterie; ziekte door toxines
B. cereus (=sporenvormer)	+	+
Listeria monocytogenes	+	Vooraf schapen zijn erg gevoelig, gevoeliger dan geiten en runderen

In de fabriek wordt de melk verhit. Alle hierboven genoemde micro-organismen worden geïnactiveerd door deze verhittingsstap en zullen daardoor geen gevaar vormen bij eventueel hergebruik van het restwater dat met melkproducten in aanraking is geweest. B. cereus vormt echter ook sporen. Door het verhitten worden deze sporen niet geïnactiveerd en zijn daarmee in principe het enige microbiologische risico in relatie tot melkproductie.

In de fabriek kunnen ook nog aanvullende microbiologische risico's ontstaan. Een van de risico's is de groei van Legionella pneumophila die kan worden gestimuleerd door de hoge temperatuur van het restwater. Bij hergebruik van dit restwater zou het risico op legionellabesmetting ook kunnen spelen op de locatie van hergebruik. Zuivelfabrieken hebben echter een legionella-beheersplan, zodat ook deze risico's erg laag worden ingeschat. Of hergebruik van restwater ook expliciet in deze beheersplannen is opgenomen, moet nader worden onderzocht.

Industriële waterzuiveringen kunnen een bron vormen voor legionellabesmettingen. Legionella pneumophila is het type legionella dat het meest ziekmakend is en groeit bovendien goed in warmer water (>30 °C). Veel van de waterstromen in zuivelfabrieken hebben een hoge temperatuur en de zuivering zal dan ook bij redelijk hoge temperatuur verlopen. De kans op legionellagroei in de zuivering is daarmee redelijk groot. Op locatie zullen daarom maatregelen genomen moeten worden om dit te bestrijden. Vervolgens is dan nog de vraag of er besmetting kan plaatsvinden door hergebruik van (besmet) water. De meeste besmettingen van legionella vinden plaats via aerosolen. De manier van hergebruik is daardoor van grote mate van belang. Subirrigatie of druppelirrigatie zal de kans minimaliseren, terwijl irrigatie via sproeiers op het land tot veel meer aerosolen zal leiden en dus een groter risico op verspreiding van legionella inhoudt (Cirkel et al., 2017).

6.1.3 Overzicht geanalyseerde risico's hergebruik in de landbouw

In Tabel 6-2 zijn de hierboven benoemde risico's samengevat en is daarnaast gekeken naar andere blootstellingsroutes dan via irrigatie met restwater uit de zuivel, bijvoorbeeld via beregening van grasland met oppervlaktewater, en naar (wettelijke) normen. Daarmee worden de risico's in perspectief geplaatst.

Tabel 6-2: Risicobeoordeling op hoofdlijnen van waterhergebruik in de landbouw.

Risico	Restwater	Andere bronnen	Norm	Opmerking
Pathogenen uit melk	Weinig aanwezig	Dierlijke mest → hoog aantal Wilde dieren	e.Coli <10 – 10,000 kve/100ml afhankelijk van gebruik	Restwater niet relevant
Pathogenen uit productie	Afhankelijk van behandeling	-	Legionella: <1000 kve/l	Protocollen tegen legionella
Desinfectie-bijproducten	Kunnen in de restwaterstromen zitten. In Borculo is dat zeker het geval.	Eventueel in RWZI-effluent		Restwater belangrijkste bron
N	Borculo: N-tot=99 mg/l	Dierlijke en kunstmest	170 kg/ha/jr	Bij gift van 100 mm/j: Restwater kan bijdrage leveren van ca 100 kg/ha/j
P	Borculo: P-tot=15-39 mg/L	Dierlijke en kunstmest	50 (bouwland) – 80 (grasland) kg/ha	Bij gift van 100 mm/j: Restwater kan bijdrage leveren van 15-39 kg/ha/j
K		Dierlijke en kunstmest	40-200 kg/ha	Restwater kan bijdrage leveren
Ionen zoals Cl	Borculo: 2 g/L	Grondwater		Belangrijk voor plantgezondheid

In deze sectie zijn een aantal risico's voor hergebruik van water uit de zuivelindustrie benoemd. In de afgelopen jaren is er over hergebruik van gezuiverd restwater (onder andere RWZI-effluent) en effecten op de omgeving kennis beschikbaar gekomen. Ondanks dat het niet het doel van dit hoofdstuk is om volledig te zijn, geven de volgende studies uit o.a. WiCE en NWO-RUST enige aanvullende verdieping: Cirkel et al. (2017); Dingemans et al. (2020); Narain-Ford et al. (2022); Tang et al. (2023).

6.2 Risico's intern hergebruik

Bij intern hergebruik van het restwater gelden andere risico's dan bij het hergebruik van restwater uit de zuivelfabriek in de landbouw (Buabeng-Baidoo et al., 2017; FAO & WHO, 2023). Om de risico's te minimaliseren tijdens intern hergebruik, kan worden gekozen om restwater alleen in te zetten voor processen die niet direct met

het product in contact komen (laagwaardige toepassing). Dit betekent wel dat een scenario met maximaal intern hergebruik zoals scenario 3 (paragraaf 4.3) niet volledig mogelijk is.

Toepassingen van hergebruik van water kunnen grofweg worden gecategoriseerd als niet-voor-voedselcontact of voor-voedsel-contact. Of een bron geschikt is voor hergebruik, wordt bepaald door de toepassing van het hergebruikte water. Dit bepaalt ook of er nog een behandelstap zoals zuivering of desinfectie nodig is. Elk scenario voor waterhergebruik (dat wil zeggen de combinatie van herbruikbare waterbron en toepassing, inclusief specificaties zoals terugwinning, zuivering, opslag en distributie) dat door een zuivelbedrijf wordt overwogen, moet zodanig worden geëvalueerd dat er geen onacceptabele gevolgen voor de veiligheid van de consument zijn in verband met de voedingsproducten die worden geproduceerd of verwerkt. Hieronder worden de chemische en microbiologische risico van intern hergebruik in grote lijnen in beeld gebracht.

6.2.1 Chemische risico's

Voor ieder proces moet bepaald worden aan welke kwaliteitseisen het water moet voldoen. Door middel van waterbehandeling moet worden getracht deze waterkwaliteitseisen te behalen. Een risico dat kan ontstaan bij het hergebruiken van water is het ophopen van stoffen die niet voldoende verwijderd worden. Een ander risico is het ontstaan van (desinfectie-)bijproducten waardoor een waterstroom niet meer geschikt is voor hetzelfde gebruik, of voor hergebruik voor een ander doel.

Enkele waterstromen kunnen corrosief zijn, bijvoorbeeld door een lage pH of aanwezigheid van chlorides. Bij waterhergebruik moet er worden gekeken of de materialen die in het distributiesysteem zijn gebruikt, bestand zijn tegen mogelijk corrosief water. Door de aanwezigheid van kalk en magnesium kan zoutafzetting (*scaling*) ontstaan. Dit kan onder andere leiden tot verstopping van leidingen, verminderde warmteoverdracht of andere problemen die de processen hinderen. Het probleem van zoutafzetting kan vooral optreden wanneer water wordt hergebruikt in een warmer proces waardoor de oplosbaarheid van calciumcarbonaat vermindert en zich afzet.

6.2.2 Microbiologische risico's

Bij het beoordelen van potentiële microbiologische gevaren en het vaststellen van passende maatregelen op de productie en het gebruik van teruggewonnen water, moet rekening worden gehouden met:

- Microbiologische gevaren die aanwezig zijn in de mogelijke bronnen van restwater en de daarmee samenhangende gevaren;
- De situatie in de fabriek (bijvoorbeeld fabrieksomgeving, opslag en distributie) waardoor her te gebruiken water verontreinigd zou kunnen raken nadat het is geproduceerd;
- Voedingsstoffen die mogelijk aanwezig zijn in het teruggewonnen water. Hierdoor kan groei ontstaan van organismen die voor bederf van het product zorgen of voor nagroei zorgen van organismen die een gevaar vormen voor de consument;
- Mogelijke biofilmvorming door het circuleren van water. Dit kan ook microbieel geïnduceerde corrosie veroorzaken en daarmee de integriteit van de gebruikte materialen aantasten.

Om de risico's te verkleinen moet geïnventariseerd worden of specifieke maatregelen moeten worden genomen die de houdbaarheid van het teruggewonnen water vergroten. Daarnaast kan er ook gekeken worden naar de noodzaak van een back-up van de watervoorziening (bijvoorbeeld drinkwater) indien de installatie voor waterterugwinning niet afdoende werkt. In FAO & WHO (2023) is een overzicht gegeven van mogelijke waterbronnen en de mogelijke toepassingen. Hierbij is vooral gekeken vanuit het oogpunt van microbiologische risico's. Er wordt onderscheid gemaakt tussen water dat uit de bron van het product komt, dus uit de melk, en water wat bij een productieproces vrij komt. Water dat uit een gesloten systeem komt, kan waarschijnlijk niet toegepast worden als voedselingrediënt. Water uit een voedselbron of hergebruikt proceswater zal waarschijnlijk eerst een behandeling moeten ondergaan voordat het ingezet kan worden als voedselingrediënt of als water dat in contact komt met voedsel (al dan niet onbedoeld). Recirculerend water, water uit een voedselbron of hergebruikt

proceswater kan meestal zonder behandeling ingezet worden voor doelen waarbij het niet in contact komt met het voedselproduct.

7 Juridische aspecten en waterkwaliteitseisen

Restwater kan op verschillende manieren, via verschillende routes, worden hergebruikt. Een belangrijk onderscheid dient te worden gemaakt tussen direct en indirect hergebruik. Bij direct hergebruik wordt restwater direct van de industriële bron naar de agrarische gebruiker verplaatst, bijvoorbeeld via leidingwerk. Bij (bewust) indirect hergebruik wordt restwater teruggebracht in het watersysteem (oppervlaktewater of grondwater), waaruit het vervolgens desgewenst kan worden onttrokken door agrariërs. Op deze manier worden de effecten van onttrekkingen door watergebruikers zoals de agrarische sector uit ditzelfde systeem relatief gezien mogelijk verminderd. De verschillende manieren en routes van hergebruik hebben verschillende juridische eisen en voorschriften, waarvan in dit hoofdstuk een samenvatting wordt gegeven. Voor het overzicht in dit hoofdstuk is geput uit eerdere studies over waterhergebruik, te weten het document 'Juridisch kader aanvulling watersysteem met industrieel restwater' (Krajenbrink et al., 2022) en de studie naar effluenthergebruik bij Burghsluis (Krajenbrink et al., 2023). Met name eerstgenoemde studie bevat meer gedetailleerde informatie over toetsingskaders voor de verschillende toepassingen van industrieel restwater, die waarschijnlijk ook op restwater van FrieslandCampina van toepassing zullen zijn. Tot slot is ook een verkennende vergelijking van waterkwaliteitseisen en de huidige waterkwaliteit van het effluent in geval van indirect hergebruik toegevoegd.

7.1 Direct hergebruik voor landbouwdoeleinden

Er is momenteel nog geen beleidskader dat het direct hergebruik van industrieel restwater voor bijvoorbeeld agrarische doeleinden omvat. Wel is recentelijk (mei 2020) in het Europees Parlement een verordening vastgesteld inzake de minimumvereisten van hergebruik van stedelijk afvalwater voor landbouwdoeleinden. Zo stelt de verordening onder andere kwaliteitseisen voor het hergebruik van effluent. Deze eisen zijn afhankelijk van de wijze van toediening (bijvoorbeeld beregenen, druppelirrigatie) en de gewascategorie (bijvoorbeeld voedselgewassen die al dan niet direct met irrigatiewater in aanraking komen). De verordening is officieel in werking getreden op 26 juni 2023 en bevat drie kernpunten die met elkaar samenhangen: 1) minimeisen ten aanzien van de kwaliteit van het effluent; 2) vergunning; en 3) risicobeheerplan. In de meeste gevallen lijkt een desinfectiestap, bijvoorbeeld een combinatie van UV en ozon, nodig om de minimumvereisten uit de verordening te halen. Recentelijk heeft de Nederlandse overheid een uitvoeringsbesluit⁴ opgesteld die uitvoering van de verordening regelt tot het moment dat de Omgevingswet ingaat. Inmiddels is de Omgevingswet officieel van kracht (1 januari 2024), maar de eisen voor vergunningverlening zijn op dit moment nog niet geheel duidelijk en zullen in een vervolgstudie moeten worden uitgezocht. Wel zal het nodig zijn om een risicobeheerplan op te stellen door de exploitant van het water en/of de eindgebruikers. Pilots zijn waarschijnlijk onder voorwaarden vrijgesteld van vergunning. Een samenvatting van het juridisch kader en de vereisten onder de nieuwe Omgevingswet (1 januari 2024) is opgenomen in Tabel 7-1 (optie 4). Het is belangrijk om te beseffen dat de EU-verordening zich richt op huishoudelijk afvalwater. Direct hergebruik van industrieel restwater is nog niet mogelijk, aangezien het restwater momenteel nog als afval wordt beschouwd. Het juridische kader voor stedelijk afvalwater kan mogelijk wel handvatten bieden voor hergebruik van industrieel restwater, maar dit moet nader worden onderzocht.

Een ander belangrijk aandachtspunt voor eventueel direct hergebruik en aanpassingen in het zuiveringssysteem is het feit dat RWZI's binnenkort te maken zullen krijgen met een update van de Europese Richtlijn stedelijk afvalwater. De update vereist een extra inspanning voor de verwijdering van nutriënten en van organische microverontreinigingen (OMV's) zoals medicijnresten en resten van persoonlijke verzorgingsproducten. Deze extra inspanning vereist op een groot aantal RWZI's waarschijnlijk een extra zuiveringsstap. Of deze extra vereisten voor RWZI's van invloed kunnen zijn op de eisen die RWZI's zullen stellen aan bijvoorbeeld industriële partijen die grote

⁴ <https://wetten.overheid.nl/BWBR0048283/2023-07-15>

hoeveelheden influent leveren, en of dit de potenties van direct hergebruik van industrieel restwater beïnvloedt, is op dit moment nog niet te overzien en is in de huidige studie niet onderzocht. Dit behoeft nader onderzoek indien direct hergebruik als optie wordt overwogen.

7.2 Indirect hergebruik (watersysteem)

Restwater kan ook indirect worden hergebruikt, door het (na aanvullende zuivering) terug te brengen in het watersysteem. Het restwater gaat dan niet direct naar de landbouw, maar de sector profiteert wel van een robuuster watersysteem waarin de impact van onttrekkingen mogelijk geringer is. In een eerdere studie zijn de juridische aspecten van aanvulling van het watersysteem met industrieel restwater verkend (Krajenbrink et al., 2022). Een samenvatting van het juridisch kader en de vereisten onder de nieuwe Omgevingswet (1 januari 2024) volgt hieronder en in Tabel 7-1 (opties 1 t/m 3).

Er zijn drie routes te onderscheiden voor (bewust) indirect hergebruik, met andere woorden de aanvulling van het watersysteem met industrieel restwater: 1) aanvullingen via het oppervlaktewater; 2) water in de bodem brengen (bodemplozing); 3) infiltratie in de bodem met oog op terugwinning. Route 1, het lozen van restwater op oppervlaktewater, is krachtens de Omgevingswet vergunningplichtig: er is een Omgevingsvergunning nodig voor een lozingsactiviteit op een oppervlaktewaterlichaam. Een dergelijke vergunning is ook van toepassing op het lozen van effluent door een RWZI op het lokale oppervlaktewatersysteem. Route 2 en 3 lijken oppervlakkig beschouwd veel op elkaar, maar er is een belangrijk juridisch verschil. Bij route 2, het in de bodem brengen van restwater zonder het terug te winnen (bodemplozing, geen infiltratie), is er strikt genomen geen sprake van bewust indirect hergebruik, aangezien water in de bodem wordt gebracht zonder het oog op terugwinning. Niettemin is het nuttig deze variant wel te beschrijven: indien water op een locatie in de bodem wordt gebracht om onttrekkingen op andere locaties te compenseren of mogelijk te maken, is in feite sprake van deze variant. Een bodemplozing wordt aangemerkt als een milieubelastende activiteit die in de kern verboden is, maar waarvoor een ontheffing kan worden aangevraagd. Route 3, het in de bodem brengen van water met het doel dit later terug te winnen, is juridisch gezien een infiltratie. Het juridisch kader rondom infiltratie is destijds ontwikkeld om de infiltratie van water ten behoeve van drinkwaterwinning in de duinen mogelijk te maken. Tegenwoordig wordt het ook gebruikt voor vergunningverlening van open bodemenergiesystemen. Voor deze route is krachtens de Omgevingswet een Omgevingsvergunning voor een wateronttrekkingsactiviteit nodig.

Uit Tabel 7-1 volgt verder dat voor de verschillende routes een ander bevoegd gezag geldt. Daarnaast is in de eerdere studie het toetsingskader voor vergunningverlening bij de verschillende routes. Met name wat betreft route 2, een route die met het oog op aanvulling van het regionale watersysteem kansrijk lijkt, ontbreekt vooralsnog een goed toetsingskader en heerst er onbekendheid en terughoudendheid bij de bevoegde gezagen. Aansluiten bij het toetsingskader van route 3 (infiltratie) lijkt logisch, maar dit moet nader worden onderzocht.

Tabel 7-1: Overzicht van de juridische eisen en voorschriften van indirect (opties 1-3; ontleend aan Krajenbrink et al. (2022)) en direct hergebruik (optie 4).

	1. Lozing op oppervlaktewater	2. Lozing in bodem	3. Infiltratie	4. Direct hergebruik
Algemeen	Aanvulling van het watersysteem via oppervlaktewaterlozing	Directe aanvulling van het grondwater door water in de bodem te brengen. Milieubelastende activiteit	Aanvulling van het grondwater middels infiltratie met oog op terugwinning. Infiltratie ≠ lozing in de bodem	Restwater wordt direct ingezet voor waterbehoefte in de landbouw. Vooralsnog alleen mogelijk voor stedelijk afvalwater.

Benodigde vergunning	Omgevingsvergunning voor lozingsactiviteit op een oppervlaktewater-lichaam	Omgevingsvergunning voor milieubelastende activiteit	Omgevingsvergunning: - wateronttrekkings-activiteit (omvang $\geq$ 150.000 m ³ /j) - op grond van waterschapsverordening (omvang < 150.000 m ³ /j)	Omgevingsvergunning voor milieubelastende activiteit; precieze invulling op moment van schrijven nog niet bekend
Bevoegd gezag	- Rijk (nationale wateren) - Waterschap (regionale wateren)	- Gemeente - Provincie (bij complexe bedrijven als bedoeld in afdeling 3.3 Bal)	- Provincie (omvang $\geq$ 150.000 m ³ /j) - Waterschap (omvang < 150.000 m ³ /j)	- Provincie, doorgaans gedelegeerd bij Omgevingsdienst
Relevante wetsartikelen	- hfst 2 t/m 5 Bal - art. 8.9 Bkl - art. 8.22 Bkl - art. 8.84 en 8.88 Bkl	- hfst 2 t/m 5 Bal - art. 8.9 Bkl - art. 8.22 Bkl	- art. 16.3 Bal - art. 16.4 Bal - art. 8.84 en 8.89 Bkl	(EU) 2020/741
Kwaliteitseisen	Geen verslechtering van ontvangende oppervlaktewater.	Infiltratiebesluit bodembescherming/Bkl? Drempelwaarden zoete grondwaterlichamen: aansluiten bij Bkmw (2009).	Infiltratiebesluit bodembescherming/Bkl. Drempelwaarden zoete grondwaterlichamen: aansluiten bij Bkmw (2009).	Vereisten voor E. coli, BZV, TSS, troebelingsgraad, Legionella, rondwormen

Om gevoel te krijgen bij de huidige kwaliteit, zonder aanvullende waterbehandeling, van het effluent van de fabrieken in Veghel en Borculo in vergelijking met eisen voor oppervlaktewater en infiltratie, zijn de kwaliteitsgegevens uit paragraaf 2.1 en 2.2 vergeleken met kwaliteitseisen voor KRW-waterlichamen en de infiltratie-eis vanuit het Bkl (voortgekomen uit Infiltratiebesluit bodembescherming). De vergelijking is opgenomen in Tabel 7-2. Uit de vergelijking volgt dat de concentraties van de meeste macroparameters en nutriënten te hoog zijn om het effluent zonder aanvullende behandeling indirect te kunnen hergebruiken. Met name de concentratie nutriënten zijn vele malen te hoog. Ook valt op dat voor een aantal stoffen op voorhand geen eisen bekend zijn. Dit zal in een vergunningtraject nader moeten worden uitgezocht en onderbouwd. De vergelijking is nadrukkelijk op hoofdlijnen uitgevoerd om gevoel te krijgen bij het te overbruggen doelgat voor waterkwaliteit. Indien een van de hergebruikscenario's als kansrijk wordt beoordeeld, zal dit in een vervolgstadium nader moeten worden uitgezocht.

Tabel 7-2: Concentraties van verschillende stoffen in het effluent, KRW-kwaliteitseisen voor oppervlaktewateren, en eisen voor infiltratie. De rood gemarkeerde concentratie geeft aan dat het restwater momenteel niet aan een of meerdere eisen voldoet. De KRW-eisen horen bij de kwalificatie 'goed' voor Sterk veranderde en Kunstmatige wateren.

Stof/stofgroep	Eenheid	Veghel	Borculo - Nereda-effluent* / - influent**	Range KRW-eis ⁽¹⁾ oppervlaktewater	Infiltratie-eis (Bkl bijlage XIX)
pH	-	7,6		5,5-8,5	
BZV5	mg-O ₂ /L		571**	1-2 ⁽²⁾	
CZV	mg-O ₂ /L	1456	85,5* - 2089**	20-25 ⁽²⁾	
Chloride	mg/L	413		60-150	200
Ammonium	mg-N/L		30,3**		2,5

Nitraat	mg-N/L	1264	0,062**		5,6
Nitriet	mg-N/L	12	0,086**		
N-Kjeldahl	mg-N/L	61	76-106**		
Totaal-stikstof (N-tot)	mg-N/L	1337	76-106**	2,3-4	
Sulfaat	mg/L	226		50-160	
Totaal-fosfor	mg-P/L	53	5,6* - 20,9**	0,11-0,25	
Totaal fosfaat	mg-P/L		0,9* - 10**		0,4
Zwevende stof (TSS)	mg/L		33,2* - 1035**		0,5

(1) Ranges vastgesteld op basis van vereisten van verschillende oppervlaktewateren in omgeving Veghel en Borculo/Zutphen; deels ontleend aan Lousada-Ferreira et al. (2023)

(2) Op basis van metingen in Lousada-Ferreira et al. (2023)

7.3 Overige juridische aspecten

7.3.1 Hergebruik als meststof

In de scenario's 2, 4 en 5 (zie Hoofdstuk 4) wordt kort de mogelijkheid beschreven dat het her te gebruiken maar mogelijk nutriëntrijke restwater ook als meststof kan dienen bij toepassing in de landbouw. Het restwater zouden dan moeten worden aangemerkt als meststof. Daarvoor zou moet worden uitgezocht of het restwater voldoet aan de Nederlandse wetgeving voor meststoffen. In het Uitvoeringsbesluit meststoffenwet⁵ (artikel 5) wordt beschreven dat meststoffen in het algemeen niet geheel of gedeeltelijk uit afvalstoffen of uit reststoffen mogen worden geproduceerd en er ook niet mee worden gemengd. Aangezien de restwaterstromen uit zuivelfabriek in feite afvalwater is, kan het dus niet direct als meststof worden aangemerkt. Onder specifieke voorwaarden kan het echter wel als meststof worden aangemerkt. Voor zuiveringsslib, compost en herwonnen fosfaten wordt namelijk een uitzondering gemaakt. Tevens wordt gesteld dat afvalstoffen bij ministeriële regeling kunnen worden aangewezen om te mogen worden verhandeld als meststof of bij de productie van meststoffen te mogen worden gebruikt. De Uitvoeringsregeling bevat verder een lijst met stoffen die als meststof kunnen worden gebruikt, zoals specifieke reststoffen, of (rest)stoffen die gebruikt kunnen worden bij de productie van meststoffen. Hier kunnen ook nieuwe stoffen aan worden toegevoegd die voldoen aan de eisen die hier gesteld zijn. De verwachting is echter dat een dergelijke aanvraag een lang traject zal zijn.

Een andere route is het aanvragen van een einde-afvalstatus. Dit is niet noodzakelijk voor gebruik als meststof, maar geeft wel meer mogelijkheden voor hergebruik. Bij een dergelijke aanvraag komt er een rechtsoordeel ten behoeve van een specifieke producent, op een specifieke locatie, met een specifiek proces en voor een specifieke toepassing. Een einde-afvalstatus moet worden aangevraagd worden bij de Omgevingsdienst.

In het huidige project is het gebruik van restwater als meststof enkel op hoofdlijnen onderzocht. Indien een van de scenario's inclusief hergebruik als meststof kansrijk wordt bevonden, moet dit in een vervolgfase in meer detail worden uitgezocht. Het inwinnen van juridisch advies wordt hierbij aanbevolen.

⁵ <https://wetten.overheid.nl/BWBR0019031/2024-01-01>

7.3.2 Intern hergebruik

In de scenario's 3 en 6 (zie Hoofdstuk 4) wordt de mogelijkheid van intern hergebruik beschreven. In de fabriek in Borculo wordt een deel van het restwater al intern hergebruikt en een uitbreiding hiervan wordt overwogen. Zeker aangezien FrieslandCampina valt onder de voedingsmiddelenindustrie, zijn hier verschillende juridische en veiligheidsaspecten aan verbonden. De Europese verordening inzake levensmiddelenhygiëne⁶ bevat richtlijnen over het gebruik van water bij de productie van levensmiddelen. Hierin wordt onder andere aangegeven dat water dat in contact komt met levensmiddelen, drinkwater moet zijn of althans moet voldoen aan de eisen van drinkwaterkwaliteit en geen gevaar mag bevatten voor de gezondheid. Het gebruik van hergebruikt water is toegestaan, mits aan deze eisen wordt voldaan. De juridische aspecten van intern hergebruik vallen buiten de reikwijdte van dit onderzoek. Indien een van de scenario's met intern hergebruik wordt overwogen, wordt aanbevolen deze aspecten in een vervolgtraject nader uit te werken.

⁶ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/ALL/?uri=CELEX%3A32004R0852>

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Algemeen

Het doel van dit project was om een algemeen kader voor waterhergebruik van restwater uit de zuivelindustrie te schetsen, waarbij de kansen en aandachtspunten voor hergebruik van industrieel restwater in beeld zijn gebracht. De studie is uitgevoerd aan de hand van twee casestudies, de productielocaties Veghel en Borculo van FrieslandCampina. Onder andere is onderzocht welke restwaterstromen die vrijkomen in de zuivelsector, beschikbaar kunnen zijn voor hergebruik, op basis van waterkwantiteit en -kwaliteit. Op basis hiervan zijn enkele scenario's met hergebruik voor verschillende toepassingen opgesteld. Vervolgens zijn de voorwaarden en aandachtspunten bij deze scenario's op hoofdlijnen geschetst als het gaat om technieken voor waterbehandeling, juridisch kader en waterkwaliteit. Daarnaast zijn enkele laboratoriumexperimenten uitgevoerd met monsters uit restwater om de benodigde waterbehandeling te onderzoeken.

De studie is nadrukkelijk een verkennende studie, waarbij de randvoorwaarden en aandachtspunten niet uitputtend maar op hoofdlijnen zijn onderzocht. De uitkomsten van de verkenningen geven handvatten aan eventueel vervolgonderzoek indien hergebruik van restwaterstromen kansrijk blijken. Dit hoofdstuk vat de onderzochte scenario's van hergebruik samen en geeft een overzicht van de belangrijkste conclusies en aanbevelingen uit het onderzoek.

8.2 Samenvatting scenario's

In Tabel 8-1 worden allereerst de scenario's, zoals beschreven in hoofdstuk 4, op hoofdlijnen samengevat. Ze zijn daarbij zoveel mogelijk kwantitatief gemaakt voor de locatie Veghel, zowel qua volume als kosten. Daarnaast is informatie opgenomen over de mogelijke zuiveringstechnieken zoals beschreven in hoofdstuk 5. Aangezien scenario 6 (Deelstroombehandeling en intern hergebruik) sterk afhankelijk is van de gekozen deelstroom, is dit scenario niet opgenomen in de tabel.

Tabel 8-1: Vergelijking op hoofdlijnen van de scenario's voor locatie Veghel op de aspecten kosten, waterhoeveelheden en benodigde zuiveringstechnologie.

Scenario	WATERVERBRUIK (m³/uur)	Restwaterstroom (m³/uur)	Waterhergebruik omgeving (m³/uur)	Globale kosten zuivelfabriek (€/jaar)	Benodigde zuivering	Risicobeoordeling	Aandachtspunten waterkwaliteit en wetgeving
1: Voortzetting huidige situatie	217	353	0	Drinkwater: 540.000 Grondwater: onbekend Zuivering: 5,8 miljoen (heffing)	-	-	Beperkingen capaciteit ontvangen RWZI?
2: Direct hergebruik van RO-permeaat	217	273 -23%	80	Drinkwater: 540.000 Grondwater: onbekend Zuivering: ca 5,8 miljoen (heffing); kosten behandeling onduidelijk	pH-correctie, remineraliseren	Bijproducten desinfectie Legionella (bij berekening)	Ontbrekend juridisch kader (landbouw). Zoutgehalte
3: Maximaal intern hergebruik	0 -100%	138 -61%	0	Drinkwater: 0 Grondwater: 0 Zuivering: daling van zuiveringsheffing (niet gekwantificeerd); kosten behandeling onduidelijk	Ureum verwijderen uit RO-permeaat Coagulatie – aerobe behandeling – UF/RO - desinfectie	Bijproducten desinfectie Corrosie door restwater Biofilmvorming Nagroeï	Onbekend
4: Direct hergebruik van nutriëntenrijk water	217	Apr-sep: 0 -100% Okt-mrt: 353	Apr-sep: 353 Okt-mrt: 0	Drinkwater: 540.000 Grondwater: onbekend Zuivering: 2,9 miljoen (heffing) behandeling: ca 720.000	Anaerobe zuivering	Bijproducten desinfectie Legionella (bij berekening)	Ontbrekend juridisch kader (landbouw). Nutriënten en zouten Omgevingsvergunning Geen verslechtering kwaliteit oppervlaktewater

5: Indirect hergebruik van volledige restwaterstroom	217	0 -100%	353	Drinkwater: 540.000 Grondwater: onbekend Zuivering: heffing: 0; behandeling: onbekend	IX op demi (+ ME-put) Coagulatie – aerobe behandeling	Bijproducten desinfectie Legionella (bij berekening)	Omgevingsvergunning Geen verslechtering kwaliteit oppervlaktewater
---	-----	------------	-----	---	---	---	--

8.3 Conclusies

Hieronder worden de belangrijkste bevindingen uit de studie puntsgewijs behandeld.

- Op de locatie Veghel wordt jaarlijks ongeveer 3,6 miljoen m³ restwater geproduceerd (377 m³/uur). Enkele deelstromen hebben een debiet van meer dan 50 m³/uur. Momenteel worden alle deelstromen gecombineerd en gezamenlijk afgevoerd.
- De deelstromen op de locatie Veghel verschillen aanzienlijk in kwaliteit. De deelstroom RO-permeaat heeft een relatief lage vuilvracht, terwijl sommige kleine deelstromen een hoge vracht aan bepaalde stoffen hebben. Het restwater heeft over het algemeen een hoge CZV en hoge concentraties aan nutriënten zoals nitraat.
- Uit experimenten met CZV-verwijdering van verschillende deelstromen is gebleken dat het restwater uit de Voorfabriek relatief veel verdunde melk bevatten, terwijl de reststroom Melkeiwitput (later in het proces) een groter aandeel van (resten van) reinigingsproducten bevat (o.a. chloride en sulfaat).
- Op de locatie Borculo wordt jaargewijs ongeveer 2,25 miljoen m³ restwater geproduceerd. Het restwater wordt grotendeels afgevoerd naar een Nereda-installatie in Zutphen. Er zijn geen gegevens (kwantiteit of kwaliteit) beschikbaar van de afzonderlijke deelstromen. Er zijn gegevens over de waterkwaliteit van het influent van de Nereda-installatie beschikbaar, maar die geven waarschijnlijk geen goed beeld van de concentratie van de reststromen die de fabriek verlaten.
- Zowel de fabriek in Veghel als de fabriek in Borculo ligt op de hoge zandgronden. De omgeving van de fabrieken is gevoelig voor droogte en er is een irrigatievraag in de landbouw in de zomer.
- Zowel in Veghel als in Borculo is de totale restwaterstroom in de zomer in theorie (ruim) voldoende om in een droge zomer te voldoen aan de huidige landbouwwatervraag binnen 5 km van de fabriek. In Borculo kan het water waarschijnlijk nuttiger worden ingezet in de nabije omgeving dan in de omgeving van Zutphen.
- Maximaal intern hergebruik heeft de grootste invloed op het watersysteem in de omgeving. Doordat geen drinkwater of grondwater hoeft te worden geleverd en gebruikt, wordt de druk op het regionale grondwater grondwatersysteem verlicht. Afname van de effluentstroom kan het oppervlaktewatersysteem beïnvloeden, met name in droge situaties, maar dit is echter sterk afhankelijk van de lokale situatie.
- Op de locatie Veghel lijkt RO-permeaat de meest kansrijke deelstroom voor hergebruik. De deelstroom heeft een relatief groot volume, een relatief lage vuilvracht en een lage temperatuur. Het biologische zuiveringsproces op de RWZI is gebaat bij een relatief hoge temperatuur van het restwater, zodat afkoppeling van RO-permeaat gunstig zou zijn. De belangrijkste benodigde behandeling is de verwijdering van ureum, waarvoor adsorptie en elektrochemische oxidatie het meest geschikt lijken. Ureum kan mogelijk worden hergebruikt als meststof.
- De meeste andere deelstromen hebben een dermate hoge vuillast dat een uitgebreide behandeling nodig zal zijn voordat de volledige reststroom kan worden hergebruikt. Dit geldt met name voor hoogwaardige toepassingen zoals intern hergebruik. Volledige behandeling zal waarschijnlijk bestaan uit een primaire, secundaire en tertiaire stap, met daarin een combinatie van coagulatie-flocculatie, actiefslibbehandeling, ultrafiltratie, RO, UV-behandeling en desinfectie. Gezien de kosten hiervan zal volledige behandeling van deelstromen niet zinvol zijn (te duur en complex).
- Voor minder hoogwaardige toepassingen van het restwater, bijvoorbeeld hergebruik als landbouwwater, is een anaerobe zuivering gecombineerd met terugwinning van nutriënten mogelijk voldoende. Teruggewonnen nutriënten kunnen mogelijk dienen als meststof. De zoutconcentratie is daarbij een aandachtspunt.
- Coagulatie-experimenten hebben uitgewezen dat de CZV-belasting kan worden gereduceerd van 43% tot 61%, afhankelijk van de restwaterstroom en het type en de concentratie van het toegepaste coagulatiemiddel. De CZV-belasting is na coagulatie evenwel nog steeds te hoog, dus verdere behandeling is nodig om restwater van voldoende kwaliteit te produceren.
- Hergebruik van restwater voor landbouwdoeleinden is alleen nuttig in het groeiseizoen (zomer). Het rendement van dergelijke scenario's wordt zodoende sterk bepaald door de wijze waarop het restwater in de winter wordt verwerkt (alsnog afvoeren naar de RWZI of terugbrengen in het lokale watersysteem).

- Het risico van antibiotica op hergebruikstoepassingen wordt nihil geacht gezien het strenge veiligheidsprotocol dat wordt gehanteerd voor de aanvoer van ruwe melk naar de fabriek. Restproducten van schoonmaak en desinfectie die in de fabriek in het restwater terechtkomen, zijn mogelijk wel een risico voor hergebruik in de landbouw. Daarnaast is legionella, dat mogelijk kan ontstaan binnen industriële zuiveringsprocessen, een aandachtspunt bij bijvoorbeeld beregning.
- De nieuwe EU-verordening voor hergebruik van afvalwater voor landbouwdoeleinden is specifiek gericht op huishoudelijk afvalwater. Industriële zuiveringen vallen hier niet onder, dus hergebruik is niet zonder meer mogelijk. In beide gevallen zal een vergunning moeten worden aangevraagd.
- Voor indirect hergebruik (aanvullen van het watersysteem) is altijd een omgevingsvergunning nodig. Zonder aanvullende behandeling is met name de concentratie nutriënten te hoog voor hergebruik in het watersysteem.

8.4 Aanbevelingen

Op basis van de uitkomsten van de studie worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Momenteel is er geen juridisch kader voor het direct hergebruiken van industrieel restwater voor landbouwdoeleinden. Dit moet in een vervolgonderzoek nader worden uitgezocht. Daarnaast is een duidelijker juridisch kader nodig voor het terugbrengen van gezuiverd restwater in het watersysteem, zeker als het gaat om inbrengen in de bodem zonder oog op terugwinning.
- Goed inzicht in de kwantiteit en kwaliteit van de verschillende deelstromen is belangrijk om de mogelijkheden van hergebruik en de benodigde waterbehandeling goed te kunnen inschatten en ook te kunnen vertalen naar andere locaties. Debietsproportionele monsters hebben daarbij de voorkeur boven steekmonsters. Meer en concrete informatie over de interne processen is eveneens nuttig.
- Naast de informatie over o.a. nutriënten in het restwater, zoals voor de locatie Veghel beschikbaar, wordt aanbevolen ook informatie over de temperatuur van de verschillende deelstromen en aanwezige contaminanten (microverontreinigingen) uit het reinigingsprocessen te verzamelen. Deze informatie is belangrijk voor het bepalen van de mogelijkheden van hergebruik.
- Nadere (watersysteem-)modellering is noodzakelijk om de effecten van grootschalig hergebruik op het watersysteem beter te kunnen kwantificeren. Dit geldt zeker als alternatieve routes zoals het inbrengen in de bodem worden overwogen. In de huidige studie is dit alleen op hoofdlijnen ingeschat.
- In de huidige studie konden de financiële kosten en baten enkel op hoofdlijnen worden ingeschat. Indien een of meerdere scenario's voor hergebruik kansrijk worden geacht, wordt aanbevolen deze kosten verder in beeld te brengen. Het gaat daarbij onder andere om de kosten van eigen grondwateronttrekking, de benodigde waterbehandeling en het effect van hergebruik op de zuiveringsheffing.
- Grootschalig hergebruik van restwater zal op de locatie Veghel waarschijnlijk het zuiveringsproces op de RWZI beïnvloeden. Dit kan ook op andere locaties een aandachtspunt zijn. Bij het verder uitwerken van kansrijke hergebruiksscenario's moeten ook de effecten van veranderingen in de vuillast en het volume van influent naar de RWZI nauwkeuriger in beeld worden gebracht. Veel hangt samen met de gekozen technologie voor waterbehandeling.
- De benodigde waterbehandeling is in deze studie op hoofdlijnen uitgewerkt. Het wordt aanbevolen dit in een vervolgonderzoek verder uit te zoeken. Het gaat onder meer om kennis over ontzoutingstechnieken en de benodigde behandelingsstappen bij volledig hergebruik.
- In deze studie is op hoofdlijnen gekeken naar de mogelijkheid om teruggewonnen nutriënten en ureum in de landbouw her te gebruiken als meststof. In vervolgonderzoek moet meer kennis worden vergaard over de mogelijkheden hiervan, mogelijk in combinatie met het inwinnen van juridisch advies.
- Om microbiologische risico's van hergebruik te verkleinen, moeten in vervolgonderzoek maatregelen worden verkend om de houdbaarheid van teruggewonnen water te vergroten. Verder is het in het kader van risicobeheersing belangrijk om bij hergebruik een back-up in te stellen. Dit gaat zowel om een back-up voor watervoorziening bij intern hergebruik (drinkwater), als een alternatief voor de afvoer van restwater, mocht het zuiveringsproces buiten bedrijf raken.

9 Bronvermelding

- Balanec, B., Gésan-Guizieu, G., Chaufer, B., Rabiller-Baudry, M., & Daufin, G. (2002). Treatment of dairy process waters by membrane operations for water reuse and milk constituents concentration. *Desalination*, 147(1-3), 89-94. doi:10.1016/S0011-9164(02)00581-7
- Brião, V. B., & Granhen Tavares, C. R. (2007). Effluent generation in the dairy industry: preventive attitudes and opportunities. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 24(4), 487-497. doi:10.1590/S0104-66322007000400003
- Buabeng-Baidoo, E., Mafukidze, N., Pal, J., Tiwari, S., Srinivasan, B., Majazi, T., & Srinivasan, R. (2017). Study of water reuse opportunities in a large-scale milk processing plant through process integration. *Chemical Engineering Research and Design* 121, 81-91. doi:10.1016/j.cherd.2017.02.031
- BuRO. (2017). *Advies over de risico's van de zuivelketen* (NVWA/BuRO/2017/266). <https://www.nvwa.nl/documenten/consument/eten-drinken-roken/overige-voedselveiligheid/risicobeoordelingen/risicobeoordeling-zuivelketen-nvwa-buro>
- Carvalho, F., Prazeres, A. R., & Rivas, J. (2013). Cheese whey wastewater: characterization and treatment. *Science of the Total Environment*, 445-446, 385-396. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.12.038
- Cataldo Hernández, M., Russo, N., Panizza, M., Spinelli, P., & Fino, D. (2014). Electrochemical oxidation of urea in aqueous solutions using a boron-doped thin-film diamond electrode. *Diamond and Related Materials*, 44, 109-116. doi:10.1016/j.diamond.2014.02.006
- CBS Statline. (2023). *Watergebruik bedrijven en particuliere huishoudens; nationale rekeningen*. Geraadpleegd via: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82883NED/table?fromstatweb>
- Cirkel, D. G., van den Eertwegh, G., Stofberg, S. F., & Bartholomeus, R. P. (2017). *Kennisdocument Hergebruik van Restwater voor de Landbouwwatervoorziening* (BTO 2017.009). Nieuwegein. <https://livelink.kwrwater.nl/livelink/livelink.exe/open/55133088>
- de Bruin, B., van der Roest, H., Schyns, P., & Oosterhuis, M. (2012). Ontwerpvoorbeelden en -grondslagen van de Nereda-technologie. *H2O*, 45(9), 36-39.
- Dingemans, M. M. L., Smeets, P. W. M. H., Medema, G. J., Frijns, J. A. G., Raat, K. J., van Wezel, A. P., & Bartholomeus, R. P. (2020). Responsible Water Reuse Needs an Interdisciplinary Approach to Balance Risks and Benefits. *Water*, 12(5), 1264. doi:10.3390/w12051264
- FAO, & WHO. (2023). *Safety and quality of water use and reuse in the production and processing of dairy products – Meeting report*. Artikel gepresenteerd op Microbiological Risk Assessment Series, Rome.
- Giner Santonja, G., Karlis, P., Stubdrup, K. R., Brinkmann, T., & Roudier, S. (2019). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Food, Drink and Milk Industries* (EUR 29978 EN).
- Krajenbrink, H. J., Handgraaf, S., Koeman-Stein, N. E., Cirkel, D. G., & Stofberg, S. F. (2022). *Juridisch kader aanvulling watersysteem met industrieel restwater* (KWR 2022.102). Nieuwegein. <https://livelink.kwrwater.nl/livelink/livelink.exe/Open/69265309>
- Krajenbrink, H. J., Raat, K. J., & Lousada-Ferreira, M. d. C. (2023). *Haalbaarheid van benutting van effluent van RWZI Westerschouwen* (KWR 2023.066). Nieuwegein.
- Krajenbrink, H. J., Stofberg, S. F., & Bartholomeus, R. P. (2021). *RWZI als waterfabriek voor een robuuste watervoorziening* (STOWA 2021-31). Amersfoort. <https://livelink.kwrwater.nl/livelink/livelink.exe/open/62853272>
- Lousada-Ferreira, M. d. C., Krajenbrink, H. J., & Roest, K. (2023). *Rendac effluenthergebruik - Globale technische en economische inschatting* (KWR 2023.009). Nieuwegein. <https://livelink.kwrwater.nl/livelink/livelink.exe/Open/69876318>
- Meststoffen Nederland. (2023). Kalium. <https://www.meststoffennederland.nl/dossiers/voeding-van-de-plant/de-belangrijkste-elementen/kalium>
- Narain-Ford, D. M., van Wezel, A. P., Helmus, R., Dekker, S. C., & Bartholomeus, R. P. (2022). Soil self-cleaning capacity: Removal of organic compounds during sub-surface irrigation with sewage effluent. *Water Research*, 226, 119303. doi:10.1016/j.watres.2022.119303
- NZO. (2020). Factsheet Antibiotica. Retrieved from <https://www.nzo.nl/wp-content/uploads/2020/01/NZO-Factsheet-Antibiotica-jan-2020.pdf>

- O'Connor, E., Ryan, A., Lohan, G., & Cronin, P. (2018). *Investigating Process Water Recovery Within the Irish Dairy Industry*. Artikel gepresenteerd op 28th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2018), Columbus, OH, USA.
- Pronk, G. J., van Dooren, T. C. G. W., Stofberg, S. F., & Bartholomeus, R. P. (2020). *Waterhergebruik en de zoetwatervoorziening (Managementsamenvatting en dataoverzicht op dia's)* (BTO 2020.011). Nieuwegein. <https://livelink.kwrwater.nl/livelink/livelink.exe/open/60884959>
- RVO. (2019a). *Hoeveel mest gebruiken. Hoe rekent u dat uit?* <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2019/11/Hoeveel%20mest%20uitrijden%20hoe%20rekent%20u%20dat%20uit%2028-11-19%20v1.pdf>
- RVO. (2019b). Tabellen mest. <https://www.rvo.nl/onderwerpen/mest/tabellen>
- RVO. (2022). Nieuwe mestproducten ontwikkelen. <https://www.rvo.nl/onderwerpen/mest/meststoffenverordening>
- Sarkar, B., Chakrabarti, P. P., Vijaykumar, A., & Kale, V. (2006). Wastewater treatment in dairy industries-possibility of reuse. *Desalination*, 195(1-3), 141-152. doi:10.1016/j.desal.2005.11.015
- Shewa, W. A., & Dagnew, M. (2020). Revisiting Chemically Enhanced Primary Treatment of Wastewater: A Review. *Sustainability*, 12(15). doi:10.3390/su12155928
- Starmans, D., Buisonjé, F. d., Dijk, W. v., Haan, J. d., Timmerman, M., & Visser, C. d. (2015). *Mest vol verwaarden? Wat kan raffinage betekenen?* (PPO-658). <https://edepot.wur.nl/358252>
- Tang, D. W. S., van der Zee, S. E. A. T. M., Narain-Ford, D. M., van den Eertwegh, G. A. P. H., & Bartholomeus, R. P. (2023). Managed Phreatic Zone Recharge for Irrigation and Wastewater Treatment (Open Access) *Journal of Hydrology*, 626, 130208. doi:10.1016/j.jhydrol.2023.130208
- Unie van Waterschappen, & Vewin. (2021). Water verbindt. In U. v. Waterschappen (Ed.).
- Urbańczyk, E., Sowa, M., & Simka, W. (2016). Urea removal from aqueous solutions—a review. *Journal of Applied Electrochemistry*, 46, 1011-1029. doi:10.1007/s10800-016-0993-6
- van Os, E., Blok, C., Voogt, W., & Waked, L. (2016). *Water quality and salinity aspects in hydroponic cultivation*. <https://edepot.wur.nl/403810>
- Vedharathinam, V., & Botte, G. G. (2013). Direct evidence of the mechanism for the electro-oxidation of urea on Ni(OH)₂ catalyst in alkaline medium. *Electrochimica Acta*, 108, 660-665. doi:10.1016/j.electacta.2013.06.137
- Wageningen Environmental Research. (2018). *Deltafact Zouttolerantie van teelten*. <https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/verzilting/zouttolerantie-van-teelten>
- Weerakoon, D., Bansal, B., Padhye, L. P., Rachmani, A., James Wright, L., Silyn Roberts, G., & Baroutian, S. (2023). A critical review on current urea removal technologies from water: An approach for pollution prevention and resource recovery. *Separation and Purification Technology*, 314, 123652. doi:https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.123652
- Yang, K., Hao, L., Hou, Y., Zhang, J., & Yang, J.-H. (2024). Summary and application of Ni-based catalysts for electrocatalytic urea oxidation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 51, 966-981. doi:10.1016/j.ijhydene.2023.10.279
- Zaher, A., & Shehata, N. (2019). *Recent advances and challenges in management of urea wastewater: A mini review*. Artikel gepresenteerd op 5th International conference on advanced sciences (ICAS5), Hurghada, Egypt.

Bijlagen

I Waterkwaliteitseisen landbouw

Uit de zuivelfabrieken zijn verschillende waterstromen beschikbaar die in aanmerking komen voor hergebruik. Er zijn verschillende opties voor hergebruik, waarbij iedere optie andere eisen stelt aan de waterkwaliteit. In deze bijlage worden enkele getallen genoemd van waterkwaliteitseisen die kunnen gelden bij hergebruik van restwater voor landbouwdoeleinden. Ze kunnen als startpunt dienen voor een verdere uitwerking in een vervolgstudie.

I.1 Landbouw – open teelt

Om water her te gebruiken in de landbouw zijn er eisen die gesteld worden aan de kwaliteit. Dit zijn enerzijds eisen die een teler stelt om schade aan het gewas te voorkomen, of groei te bevorderen. Daarnaast is er een wettelijk kader voor hergebruik van huishoudelijk afvalwater in de landbouw, met als doel de risico's voor mens en milieu te minimaliseren. Dit kader geldt echter niet voor gebruik van industrieel afvalwater maar kan wel worden meegenomen in het opstellen van waterkwaliteitseisen. Daarnaast hebben telers te maken met wettelijke beperkingen op het gebruik van meststoffen. Deze zijn echter niet gekoppeld aan de waterkwaliteit van het irrigatiewater, maar aan het landoppervlak. Het wettelijk kader wordt behandeld in hoofdstuk 7.

Bemesting

Getallen over de wettelijke eisen van enkele meststoffen zijn ontleend aan informatie van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO, 2019a, 2019b). Het gebruik van stikstof uit dierlijke mest is op grond van EU-wetgeving beperkt tot 170 kg N/ha. Veel gewassen hebben meer dan 170 kg stikstof nodig en mogen wettelijk ook meer N krijgen. De stikstofnorm is afhankelijk van de ondergrond en het gewas. Veghel en Borculo liggen op de hoge zandgronden. De norm ligt in deze gebieden tussen de 70 (cichorei en vlas) en 340 (graszoden) kg/ha/teelt. Groenbemesters en vlinderbloemigen hebben een nog lagere norm van 25-30 kg/ha/teelt. Sommige bomen hebben ook een lagere norm (bijvoorbeeld laanbomen: 40 kg/ha). Agrariërs zullen voor de stikstofbehoefte van het gewas naar verwachting eerst gebruik maken van dierlijke mest (max 170 kg N/ha) en de overige stikstofruimte benutten met andere middelen zoals kunstmest. Stikstof dat in het irrigatiewater zit, kan eveneens bijdragen aan het leveren van de stikstofbehoefte van planten.

Ook voor fosfaat geldt een maximale gebruiksruimte per hectare landbouwgrond. Een groot deel van de fosfaat is afkomstig uit dierlijke mest. Als een gewas dan nog meer nodig heeft en er is nog ruimte, kan dat ook middels kunstmest worden aangevuld. De fosfaatgebruiksruimte voor grasland is hoger dan voor bouwland. Afhankelijk van de bodemgesteldheid mag per jaar tussen de 40 en 120 kg P/ha gegeven worden.

Kalium is een belangrijke meststof die wordt gebruikt in de landbouw. Het is na stikstof de voedingsstof die door planten in de grootste hoeveelheid wordt opgenomen. De opname in de plant wordt meestal uitgedrukt als kali (K₂O). De omrekening naar kalium (K) voor enkele gewassen is opgenomen in de volgende tabel (Meststoffen Nederland, 2023).

Gewas	Opname (kg/ha)	
	K ₂ O	K
Granen	100	41,4
Aardappelen en bieten	350	144,9
Grasland en groentegewassen zoals peen	500	207,0

Micronutriënten

Gewassen hebben naast de hoofdelementen ook een aantal spoorelementen (in de regelgeving micronutriënten genoemd) nodig voor ongestoorde groei. Vaak zijn die elementen wel voldoende in de bodem aanwezig, maar niet altijd beschikbaar voor het gewas, waardoor soms toch een tekort kan optreden. Voor sommige spoorelementen geldt ook dat zij vooral van belang zijn voor de gezondheid van het vee. Spoorelementen zijn borium (B), molybdeen (Mo), mangaan (Mn), koper (Cu), kobalt (Co), zink (Zn), ijzer (Fe), jodium (I) en selenium (Se). Hierbij wordt geadviseerd om, afhankelijk van de beschikbaarheid in de bodem tot enkele kg/ha/jr te doseren. In dierlijke mest zijn ook spoorelementen aanwezig die (een deel van) dit tekort ook kunnen aanvullen (Starmans et al., 2015).

I.II Glastuinbouw

Hoewel in de regio’s Veghel, Borculo en Zutphen geen grote glastuinbouwgebieden in de nabijheid zijn, kan hergebruik van restwater in de glastuinbouw op andere locaties mogelijk een optie zijn. De kwaliteitseisen van de glastuinbouw zijn hoog. Het water wordt zeer vaak gerecirculeerd waardoor de eisen die gesteld worden aan met name natriumconcentratie erg strikt zijn. Verschillende clusters van glastuinbouwbedrijven hebben eisen aangegeven die zij stellen aan irrigatiewater uit restwater. In onderstaande tabel is een overzicht van referentiewaarden opgenomen. Voor vrijwel alle nutriënten geldt dat de waarden in het restwater (veel) te hoog zijn voor direct hergebruik in de glastuinbouw. Dit betekent dat het restwater nog aanvullend behandeld zijn moeten worden.

	Grenswaarden AquaReUse ⁷	Indicatie waarden TOM (Cirkel et al., 2017)	Gebruiksbeperking hydrocultuur (van Os et al., 2016)			Drinkwater- norm ⁸	‘Borging Effluent’ (lopend project KWR)
			geen	Licht - matig	ernstig		
EC (mS/cm)	<0,2	0,3	0-0,75	0,75-2,25	>2,25		<0,2
pH (-)	geen norm	6,5				7-9,5	Geen norm

⁷ https://www.glastuinbouwwaterproof.nl/onderzoeken/13545_aquareuse/#_

⁸ <https://wetten.overheid.nl/BWBR0026338/2024-01-01>

NH ₄ (mmol/L)	<0,1	0,02	≈0	0,1-1	>1		<0,05
K (mmol/L)	<2,0	1,20	<0,5	0,5-2,5	>2,5		<1,2
Na (mmol/L)	<0,2	0,10	<3	3-10	>10	3,836	<0,1
Ca (mmol/L)	<1,0	0,80	<1,5	1,5-5	>5		<0,8
Mg (mmol/L)	<1,0	0,20	<0,7	0,75-2	>2		<0,2
Si (mmol/L)	<1,0						<1
NO ₃ (mmol/L)	<2,0	0,00					<0,5
Cl (mmol/L)	<1,0	0,50	<3	3-10	>10	4,231	<0,5
SO ₄ (mmol/L)	<1,0	0,30	<2	2-4	>4	1,545	<1,0
H ₂ PO ₄ (mmol/L)							
HCO ₃ (mmol/L)	<1,0	1,50	0-2	2-6	>6	0,983	<1,0
P (mmol/L)	<1,0	0,87	<0,3	0,3-1	>1		<1,0
N-totaal (mmol/L)		15,49	<0,5	0,5-2	>2	0,807	<0,8
Spoor-elementen							
Fe (μmol/L)	<20	4,48			>90	3,581	<4,48
Mn (μmol/L)	<10	4,55			>10	0,91	<4,55
Zn (μmol/L)	<10	3,00			>30	0,046	<3,0
Cu (μmol/L)	<1	3,15			>15	0,031	<1,0
B (μmol/L)	<50	9,98/ 27,75/ 55,49	30	30-100	>100	0,046	<20
Mo (μmol/L)	<1						<1