BTO 2017.072 | Maart 2018

BTO rapport

Verdieping Warmte en Koude uit Drinkwater

KWR Watercycle Research Institute

BTO

Verdieping Warmte en Koude uit Drinkwater

BTO 2017.072 | Maart 2018

Opdrachtnummer
400554-139

Projectmanager
dr. ing. Kees Roest

Opdrachtgever
BTO - Thematisch onderzoek – Klimaat neutrale Waterketen

Kwaliteitsborgers
ir. Frank Oesterholt, dr. Paul van der Wielen

Auteurs
dr.ir. Nikki van Bel, ir. Martin Bloemendal, dr.ir. Tessa van den Brand, dr. Laura Snip, ing. Leo Heijnen

Verzonden aan
Themagroep Klimaatneutrale Waterketen

Jaar van publicatie
2018

Meer informatie
ir. Frank Oesterholt
T +31306069575
E frank.oesterholt@kwrwater.nl

Keywords

Warmte, Koude, Drinkwater, Risico's waterkwaliteit, energieprestaties, LCA

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

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

Watercycle Research Institute

BTO 2017.072 | Maart 2018 © KWR

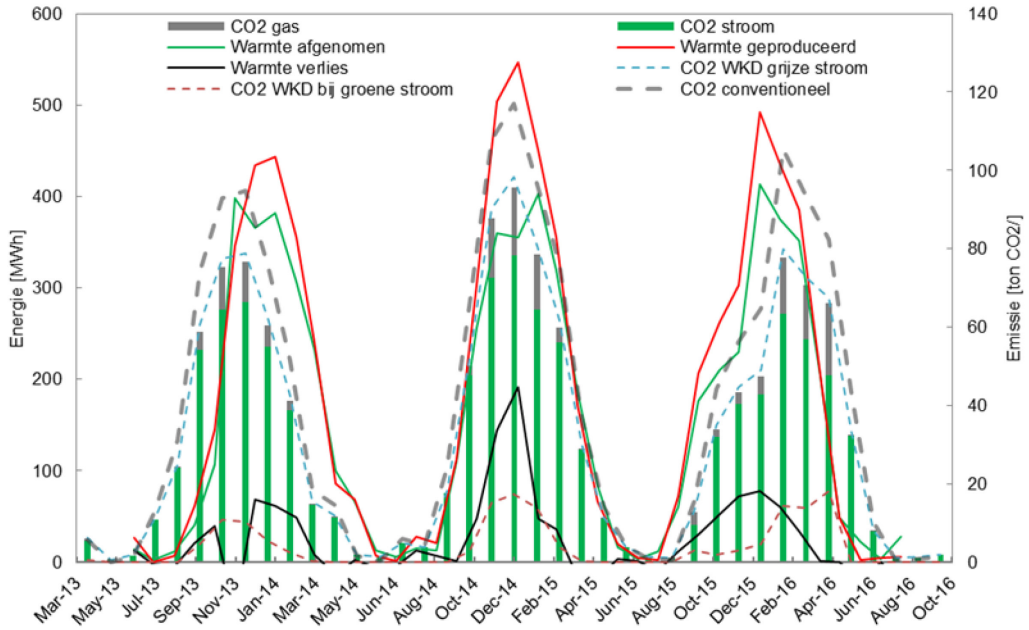
Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming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

BTO *Managementsamenvatting*

Microbiologische risico's van warmte en koude uit Drinkwater (WKD) blijken beperkt in de praktijk.
WKD-systeem kan qua kosten en duurzaamheid moeizaam concurreren met WKO-systeem.

Auteur(s) . Nikki van Bel, Martin Bloemendal, Tessa van den Brand, Laura Snip en Leo Heijnen

Drinkwater is een goede potentiële bron voor thermische energie ten behoeve van de verwarming en koeling van gebouwen. Begin 2017 zijn in Nederland ongeveer zeven systemen operationeel die thermische energie uit drinkwater halen en wordt een aantal nieuwe systemen aangelegd. Er is nog maar weinig bekend over de effecten van de temperatuursverandering ten gevolge van de energie-uitwisseling en de toepassing van een warmtewisselaar op de drinkwaterkwaliteit. Ook over de energetische en economische opbrengst van dergelijke systemen is nog veel onbekend. Voor drinkwaterbedrijven is het relevant om meer inzicht te krijgen in die risico's omdat de opvatting is dat toepassing van WKD een positieve milieu-impact moet hebben en de drinkwaterkwaliteit nooit in gevaar mag brengen.
In dit onderzoek zijn twee bestaande WKD-systemen geselecteerd voor een verdiepende studie gericht op microbiologische risico's, economisch rendement en milieu-impact (LCA). Uit intensieve microbiologische monitoring blijkt dat er nauwelijks tot geen kwaliteitsverandering van het drinkwater optreedt. De lage watertemperaturen op de onderzoekslocaties (< 15 °C) hebben daar ook aan bijgedragen. Een WKD-systeem blijkt op de langere termijn goedkoper te zijn dan een conventioneel systeem voor ruimteverwarming en/of koeling. De milieu-impact op basis van ecopunten is nagenoeg gelijk. Wel blijkt dat zowel qua kosten als qua milieu-impact een WKO-systeem (warmte en koude opslag in de bodem) beter presteert dan een WKD-systeem.



GEPRODUCEERDE, GELEVERDE EN VERLOREN WARMTE ALSMEDE DE EMISSIE VAN DE WKD-INSTALLATIE IN CULEMBORG

Belang: meer inzicht in de risico's van toepassing van WKD

Voor drinkwaterbedrijven is het relevant om meer inzicht te krijgen in de risico's van WKD omdat de opvatting is dat toepassing van deze technologie een positieve milieu-impact moet hebben en de drinkwaterkwaliteit nooit in gevaar mag brengen.

Aanpak: intensieve microbiologische monitoring en data-analyse bij twee praktijklocaties

Gestart is met de selectie van de twee onderzoekslocaties op basis van interviews met betrokkenen en een vijftal selectiecriteria waaraan de locatie zou moeten voldoen. Op de twee geselecteerde locaties zijn van het drinkwater vóór en na de warmtewisselaar watermonsters genomen voor analyse van een selectie van opportunistische pathogenen, indicatororganismen en ATP. Daarnaast was het op één locatie mogelijk om monsters te nemen van de biofilm in de warmtewisselaar.
Parallel daaraan is (voor zover mogelijk) het WKD-systeem op beide locaties beoordeeld op basis van berekening van de volgende key performance indicators (KPI) uitgaande van bestaande data:

- de coëfficiënt of performance (COP)
- de seizoensmatige prestatie factor (SPF)
- de CO_2-uitstoot per unit warmte/koud
- de total cost of ownership (TCO)
- de duurzaamheid met Life Cycle Analysis (LCA).

Resultaten: Microbiologische risico's van WKD-systemen zijn klein.

Buiten een lichte verhoging van Aeromonas-aantallen op één locatie (onder de norm) zijn tijdens het onderzoek geen verhoogde aantallen pathogenen of indicatororganismen gemeten. Hierbij moet worden opgemerkt dat de temperatuur van het drinkwater op beide locaties niet boven de 15 °C is gestegen. Dit wijst er op dat bij deze temperaturen een WKD-systeem zonder risico's voor de waterkwaliteit kan worden toegepast.

Verder kon worden aangetoond dat een verlaging van de temperatuur door onttrekking van warmte aan drinkwater een aantoonbaar positief effect heeft op de waterkwaliteit (ATP en koloniegetal). Slechts op één locatie bleek de dataset toereikend voor een uitgebreide evaluatie van het energiesysteem en berekening van de KPI's. Uit de beperkte data blijkt wel dat het lastig is om een WKD-systeem succesvol (lees: energie- en kostenbeparend) te bedrijven.
Een WKD-systeem blijkt op de langere termijn goedkoper te zijn dan een conventioneel systeem voor ruimteverwarming en/of koeling. De milieu-impact op basis van ecopunten is nagenoeg gelijk aan die van een conventioneel systeem (gasketel en compressie koelmachine). Wel blijkt dat zowel qua kosten als qua milieu-impact een WKO-systeem (warmte en koude opslag in de bodem) beter presteert dan een WKD-systeem.

Implementatie: goede monitoring blijft essentieel

De potentie van thermische energie uit drinkwater voor heel Nederland is in dit onderzoek berekend op 1,4 % van de totale warmtevraag van de bebouwde omgeving. Dat betekent dat landelijk gezien WKD altijd een beperkte rol zal spelen. Lokaal kan een WKD-systeem voordelen opleveren, hoewel dit onderzoek leert dat altijd een vergelijking met andere duurzame oplossingen zoals WKO moet worden gemaakt.
Het monitoren en bijsturen van een WKD-installatie (ook bij de afnemers) is cruciaal voor een succesvolle kostenefficiënte toepassing. Naarmate de uitgaande drinkwatertemperatuur van het WKD-systeem toeneemt richting de wettelijke grenswaarde van 25 °C, wordt monitoring van de microbiologische waterkwaliteit belangrijker.

Rapport

Dit onderzoek is beschreven in rapport *Verdieping Warmte en Koude uit Drinkwater (WKD)* (BTO 2017.072).

Meer informatie
ir. Frank Oesterholt
T +31306069575
E frank.oesterholtl@kwrwater.nl

KWR
PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

KWR Watercycle Research Institute

Inhoud

Inhoud 1

1 Inleiding 3
1.1 Aanleiding 3
1.2 Doel 3
1.3 Stappenplan 4
1.4 Leeswijzer 4

2 Methodebeschrijvingen 5
2.1 Systeemafbakening en selectie studielocaties 5
2.2 Vaststellen microbiologische effecten 7
2.3 Energetisch, economisch en duurzaamheidsrendement 17

3 Onderzoek WKD locatie Hoogeveen 25
3.1 Inleiding 25
3.2 Microbiologische analyse 25
3.3 Energetisch en Economisch rendement 46

4 Onderzoek WKD locatie Culemborg 50
4.1 Inleiding 50
4.2 Systeembeschrijving 50
4.3 Microbiologische Analyse 51
4.4 Energetisch en Economisch rendement 58
4.5 Life cycle analysis (LCA) WKD Culemborg 61

5 Discussie 69
5.1 Microbiologie 69
5.2 Energie, economie en duurzaamheid 71

6 Conclusies en aanbevelingen 73
6.1 Conclusies 73
6.2 Aanbevelingen 74

Referenties 76

Bijlage I Gespreksverslag interviews en lijst WKD installaties 78

Bijlage II Berekening TCO 94

Bijlage III Resultaten microbiologie Culemborg 99

Bijlage IV Resultaten microbiologie Hoogeveen 100

Bijlage V P&ID Warmtewisselaars Hoogeveen 103

Bijlage VI Toelichting omrekenen naar functionele eenheid 104

Bijlage VII Milieu-impact naar impact categorie 105

Bijlage VIII LCA WKO-systeem 106

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Drinkwater is een goede potentiële bron voor thermische energie ten behoeve van de verwarming en koeling van gebouwen. In het kader van het BTO-project "Warmte en Koude uit Drinkwater en Riolering" (WKDR) is naast de 'state-of-the-art' (BTO-rapport 2014.048) ook aandacht besteed aan de risico's die verbonden zijn aan het concept, zowel financieel als vanuit oogpunt van waterkwaliteit (rapport BTO2015.002). Zo is er bijvoorbeeld nog maar weinig bekend over de effecten van de temperatuursverandering ten gevolge van de energie-uitwisseling op de drinkwaterkwaliteit. Ook over de energetische en economische opbrengst van dergelijke systemen is nog veel onbekend. Beide kennisvragen vormen de basis voor dit onderzoek.

Circa 50% van alle energie is nodig voor ruimteverwarming voor woningen en gebouwen en de verwarming van tapwater (IEA, 2016). Deze energiestroom is daarom cruciaal om te verduurzamen en aan de (inter)nationale afspraken voor CO2-uitstoot te kunnen voldoen (Kamp, 2015; UN, 2015). Mogelijke duurzame bronnen voor warmte en koeling zijn drinkwater en afvalwater. Binnen het Thema Water en Energie van het bedrijfstakonderzoek (BTO) van de Nederlandse drinkwatersector is onderzoek gedaan naar Warmte en Koude uit Drinkwater en Rioleringen (Bloemendal et al., 2015). Daaruit bleek dat vooral energiewinning uit drinkwater een interessante optie kan zijn.

Onderzoekvisie Drinkwatersector

De drinkwaterbedrijven hebben een intentie om hun klimaatvoetafdruk te verlagen. In de eigen bedrijfsvoering wordt maar een beperkte hoeveelheid energie gebruikt en daarbinnen is maar op beperkte schaal winst te halen door de efficiëntie te verhogen. Toch willen de drinkwaterbedrijven een actieve bijdrage leveren aan het terugdringen van de maatschappelijke kosten die ontstaan bij de inzet van fossiele energie bij drinkwatergebruik. Dit kan onder andere worden bereikt door het toepassen van duurzame thermische energie uit water. De winning van thermische energie uit drinkwater, als onderwerp van deze verdiepende studie, valt onder de noemer 'duurzame energie opwekken' en sluit direct aan bij de onderzoeksvisie zoals vastgelegd in het oorspronkelijk vijfjarenplan van de BTO-themagroep 'Klimaatneutrale waterketen' (voorheen TG Water en Energie).

1.2 Doel

De primaire taak van drinkwaterbedrijven is de watervoorziening, daarom mag het winnen van thermische energie uit drinkwater onder geen beding de leveringszekerheid en de drinkwaterkwaliteit in gevaar brengen.

De doelen van dit project zijn:

- Stel vast wat de risico's zijn ten aanzien van de microbiologische drinkwaterkwaliteit bij toepassing van WKD.
- Stel vast wat het energetische en economische rendement van een WKD installatie is[1].

Bij een aantal drinkwaterbedrijven zijn de eerste installaties voor winning van thermische energie uit drinkwater operationeel of worden gerealiseerd; begin 2017 gaat het in totaal om een negental locaties. Dit onderzoek richt zich op WKD-systemen die bij de start van het onderzoek al operationeel zijn.

1.3 Stappenplan

Om de twee bovengenoemde doelen te behalen zijn verschillende stappen doorlopen.

1. Na de start van het project zijn gegevens over en beschrijvingen van werkende en geplande WKD-installaties verzameld. Hiervoor zijn interviews met drinkwaterbedrijven en beheerders/eigenaren van WKD-installaties gehouden, wat ook een beeld gaf van de motivatie en achterliggende overwegingen voor gemaakte keuzes. Op basis van het overzicht dat hieruit is ontstaan, zijn 2 locaties geselecteerd waarop het onderzoek is uitgevoerd.
2. Vervolgens is een meetprogramma opgesteld en uitgevoerd gericht op het in kaart brengen van de effecten van WKD op de microbiologische waterkwaliteit. Hierbij zijn de biofilm in de warmtewisselaar en het in en uitgaande water bemonsterd en geanalyseerd op een selectie van opportunistische pathogenen en een aantal algemene parameters.
3. Om de energetische en economische rendementen van WKD-systemen te kunnen vaststellen, zijn parallel hieraan de uitgangspunten voor de kostenberekeningen vastgesteld waarna beschikbare meetgegevens (o.a. temperaturen, debieten) van WKD-installaties zijn verzameld inclusief kostengegevens van de gebruikte installaties. Op basis hiervan zijn de (netto) geleverde energie, het vermeden verbruik van primaire brandstoffen, de vermeden CO_2-emissies en de *Total Costs of Ownership en Life Cycle Analysis* van de systemen berekend.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de toegepaste methoden geïntroduceerd en toegelicht. Eerst worden systeemgrenzen vastgesteld en de studielocaties vastgesteld. Vervolgens worden de toegepaste methoden voor zowel de microbiologische als de energetische en economische analyse onderbouwd.

Hoofdstuk 3 en 4 richten zich in detail op de beantwoording van de onderzoeksvragen voor de twee geselecteerde onderzoekslocaties in Hoogeveen en Culemborg.

In hoofdstuk 5 worden de onderzoeksresultaten geëvalueerd in de discussie en in hoofdstuk 6 zijn de conclusies en aanbevelingen opgenomen.

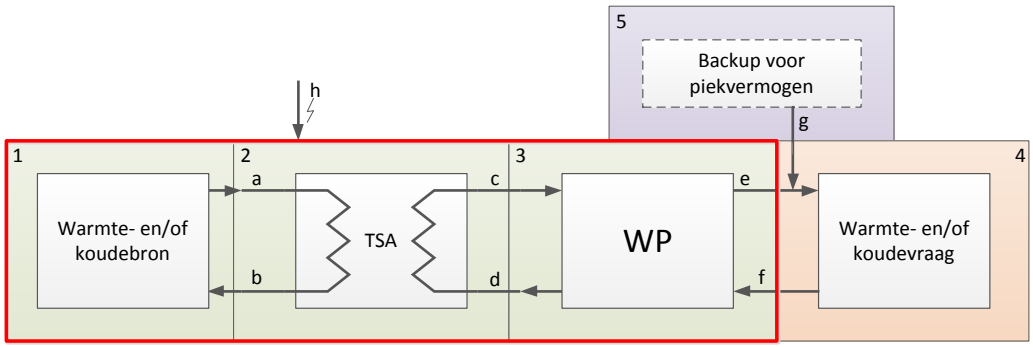
[1] De energetische en economische prestatie zijn sterk met elkaar verbonden en worden daarom in dit rapport gezamenlijk behandeld.

2 Methodebeschrijvingen

2.1 Systeemafbakening en selectie studielocaties

2.1.1 Definitie van een WKD-systeem

Een WKD-systeem is een installatie die netto warmte uit het drinkwater onttrekt of daar warmte aan afgeeft. In de praktijk gaat het vooral om drinkwater in transportleidingen[2], die deel uit maken van de publieke infrastructuur voor drinkwaterlevering en die het afgekoelde of opgewarmde drinkwater vervolgens aan derden leveren. Deze warmte is meestal, direct of indirect via een systeem van warmte en koudeopslag in de bodem, bestemd voor de verwarming of koeling van één of meerdere gebouwen. Door deze uitwisseling van thermische energie is voor de verwarming of koeling van het gebouw minder primaire of fossiele energie nodig.



FIGUUR 2-1. SCHEMATISCHE WEERGAVE WKD-SYSTEEM

De WKD-installatie bestaat uit de onderdelen die behoren tot de zogenaamde duurzame-installatie (rood omkaderd in Figuur 2-1), eventuele conventionele piekvoorzieningen (e.g. ketels, koelmachines) horen hier niet bij. In Figuur 2-1 worden de volgende elementen onderscheiden:

4. De bron voor warmte en/of koude (bijvoorbeeld een drinkwater transportleiding);
5. De warmtewisselaar, ook wel tegenstroom apparaat of TSA genoemd;
6. De warmtepomp (WP);
7. De warmte en/of koelvraag van het afgiftesysteem;
8. Een eventuele back-up voor piekvermogen.

a. t/m g. Verschillende thermische energiestromen (flow met een temperatuur)
h. Elektrische energie benodigd om het duurzame systeem te laten functioneren. (t.b.v. circulatiepompen en warmtepomp)

De winning van thermische energie uit drinkwater (element 1) kan op drie posities in de drinkwaterketen: in het ruwe (grond- of oppervlakte)water, in de reinwaterkelder of in een drinkwatertransportleiding.

[2] Daarnaast kan warmte worden onttrokken of toegevoegd aan water in transportleidingen die ruw water naar een drinkwaterproductielocatie transporteren of aan drinkwater in reinwaterkelders of distributiekelders.

Het microbiologische onderzoek in deze studie richt zich uitsluitend op de drinkwaterkwaliteit van het water dat in en uit de warmtewisselaar stroomt (element 2, posities a en b).

2.1.2 Selectie studielocaties

Om een beeld te krijgen van het aantal WKD-installaties, zijn interviews afgenomen bij alle drinkwaterbedrijven met bestaande of geplande WKD systemen (WMD, Waternet, Vitens en Brabant Water.) Deze interviews zijn gecombineerd uitgevoerd met het thematisch onderzoeksproject "*Best Practices Energie en Water*". Naast het in beeld krijgen van de installaties is ook het procesverloop geïnventariseerd en bekeken welke gegevens beschikbaar zijn. Een belangrijk leerpunt uit deze gesprekken was dat het maken van goede onderlinge afspraken tussen de partijen als onderdeel van het proces cruciaal is. Dat geldt in het bijzonder voor de onderlinge afhankelijkheid die ontstaat én voor de grenzen die moeten worden gesteld aan temperatuursverandering. Daarnaast wordt een WKD-installatie in de praktijk alleen succesvol als een afnemer relatief dichtbij de bron zit. Meer kritieke succesfactoren en barrières zijn genoemd in BTO rapport 2016.030 "*Water en energie: inventarisatie bestaande praktijkervaringen*". De volledige lijst met informatie over de WKD systemen en gespreksverslagen zijn opgenomen in Bijlage I. In Tabel 2-1staan de belangrijkste eigenschappen van de geïnventariseerde WKD systemen.

TABEL 2-1. OVERZICHT WKD-SYSTEMEN

Drinkwaterbedrijf	Project	Type water	Actief
WMD	Hoogeveen	rein	Ja
WMD	Emmen	rein	Ja*
Brabant Water	Tilburg	rein	Ja*
Brabant Water	Eindhoven	ruw	Ja
Vitens	Veenendaal	ruw	Ja
Vitens	Cothen	ruw	Ja
Vitens	Culemborg	rein	Ja
Waternet	Amsterdam, Sanquin	rein	In aanleg
Waternet	Amsterdam, Sniep	rein	In ontwerp

*sinds 2016 operationeel

Voor de selectie van de studielocaties zijn vijf criteria gehanteerd:

1. Bij voorkeur gebruikt de te selecteren WKD-installatie rein water. Omdat geen zuiveringsstap meer nageschakeld is, is het rein water het meest kritisch. Bovendien heeft in de praktijk het gebruik van rein water als bron ook de grootste potentie. Immers daar waar gebouwen een vraag naar thermische energie hebben, ligt vrijwel altijd ook een drinkwaterleiding. Daarom zal naar verwachting een brede toepassing van WKD voornamelijk met rein water als bron plaatsvinden. Vanuit microbiologisch oogpunt heeft de keuze voor een WKD-installatie met rein water als bron eveneens de voorkeur omdat de microbiologische samenstelling anders is dan van ruw (grond)water. Eén van de redenen hiervoor is dat grondwater vaak anaeroob is waarin bacteriën (opportunistische pathogenen) die in het drinkwater voorkomen niet kunnen overleven. Daarnaast kan de nutriëntensamenstelling van ruw water sterk verschillen van rein water. Daarom is het belangrijk om vooral voor rein water inzichtelijk te maken wat de effecten van een WKD-installatie zijn. De locaties met ruw water als warmte bron vallen daarom af (Eindhoven, Veenendaal, Cothen).
2. Er moet voldoende data beschikbaar zijn om te kunnen analyseren. Monitoringsdata, ontwerp- en gebruiksdata zijn nodig om een goede energetische en economische

analyse uit te voeren. Bij de meest recent in gebruik genomen systemen is nog geen of beperkte monitoringsdata beschikbaar. Om die reden zijn een aantal systemen afgevallen (Emmen, Tilburg, Sanquin, de Sniep).

3. De installatie moet al in bedrijf zijn genomen voor de start van het project zodat de microbiologie tijd heeft gehad zich te ontwikkelen.
4. Monstername ten behoeve van microbiologische analyse moet praktisch uitvoerbaar zijn. Er moeten tapkraantjes zijn voor watermonsters en de TSA, of de aan- en afvoerende leiding moeten bij voorkeur open kunnen om de biofilm te kunnen bemonsteren. Vooral dit laatste punt is lastig te realiseren, omdat dit vrij ingrijpend is. De installatie zal enkele dagen buiten bedrijf zijn vanwege de verplichte microbiologische monitoring om aan te tonen dat er tijdens de werkzaamheden geen microbiologische besmetting heeft plaatsgevonden. Binnen de looptijd van dit project is het alleen voor de TSA van Hoogeveen eenmalig gelukt om de biofilm te bemonsteren.
   Tijdens het project waren de WKD-installaties in Tilburg en Amsterdam (Sanquin) in ontwikkeling. Bij deze projecten zijn uitneembare buis-secties vlak voor en na de TSA gemonteerd, wat biofilmonderzoek in de toekomst makkelijker maakt.
5. De WKD-installatie moet het drinkwater opwarmen. De grootste risico's treden namelijk op bij verwarming van het drinkwater, dus projecten met voornamelijk koudevraag vallen af .

Op basis van de eerste twee criteria resteren alleen de WKD-projecten in Hoogeveen en Culemborg. Ook deze twee projecten voldoen slechts gedeeltelijk aan de overige criteria:

- voor Hoogeveen is een beperkte dataset beschikbaar,
- de TSA van Culemborg wordt periodiek gespoeld met een zuuroplossing wat effect kan hebben op de microbiologie,
- de biofilm kan alleen in Hoogeveen worden bemonsterd,
- in Culemborg wordt het drinkwater voornamelijk afgekoeld.

2.2 Vaststellen microbiologische effecten

2.2.1 Opportunistische pathogenen in het drinkwater

Om groei van micro-organismen in het Nederlandse drinkwater te voorkomen en zo het water microbiologisch veilig te houden, wordt door Nederlandse drinkwaterbedrijven geen chloor of ander desinfectiemiddel gedoseerd. Door het gehalte biologisch afbreekbare stoffen in het water zo laag mogelijk te houden, wordt biologisch stabiel drinkwater geproduceerd. Bepaalde opportunistische pathogenen kunnen zich echter toch vermeerderen en zo mogelijk een gevaar opleveren voor de volksgezondheid.

Opportunistische pathogenen zijn micro-organismen die ongevaarlijk zijn voor gezonde mensen, maar die wel ziekte veroorzaken in mensen met een verminderde weerstand (bijvoorbeeld ouderen, zwangeren, zware rokers, mensen met een immuunziekte en patiënten met medicijnen die het immuunsysteem onderdrukken). Van een aantal opportunistische pathogenen is bekend dat, onder de juiste condities, groei in het drinkwater en de biofilm in het drinkwaterdistributiesysteem mogelijk is (van der Wielen *et al.*, 2014).

In een warmtewisselaar spelen twee factoren mogelijk een rol bij het risico van groei van deze opportunistische pathogenen: de verhoogde temperatuur van het drinkwater en van de warmtewisselaarplaten en het grote oppervlak van de warmtewisselaar waarop zich een biofilm zal vormen. Deze biofilm heeft mogelijk gedurende langere tijd een (constant) hogere temperatuur, waardoor eventuele opportunistische pathogenen die in de biofilm

terecht komen kunnen gaan groeien. De mogelijke invloed van een verhoogde drinkwatertemperatuur op groei is eerder uitgebreid beschreven (BTO 2015.002, BTO 2017.024). Tevens kunnen veranderingen in de temperatuur van het drinkwater de samenstelling van de populatie micro-organismen in het water en de biofilm beïnvloeden.

Eerder onderzoek naar opportunistische pathogenen in het Nederlandse drinkwater, heeft inzicht gegeven in welke soorten het meeste risico geven en waar meer onderzoek naar moet worden gedaan (Tabel 2-2; van der Wielen & van der Kooij, 2009a).

TABEL 2-2. PRIORITERING MICRO-ORGANISMEN VOOR ONDERZOEK NAAR HET VÓÓRKOMEN IN NEDERLANDS DRINKWATER IN RELATIE TOT OPWARMING VAN HET LEIDINGNET (UIT: VAN DER WIELEN & VAN DER KOOIJ, 2009A).

Micro-organisme	**Prioriteit**
Legionella pneumophila	Zeer hoog
Non-tuberculeuze *Mycobacterium spp.*	Hoog
Pseudomonas aeruginosa	Hoog
Ziekteverwekkende fungi (o.a. *Aspergillus fumigatus*)	Hoog
Burkholderia cepacia complex	Midden
Stenotrophomonas maltophilia	Midden
Ziekteverwekkende protozoa	Midden
Acinetobacter baumannii - Acinetobacter calcoaceticus complex	Laag
Aeromonas	Laag
Afipia	Laag
Bosea	Laag
Chlamydia-achtige bacteriën zoals *Simkania negevensis*	Laag
Elizabethkingia meningoseptica	Laag
Helicobacter pylori	Laag
Methylobacterium	Laag
Yersinia enterocolitica	Laag

Op basis hiervan is bepaald welke opportunistische pathogenen gemonitord worden in dit onderzoek. In onderstaande kadertekst is een kort overzicht gegeven van de belangrijkste opportunistische pathogenen in het Nederlandse drinkwater.

Doel van het microbiologisch onderzoek is om vast te stellen of er risico's zijn ten aanzien van de microbiologische waterkwaliteit als gevolg van de toepassing van warmtewisselaars in WKD-installaties die direct zijn gekoppeld aan het drinkwaternet. De geanalyseerd parameters zijn: *Legionella pneumophila, Pseudomonas aeruginosa, Stenotrophomonas maltophilia, Aspergillus fumigatus, Legionella spp., Aeromonas* en de algemene parameters KG22 en ATP.

Legionella pneumophila

Legionellabacteriën groeien voornamelijk in aquatische milieus en hebben een complexe levenscyclus. De gevaarlijkste soort, *Legionella pneumophila*, kan een levensbedreigende longontsteking (ook wel legionellose of veteranenziekte genoemd) veroorzaken. Jaarlijks zijn er ongeveer 250-350 gerapporteerde gevallen van deze ziekte in Nederland. *Legionella* is een wettelijke parameter voor de microbiologische kwaliteit

van het drinkwater, en wordt binnen het kader van het drinkwaterbesluit gemonitord waarbij de aantallen in het water minder dan 100 kolonie vormende eenheden (kve) per liter moet zijn.

L. pneumophila kan zich alleen vermeerderen in protozoën (eencellige dierlijke organismen) die op de biofilm in het drinkwaternet grazen. Als *Legionella* aanwezig is in de biofilm wordt deze vervolgens opgenomen door de protozo. *Legionella* vermeerdert zich in de protozo totdat deze openbarst door het grote aantal bacteriën. Deze bacteriën komen vrij in het water, kunnen hechten aan de biofilm en worden vervolgens weer opgenomen door een protozo.

De optimale groeitemperatuur van *L. pneumophila* ligt rond de 37˚C, maar beperkte groei in aanwezigheid van andere micro-organismen kan vanaf 30˚C optreden. Een biofilm waaraan *L. pneumophila* zich kan hechten, wordt al bereikt bij een lage concentratie voedingsstoffen (gemakkelijk assimileerbaar organisch koolstof, AOC) van ~1 µg AOC-C/liter. Van meerdere materialen (PVC-P, PE en rubber) is bekend dat deze voedingsstoffen uitscheiden die groeibevorderend zijn voor de biofilm. Deze materialen worden ook gebruikt in een warmtewisselaar, met name om de platen goed op elkaar aan te laten sluiten, en het drinkwater komt met deze materialen in aanraking.

Pseudomonas aeruginosa

Pseudomonas aeruginosa komt veel voor in oppervlaktewater, maar wordt slechts in 5 - 10% van de drinkwatermonsters uit het Nederlandse distributienet (BTO 2015.002) gevonden. Van nature zijn *P. aeruginosa* bacteriën resistent tegen meerdere soorten antibiotica. Ze kunnen veel soorten weefsel en organen infecteren en onder andere levensbedreigende ziekten als longontsteking, hartproblemen, meningitis en sepsis veroorzaken (Mena et al., 2009). Vooralsnog is het echter onbekend of de drinkwaterstammen van *P. aeruginosa* gelijk zijn aan patiëntenstammen. Dit wordt momenteel onderzocht.

In drinkwatersystemen kan de bacterie zich hechten aan de biofilm. Verschillende onderzoeken laten zien dat de bron van de meeste besmettingen van het drinkwater ligt in de drinkwaterinstallatie van gebouwen (reviewed in Mena et al., 2009). De meeste mensen worden echter besmet door het gebruik van spa's en warmwaterbaden (reviewed in Mena et al., 2009; Gerba and Gerba 1998; Craun et al. 2005).

P. aeruginosa kan op lage concentraties voedingsstoffen groeien, zoals bijvoorbeeld aanwezig in het Nederlandse drinkwater. Als reincultuur in drinkwater groeit *P. aeruginosa* bij 10˚C tot boven de 45˚C graden (BTO 2014.217 (s)). In een natuurlijke drinkwatermatrix werd *P. aeruginosa* gevonden in een biofilm die is gevormd bij 25˚C – 40˚C (BTO 2014.217 (s)), maar onderzoek naar het effect van temperatuur op groei van *P. aeruginosa* is nog zeer beperkt (reviewed in BTO 2017.024).

Stenotrophomonas maltophilia

S. maltophilia komt voor in waterige milieus zoals oppervlaktewater, maar ook in biofilms in vochtige omgevingen. Een infectie met de bacterie is moeilijk te behandelen en kan leiden tot onder andere bloedvergiftiging, hartklep- en longontsteking. De bacterie is aanwezig in 5-10% van de drinkwatermonsters uit het Nederlandse distributienet (BTO 2015.002). Vooralsnog is het onbekend of de drinkwaterstammen van *S. maltophilia* gelijk zijn aan patiëntenstammen. Dit wordt momenteel onderzocht.

S. maltophilia groeit bij 15˚C tot 40˚C als reincultuur in drinkwater. Van de invloed van temperatuur op groei van *S. maltophilia* in de biofilm zijn geen gegevens bekend. Wel is aangetoond dat in de zomer hogere aantallen *S. maltophilia* aanwezig zijn dan tijdens de winter in het Nederlandse distributienet (van der Wielen, 2013).

Aspergillus fumigatus

A. fumigatus is een schimmel die in 5-10% van de Nederlandse drinkwatermonsters aanwezig is (BTO 2015.002). Een infectie met deze schimmel kan leiden tot (chronische) longontsteking, allergische reacties, huidinfecties en infecties van de bloedbaan die kunnen leiden tot ernstige ziekte en overlijden. Vooralsnog is het onbekend of de drinkwaterstammen van *A. fumigatus* gelijk zijn aan patiëntenstammen. Dit wordt momenteel onderzocht.

In tegenstelling tot *P. aeruginosa* en *S. maltophilia* is *A. fumigatus* niet in staat te groeien als reincultuur in drinkwater. Wel is het organisme in staat om zich te vermeerderen op een rijk voedingsmedium tussen 15˚C tot >50˚C. De schimmel wordt aangetroffen in biofilms die bij 17˚C tot 20˚C in het laboratorium zijn gevormd (BTO 2014.217 (s)). Al bij vrij lage temperaturen kan *A. fumigatus* zich handhaven in de biofilm, beperkte groei vindt mogelijk ook plaats. Een hogere temperatuur lijkt niet tot meer groei te leiden.

Non-Tuberculeuze Mycobacteriën

Ondanks dat deze een hoge prioriteit hebben gekregen in Tabel 2-3 zijn deze niet getest omdat deze bacteriesoorten niet voorkomen in Nederlands drinkwater (van der Wielen en van der Kooij , 2011; van der Wielen, 2014).

Aeromonas

Aeromonas is een wettelijke parameter en is een indicator voor nagroei in het distributiesystem. De *Aeromonas*-aantallen moeten onder de wettelijke eis van 1000 kve/100 ml liggen. De meeste distributienetten voldoen hieraan (van der Wielen & van der Kooij, 2011). Echter in een aantal voorzieningsgebieden worden, met name halverwege en aan het eind van de zomer, overschrijdingen aangetroffen (BTO 2015.002).

Infecties met *Aeromonas* veroorzaken meestal diarree en wondinfecties. In het ergste geval kan een infectie echter levensbedreigend zijn. Tot op heden zijn er nog geen overeenkomsten gevonden tussen drinkwaterstammen en patiëntenstammen, waardoor het drinkwater geen belangrijke rol lijkt te spelen bij infecties.

Aeromonas kan bij lage temperaturen groeien als reincultuur in water. In voorzieningsgebieden waarbij bij temperaturen hoger zijn dan 15°C worden vaker overschrijdingen van de wettelijke norm geconstateerd dan in gebieden met lagere watertemperaturen (BTO 2015.002).

Koloniegetal bij 22°C

Het koloniegetal bij 22°C (KG22) is een andere wettelijke parameter voor nagroei in het Nederlandse drinkwater, waarbij het geometrisch jaargemiddelde lager moet zijn dan 100 kve/ml. Uit metingen blijkt dat de waardes in de zomer hoger liggen dan in de winterperiode, waardoor te verwachten is dat het KG22-getal stijgt bij verhoging van de drinkwatertemperatuur. De verwachting is echter niet dat de beperkte temperatuursstijgingen zoals die bij een warmtewisselaar worden verwacht, zullen leiden tot overschrijdingen (BTO 2015.002).

ATP

ATP is een algemene parameter voor de mate van microbiologische activiteit en is niet specifiek voor één micro-organisme. Als het aantal micro-organismen stijgt, zal dit zich vertalen in hogere ATP-waardes.

In paragraaf 2.1.2 zijn een aantal kanttekeningen gemaakt bij de twee voor dit onderzoek geselecteerde locaties. Hieronder zijn de kanttekeningen vanuit microbiologisch perspectief verder toegelicht.

Om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van het effect van een warmtewisselaar (aangesloten op het drinkwaternet) op de microbiologische drinkwaterkwaliteit, zijn zowel water- als biofilmmonsters nodig. De verwachting is namelijk dat mogelijke effecten van de temperatuur vooral aanwezig zullen zijn in de biofilm en in mindere mate in de waterfase. Dit wordt veroorzaakt doordat temperatuurveranderingen een langdurige invloed hebben op de stationaire biofilm en mogelijk slechts een beperkte invloed hebben op het continu doorspoelende water. Als er uitwisseling plaatsvindt van micro-organismen tussen het water en de biofilm, wordt via het water indirect ook de biofilm gemeten.

Voor het nemen van de biofilmmonsters moet echter in de warmtewisselaar of in de aan- en afvoerende leidingen een monster genomen worden, waarbij het bij de meeste warmtewisselaars noodzakelijk is om tijdens de monstername het systeem tijdelijk uit te zetten en leeg te laten lopen. Ondanks een hygiënische werkwijze tijdens monstername kan het systeem vervolgens enkele dagen niet gebruikt worden. Dit is in afwachting van de microbiologische analyses waarmee moet worden uitgesloten dat er tijdens de werkzaamheden een microbiologische besmetting van het water heeft plaatsgevonden. Hiervoor wordt standaard het aantal *E. coli*, *enterococcen* en KG22 bepaald. Deze uitbedrijfname en openen van de leidingen stuitte op praktische problemen bij de

drinkwaterbedrijven. Naast de microbiologische risico's betekent het uit bedrijf halen van de warmtewisselaar dat de afnemers die op het systeem zijn aangesloten geen koude of warmte geleverd krijgen gedurende een aantal dagen.

De huidige systemen zijn niet gebouwd voor dit soort monsternames. Bij de warmtewisselaar in Hoogeveen is besloten om de warmtewisselaar eenmalig in oktober 2016 te openen om bemonstering van de biofilm uit te kunnen voeren. In Culemborg is de biofilm niet bemonsterd en is alleen het water bemonsterd en geanalyseerd.

2.2.2 Aanpak en analysemethoden

Hoogeveen is om meerdere redenen interessant voor microbiologisch onderzoek. In dit systeem wordt er zowel warmte als koude uit het drinkwater onttrokken. Hierdoor wordt het water kouder of warmer, afhankelijk van de vraag van de afnemers.
Het systeem is sinds de inbedrijfname niet gereinigd (mechanisch of chemisch) en heeft niet stilgestaan. In die tijd heeft zich gedurende meerdere jaren een biofilm met een eigen microbiële populatie kunnen vormen. Hoe deze biofilm en microbiële populatie er uit zien en of er opportunistische pathogenen in het water en de biofilm zitten, is niet bekend.
Op drie momenten in de zomer van 2016 en drie momenten in de winter van 2016-2017 zijn er watermonsters genomen voor (monsterkraan 9819 op de bouwtekening in Bijlage V, Figuur 0-8) en na (monsterkraan 9821) de warmtewisselaar (W9800). De biofilm op de platen van warmtewisselaar W9801 en in de afvoerende leiding is bemonsterd op 11 oktober 2016. Hierbij is ook het aan- en afvoerende water bemonsterd uit monsterkranen 9820, respectievelijk 9822. Het monsternameschema is weergegeven in Tabel 2-3.

De warmtewisselaar in Culemborg onttrekt alleen warmte uit het drinkwater. Hierdoor koelt het drinkwater altijd af. Bij afkoeling van het water wordt in principe geen ongunstig effect op het drinkwater verwacht. Echter, gedurende de warme periode is de warmtewisselaar niet in gebruik en staat het water in de warmtewisselaar stil. Om stilstaand water en mogelijke microbiële groei te voorkomen, wordt het water in de warmtewisselaar elke 24 uur gespoeld. Door het spoelen kan de biofilm los gespoeld worden wat een verhoogde biologische activiteit kan geven in het water. Tevens warmt het water gedurende de stilstand dagelijks met 1 – 2 graden op.
De warmtewisselaar wordt elke twee jaar gereinigd met een milde zuuroplossing om kalkafzetting te voorkomen. Deze reiniging wordt uitgevoerd in de zomer, waarbij de reinigingsoplossing wordt gedoseerd aan het water, zonder de installatie te openen. Deze reiniging zou als positief bijeffect kunnen hebben dat een eventueel gevormde biofilm met (nadelige) microbiële populatie afgedood en verwijderd wordt. De reiniging kan echter ook een negatieve invloed hebben, aangezien het dode materiaal in de biofilm kan dienen als voedsel voor de nog levende micro-organismen. Dit kan leiden tot tijdelijke piekconcentraties van micro-organismen en groei van micro-organismen die beter geadapteerd zijn aan hoge concentraties voedingsstoffen. Dit is het geval voor enkele opportunistische pathogenen. Om de invloed van de reiniging op de meetresultaten te beperken is ervoor gekozen om het water te bemonsteren 1 jaar (zomer) en 1,5 jaar (winter) na de laatste reiniging.
Het water voor en na de warmtewisselaar is drie keer in de winter bemonsterd en geanalyseerd, op momenten dat de warmtewisselaar in bedrijf is. De monsternames liggen ongeveer 1 maand uit elkaar. In de zomer is het water voor en na het spoelen bemonsterd. Hierbij is het water na de warmtewisselaar bemonsterd. Geprobeerd is om de monsternames in de zomer zo te plannen dat de warmtewisselaar stil staat en het effect van spoelen op de microbiologische kwaliteit wordt bepaald. Om deze reden zijn de intervallen tussen de monsternames korter vergeleken met de winter. Echter, omdat stilstand van de warmtewisselaar weersafhankelijk is, valt dit niet altijd te voorspellen en was bijvoorbeeld op

9 augustus 2016 door de uitzonderlijk koude nacht de warmtewisselaar in bedrijf. Het monsternameschema is weergegeven in Tabel 2-3.

TABEL 2-3. MONSTERNAME VOOR MICROBIOLOGISCHE ANALYSE VAN DE WARMTEWISSELAARS IN HOOGEVEEN EN IN CULEMBORG

	Hoogeveen	Culemborg
18 juli 2016	Water voor en na de warmtewisselaar	-
8 augustus 2016	Water voor en na de warmtewisselaar	-
9 augustus 2016	-	Eén watermonster (koude nacht, geen stilstand van warmtewisselaar)
12 september 2016	Water voor en na de warmtewisselaar	Water voor en na spoelen (stilstand water gedurende 20 uur)
27 september 2016	-	Water voor en na spoelen (stilstand water gedurende 20 uur)
11 oktober 2016	Water voor en na de warmtewisselaar, biofilm van drie platen en de afvoerende leiding	-
12 december 2016	Water voor en na de warmtewisselaar	Water voor en na de warmtewisselaar
9 januari 2017	Water voor en na de warmtewisselaar	Water voor en na de warmtewisselaar
13 februari 2017	Water voor en na de warmtewisselaar	
14 februari 2017		Water voor en na de warmtewisselaar

Een overzicht van de uitgevoerde microbiologisch en chemische analyses is weergegeven in Tabel 2-4.

TABEL 2-4. UITGEVOERDE MICROBIOLOGISCHE ANALYSES. VAN ELK MICRO-ORGANISME IS AANGEGEVEN WAT DE DETECTIELIMIET IS IN WATER.

Microbiologische parameter	Analysemethode	Detectiegrens
KG22	Kweek	1 kve in 1 ml
Aeromonas	Kweek	1 kve in 100 ml
Legionella spp.	Kweek	1 kve in 100 ml
Pseudomonas aeruginosa	Kweek	1 kve in 100 ml
Aspergillus fumigatus	qPCR	Afhankelijk van rendement van de opwerking
Pseudomonas aeruginosa	qPCR	Afhankelijk van rendement van de opwerking
Legionella pneumophila	qPCR	Afhankelijk van rendement van de opwerking
Stenotrophomonas maltophilia	qPCR	Afhankelijk van rendement van de opwerking
Acanthamoeba spp.	qPCR	Afhankelijk van rendement van de opwerking
ATP	Enzymdetectie	1 ng ATP/l

Chemische parameter	Detectiegrens
Ammonium (NH_4)	0,03 mg/l

Het aantal kweekbare bacteriën bij 22°C (KG22) is bepaald conform NEN-EN-ISO 6222 en protocol LMB-032. Hiervoor is 1 ml monster geïncubeerd op Plate Count Agar (PCA) bij 22°C gedurende 68 uur.

Het aantal *Aeromonas* bacteriën in het water en de biofilm is bepaald conform NEN-ISO 6263 en LMB-022. Hiervoor is 100 ml water gefiltreerd en geïncubeerd op Ampicilline Dextrine Agar (ADA)-medium voor 24 uur bij 30°C.

Legionella bacteriën zijn aangetoond volgens NEN-ISO 6265 en LMB-027. Hiervoor is 100 ml watermonster gefiltreerd en geïncubeerd op Buffered Charcoal Yeast Extract agar (BCYE) bij 36°C gedurende 7 dagen.

Het aantal *Pseudomonas aeruginosa* bacteriën is bepaald conform NEN-ISO 16266 en LMB-038. Van het watermonster is 100 ml gefiltreerd en geïncubeerd op *Pseudomonas* agar base (CN-agar) gedurende 44 uur bij 36°C. Het aantal kolonies is geteld na 22 en 44 uur.

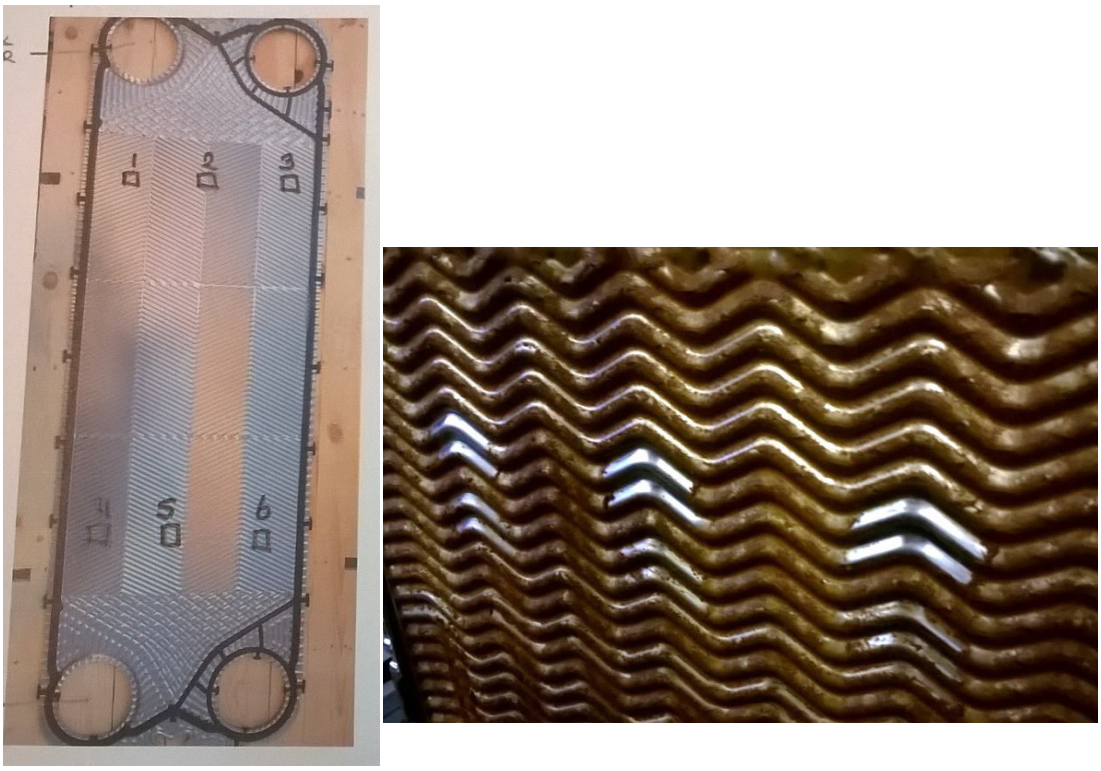
De aantallen genkopieën van *Pseudomonas aeruginosa*, *Aspergillus fumigatus*, *Legionella pneumophila*, *Stenotrophomonas maltophilia* en *Acanthamoeba spp.* zijn bepaald door middel van kwantitatieve PCR (qPCR). Hiervoor is 1000-2000 ml water gefiltreerd en is het filter met daarop de micro-organismen opgeslagen in de vriezer. Aan het eind van de monsternameserie is het DNA van alle water- en biofilmmonster tegelijk geïsoleerd met behulp van de Power Biofilm Kit volgens protocol LMB-069. Het opgewerkte DNA is gebruikt in de qPCR. Hierin worden specifieke stukjes DNA van de micro-organismen vermenigvuldigd en wordt de concentratie bepaald. Voor elk micro-organisme is een eigen combinatie van primers ontwikkeld, zoals beschreven in protocol LMB-065 (*L. pneumophila*, *A. fumigatus*, *P. aeruginosa*) en LMB-068 (*Acanthamoeba spp.*, *S. maltophilia*).

ATP is een energierijke verbinding die in alle levende cellen voorkomt en wordt gebruikt als maat voor de aanwezige hoeveelheid actieve biomassa. De bepaling is gebaseerd op een enzymreactie van luciferine met luciferase die alleen plaats vindt in de aanwezigheid van ATP. Het hierbij geproduceerde licht (in Relatieve Licht Eenheden) wordt omgerekend naar de concentratie ng/l ATP in het watermonster. ATP is bepaald conform NEN-EN 16421:2014.

De ammonium-bepaling is uitgevoerd volgens LAM-036. De ammoniumionen in een watermonster reageren met het natriumhypochloriet en natriumsalicylaat waarbij een groen gekleurde verbinding wordt gevormd. De mate waarin dit gebeurt wordt in een spectrofotometer bij 660 nm bepaald. De detectiegrens is 0,03 mg N/l.

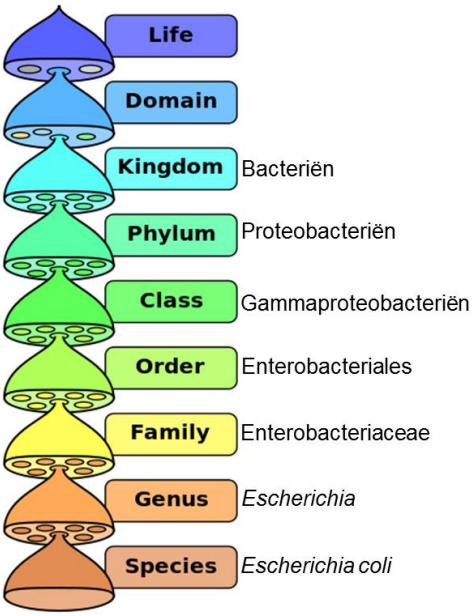
In Hoogeveen is eenmalig de biofilm van drie platen van de warmtewisselaar bemonsterd en één maal van de afvoerende leiding. In Figuur 2-2 is aangegeven welke platen zijn bemonsterd. Van elke warmtewisselaarplaat is drinkwaterzijdig, zowel bovenin als onderin de plaat de biofilm bemonsterd. Om de biofilm van de platen te verwijderen, werd een afgemeten deel met wattenstaafjes geswabt. Hierbij zijn drie stukjes van de plaats geswabt totdat de plaat visueel schoon was (Figuur 2-3). De wattenstaafjes zijn gepoold in steriel leidingwater. De biofilm is losgetrild van de wattenstaafje door vier LES behandelingen, bestaande uit 2 minuten bij een frequentie van 40 kHz.

FIGUUR 2-2. AANZICHT WARMTEWISSELAAR. MET PIJLEN IS AANGEGEVEN VAN WELKE PLATEN DE BIOFILM IS BEMONSTERD



FIGUUR 2-3. BEMONSTERING VAN DE BIOFILM VAN EEN WARMTEWISSELAARPLAAT. LINKS: EEN SCHEMATISCH BEELD VAN DE BEMONSTERING VAN DE WARMTEWISSELAARPLATEN. PER MONSTER IS DE BIOFILM VAN DRIE STUKJES VAN DE PLAAT VERZAMELD: NUMMERS 1, 2 EN 3 ZIJN GEPOOLED (BOVENIN PLAAT) EN NUMMERS 4, 5 EN 6 GEPOOLED (ONDERIN PLAAT). RECHTS: DE WARTMEWISSELAAR PLAAT MET DAAROP DE ROESTKLEURIGE BIOFILM EN HET DEEL DAT IS GESWABT.

Om een gedetailleerd beeld te krijgen van de samenstelling van de microbiële populatie in water en biofilm is gebruik gemaakt van "Microbial Profiling". Dit is een methode waarbij de DNA-sequentie (samenstelling en volgorde van de vier bouwstenen van DNA: A, C, G, T) van een zeer groot aantal individuele DNA-moleculen wordt bepaald met "Next Generation Sequencing" (NGS). Voor het identificeren van de aanwezige bacteriën in een populatie wordt de DNA-sequentie van een deel van het 16S rRNA gen bepaald. Het 16S rRNA gen is aanwezig in alle bacteriën,. Delen van de sequentie van dit gen zijn bij alle bacteriën gelijk (geconserveerde regio's) en andere delen variëren sterk tussen verschillende bacteriegroepen (variabele regio's). De DNA-sequentie van deze variabele regio's wordt gebruikt voor het identificeren van de aanwezige bacteriën, waarbij antwoord wordt gegeven op de vraag welke bacteriegroepen aanwezig zijn. De DNA-sequenties van de individuele DNA-moleculen die via NGS zijn verkregen, worden met behulp van software vergeleken met bekende sequenties uit databases en op basis van deze vergelijking ingedeeld in bacteriële groepen op verschillende taxonomische niveaus. Een voorbeeld van de taxonomische indeling voor de bacteriesoort *Escherichia coli* is weergegeven in Figuur 2-4. Doordat met NGS in één analyse de DNA-sequentie van een groot aantal fragmenten (in dit onderzoek ca. 70.000 per onderzocht monster) kan worden bepaald, is het mogelijk om een vrijwel compleet beeld van de bacteriële samenstelling (microbioom) in een onderzocht water- of biofilmmonster te verkrijgen.



FIGUUR 2-4. TAXONOMISCHE INDELING VAN ORGANISMEN MET *E. COLI* ALS VOORBEELD

Voor het genereren van "Microbial Profiles" met hierin een overzicht van de, in een populatie, aanwezige bacteriële groepen zijn een aantal keuzes gemaakt. Een korte beschrijving van de gemaakte keuzes is hier weergegeven.

Voor het isoleren van DNA is gebruik gemaakt van de PowerBiofilm Kit van MoBio.

Voor het uitvoeren van NGS analyses op een deel van het 16S rRNA gen is een geselecteerd deel van dit gen eerst met behulp van PCR vermeerderd. Voor deze vermeerdering is gebruik gemaakt van synthetische primers waarmee een deel van de variabele v4 regio van het 16S rRNA gen specifiek wordt vermeerderd.

Voor het identificeren van sequenties is gebruik gemaakt van het programma "MOTHUR" (Schloss *et al.*, 2009). Dit programma deelt sequenties in, op basis van 97% sequentieovereenkomst, in groepen ("Operational Taxonomic Units, OTU's). De grens van 97% sequentieovereenkomst wordt veel toegepast als de grens voor het indelen van bacteriën op soortniveau (species, Figuur 2-4). Vervolgens onderzoekt het programma welke DNA-sequenties van bekende bacteriën uit de Silva database (Preusse *et al.*, 2007) het meest overeen komen met de sequenties van de individuele OTU's en gebruikt deze informatie om te bepalen van welke bacteriegroepen de, met NGS bepaalde, DNA-sequenties afkomstig zijn.

2.3 Energetisch, economisch en duurzaamheidsrendement

De duurzame installatie (zie figuur 2.1 rood omlijnd deel) is het belangrijkste onderdeel om te evalueren en beoordelen. Maar ook de piekvoorzieningen kunnen van belang zijn voor de overall beoordeling, want hoeveel CO_2/energie daadwerkelijk wordt bespaard, hangt af van het aandeel waarin het WKD-systeem in de warmte/koelvraag voorziet. Een aanpak waarin alleen de duurzame installatie wordt beschouwd kan ertoe leiden dat een goed werkend WKD-systeem dat maar in een klein deel van de totale energievraag voorziet (bij bijvoorbeeld een groot gebouw) beter uit de verf komt dan een slechter presterend WKD-systeem dat in bijna de volledige energievraag voorziet (van bijv. een klein gebouw) en daarmee dus meer CO_2-uitstoot bespaart. De piekvoorzieningen worden niet meegenomen in de feitelijke beoordeling, maar waar mogelijk wordt wel gekeken hoeveel energie die leveren t.o.v. de energievraag van het gebouw en hoeveel het WKD-systeem levert.

Het evalueren van een energiesysteem wordt gedaan op basis van key performance indicators (KPI's). Voorbeelden van KPI's zijn CO2-reductie, COP, thermische efficiëntie, total cost of ownership (TCO) en life cycle analysis (LCA). Welke KPI kan worden bepaald, is afhankelijk van welke monitoringsdata en referentiekader beschikbaar. In deze paragraaf worden de betekenis en berekeningswijze van de verschillende KPI's toegelicht.

Per WKD-systeem wordt in het betreffende hoofdstuk vastgesteld welke KPI's kunnen worden bepaald op basis van de beschikbare data.

2.3.1 Coëfficiënt of performance

De coëfficiënt of performance (COP) geeft aan hoeveel thermische energie een onderdeel in een klimaatinstallatie levert ten opzichte van de hoeveelheid (duurzame of fossiele) energie die dat onderdeel zelf vraagt. De definitie van de COP is het quotiënt van de geleverde energie en gebruikte energie. De momentane COP varieert sterk en is afhankelijk van optredende vraag naar warmte of koeling en de exergetische waarde van de warmte in de bron.

De warmte die aan het gebouw wordt geleverd door de warmtepomp is gedefinieerd door 2 basisrelaties (Wu, 2009);

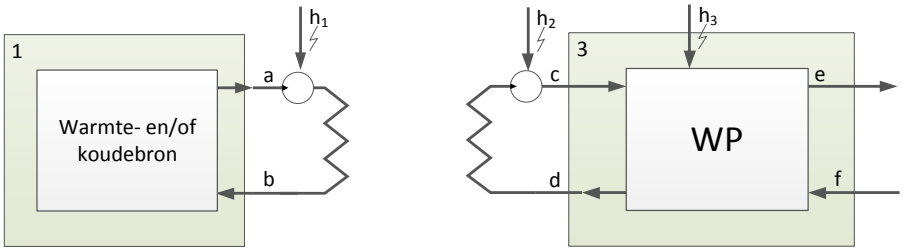
$$P_{wp} = P_{WKD} + P_h \qquad \text{en} \qquad COP_{wp} = \frac{P_{wp}}{P_h} \qquad (0.1)$$

Waarin P_{wp} het vermogen is waarmee de warmtepomp warmte levert aan het gebouw, P_{WKD} het vermogen onttrokken aan het drinkwater, P_h het elektrische vermogen dat door de warmtepomp wordt gebruikt (*h*-subscript = hulpenergie) en COP_{wp} de coëfficiënt of performance van de warmtepomp waarbij is aangenomen dat de compressor van de

warmtepomp 100% efficiënt is. De totale energie (Q_{wp}, [J]) die wordt geleverd door de warmtepomp volgt dan uit:

$$P_{wp} = c_w u \Delta T \quad \text{en} \qquad Q_{wp} = c_w \int_{t_0}^{t} P_{wp} dt = c_w \int_{t_0}^{t} u \Delta T_{ef} dt = c_w V_h \Delta T_{ef} \qquad (0.1)$$

met c_w de warmtecapaciteit van water [4,2 MJ/m³/K], V het jaarlijkse volume water [m³] dat nodig is, ΔT het temperatuur verschil tussen in en uitgaande stroom (T_e, T_f [°C]) (uitgaande dat die min of meer constant is), u het debiet [m³/s] en dt de tijdstap [s]. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de jaargemiddelde COP van de bron en die van de warmtepomp. De componenten die energie verbruiken bepalen daarmee de COP; dat zijn de bronpompen (h_1) en de warmtepomp (h_3) met circulatiepomp (h_2), Figuur 2-5.



FIGUUR 2-5. COP BRON EN WARMTEPOMP.

Uit vergelijkingen (0.1) en (0.1) volgt de jaargemiddelde COP van de warmtepomp:

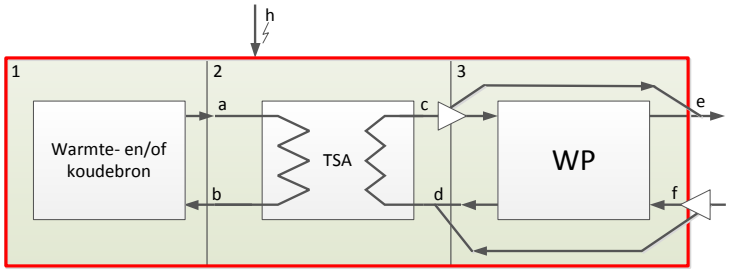
$$COP_{wp} = \frac{Q_{ef}}{h_2 + h_3} \qquad (0.1).$$

In analogie met die voor de warmtepomp is de jaar gemiddelde COP van de bron:

$$COP_{bron} = \frac{Q_{ab}}{h_1} \qquad (0.1).$$

2.3.2 Seizoensmatige prestatie factor

De energieprestatie van de duurzame installatie als geheel wordt inzichtelijk gemaakt met behulp van de seizoensmatige prestatie factor (SPF). Hierbij wordt de gehele duurzame installatie op energieprestatie beoordeeld, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen koel- en verwarmingsbedrijf. Koelen kan veelal direct uit de bron, zeker bij WKD-installaties waar drinkwater wordt bereid uit grondwater. Dit kan door de warmtepomp te passeren met een bypass leiding, zoals weergegeven bij c en f in Figuur 2-6, of met een zeer beperkte inzet van warmtepomp. Daarom zal de gemiddelde COP van een WKD-installatie die voornamelijk koeling levert automatisch hoger liggen dan in het geval de installatie ook warmte levert, terwijl de laatste mogelijk wel beter presteert en/of meer energie bespaart. Om alle systemen recht te doen in de beoordeling wordt daarom onderscheid gemaakt tussen koel- en verwarmingsbedrijf. In Figuur 2-6 is schematisch weergegeven welke onderdelen worden beschouwd.



FIGUUR 2-6. SPF WKD-SYSTEEM.

$$SPF_{koelen} = \sum_{0}^{n} \frac{Q_{ef}}{h} \qquad (0.2)$$

$$SPF_{verwarmen} = \sum_{0}^{n} \frac{Q_{ef}}{h} \qquad (0.3)$$

Waarin *n* het aantal tijdstappen [-] is.

2.3.3 Delta T

De hoeveelheid thermische energie die uit het (ruwe) drinkwater wordt gehaald of erin wordt gestopt wordt uitgedrukt in het temperatuurverschil (ΔT) van het water voor en na de TSA. De grootte van de ΔT geeft vooral een beeld van hoe het WKD-systeem het drinkwater gebruikt als bron en geeft slechts een beperkte indicatie voor de uiteindelijke energiebesparing.

2.3.4 CO_2 uitstoot per geleverde eenheid warmte / koude

Op basis van de monitoringsgegevens kunnen ook de jaarlijks geleverde hoeveelheid energie en vermeden CO_2 uitstoot inzichtelijk worden gemaakt, dit wordt gedaan op basis van de volgende kentallen; rendement ketel = 95%, 1,78 kg CO_2/m^3 aardgas voor verwarmen, COP koelmachine = 3 en 0,464 kg CO_2/kWh elektriciteit voor koelen (CO2emissiefactoren.nl, 2015; Milieu, 2015). Dit resulteert in emissiekentallen voor verwarming en koeling van respectievelijk 214 en 154 kg CO_2/MWh

2.3.5 Total Cost of Ownership

De opties om duurzaamheid te bereiken moeten ook kosteneffectief zijn. Om een goede afweging van de kosteneffectiviteit te maken, zijn de opties beoordeeld op Total Cost of Ownership (TCO). De TCO brengt alle kosten van een bepaalde installatie over een bepaalde looptijd in beeld; de aanschaf, exploitatie, onderhoud en rentekosten.

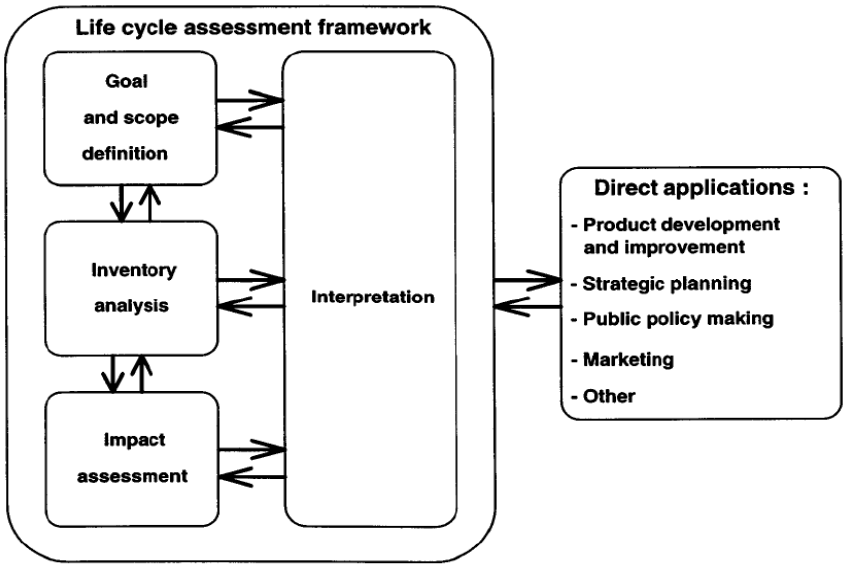
Om de TCO te berekenen is een spreadsheet ontwikkeld. In deze spreadsheet dient eerst een aantal basisuitgangspunten te worden gedefinieerd, vervolgens kan worden ingevoerd welke investeringen gedaan moeten worden, welke bedrijfsvoeringskosten worden verwacht en welke (periodieke) onderhoudskosten worden verwacht. Vervolgens worden hieruit de jaarlijkse kosten berekend. De kosten worden geïndexeerd. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen een algemene inflatiecorrectie en daarnaast een aparte indexering voor kosten voor gas en elektriciteit. Van de jaarlijkse kosten wordt vervolgens de contante waarde berekend en het geheel gesommeerd tot de TCO. In Bijlage II is elke rekenstap van de TCO-berekening in detail beschreven.

2.3.6 Meetbare duurzaamheid met Life Cycle Analysis

Een LCA bekijkt het effect op het milieu van een product of service vanaf het begin (het maken) tot aan het einde (het verwerken). Dit principe wordt ook cradle-to-grave genoemd. Een LCA wordt uitgevoerd door de volgende stappen te volgen (Figuur 2-7):

1. Identificatie van doel en scope van de LCA.
2. Inventarisatie van gegevens (materialen, energieverbruik en dergelijke). Deze gegevens moeten de gehele levenscyclus van het product of service beslaan waarvan de LCA wordt opgesteld. Deze levenscyclus analyse neemt de volgende facetten in aanmerking:
    a. Materiaal gebruik (en het transport van dit materiaal);
    b. Constructie van het product of de service;
    c. Gebruik van het product of de service;
    d. Opruimen van het product of de service;
    e. Afvalverwerking.
3. Bepalen van impact (milieueffect) van het product of de service in termen van hoeveelheid Ecopunten.

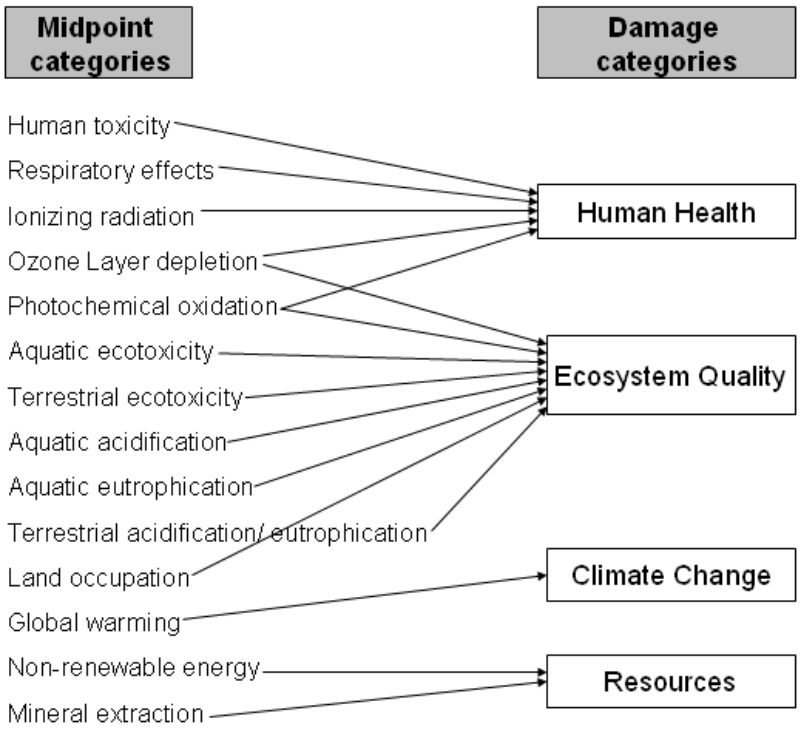
Tijdens de stappen vindt ook interpretatie plaats waardoor eerdere stappen aangepast kunnen worden. Het kan bijvoorbeeld blijken tijdens het inventariseren van gegevens, dat de scope aangepast moet worden.



FIGUUR 2-7. OVERZICHT VAN HET STAPPENPLAN OM EEN LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) UIT TE VOEREN (ISO 14040-2006).

Het milieueffect kan worden bekeken op verschillende schaalniveaus, op midpoint of endpoint (Figuur 2-8). Een midpoint is een algemeen punt, zoals bijvoorbeeld klimaatverandering. Dit midpoint kan verder uitgesplitst worden in verschillende endpoints, zoals effect op overstromingen of afnemende biodiversiteit. Met de verschillende midpoints en endpoints worden meerdere milieueffecten meegenomen, zodat niet alleen de CO_2 uitstoot beschouwd wordt. Deze endpoints worden alle gewogen, volgens een wetenschappelijk vastgestelde methode die toegepast wordt in de SimaPro software, zodat de vergelijking tussen verschillende scenario's gemaakt kan worden op basis van een gestandaardiseerde eenheid. De resultaten van een LCA-analyse worden uitgedrukt in eco-

punten, waarbij 1.000 eco-punten is gedefinieerd als de totale gemiddelde milieu-impact van een West-Europees persoon per jaar.



FIGUUR 2-8. VOORBEELD VAN VERSCHILLENDE MIDPOINTS EN ENDPOINTS (DAMAGE CATEGORIES) WAAR EEN LCA DE MILIEUEFFECTEN VOOR VASTSTELT (SAMSON-BREK ET AL., 2015).

Doel en scope beschrijving
In dit rapport wordt een life cycle assessment analyse uitgevoerd om inzicht te krijgen in milieuaspecten die een rol spelen bij de toepassing van een WKD-systeem in een woonwijk. Hierbij is het conventionele systeem (scenario 0), vergeleken met het innovatieve WKD-systeem (scenario 1). De LCA-analyse is specifiek uitgevoerd voor het WKD-systeem in Culemborg, aangezien alleen voor deze locatie voldoende detailgegevens beschikbaar waren.

Functionele eenheid
Om de duurzaamheidsimpact van elk scenario eerlijk te kunnen vergelijken moet de eenheid, waarover de berekeningen worden gemaakt (de “functionele eenheid”), goed gekozen worden. In dit geval is als functionele eenheid de constructie en het gebruik van de voorzieningen ten behoeve van de warmtevraag van 192 woningen en 8 bedrijfspanden in de wijk Lanxmeer in Culemborg in één jaar. Met de warmtevraag wordt bedoeld warmte en koude die nodig is voor temperatuurbeheersing en de bereiding van warm tapwater. Dus zowel de operationele parameters (gas, energie e.d.), als de infrastructuur (TSA, CV ketels, leidingen, etc.) zijn beschouwd.

Gebruikte methode
Voor deze LCA is gebruik gemaakt van SimaPro 8 software. De achtergrondinformatie hiervoor is afkomstig uit de EcoInvent 3.0 database. De berekeningen zijn uitgevoerd met

ReCiPe Endpoint E V1.10/Europe ReCiPe E/A. Er is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van data die specifiek zijn voor Nederland. Indien deze niet beschikbaar waren is de volgende volgorde toegepast: 1) data voor Europa (RER), 2) Zwitserland (CH), en 3) de rest van de wereld (ROW).

Systeemgrenzen en uitgangspunten
In deze LCA zijn zowel de te bouwen infrastructuur als operationele aspecten bestudeerd voor de WKD-installatie in de wijk Lanxmeer in Culemborg. De gegevens die aan de basis staan voor deze LCA-analyse komen overeen met de Total costs of ownership (TCO).

Belangrijkste systeemgrenzen en uitgangspunten

- Het WKD-systeem van de wijk Lanxmeer in Culemborg.
- De operationele gegevens en benodigde infrastructuur zijn beschreven in Tabel 4-2 van hoofdstuk4. Tabel 2-5 en Tabel 2-6 geven een overzicht van de uitgangspunten voor respectievelijk scenario 0 en 1.
- Het WKD-systeem heeft een verwaarloosbaar effect op de temperatuur van het drinkwater. Daaraan is dan ook geen milieueffect toegekend.
- De kosten m.b.t. tot het onderhouden/schoonmaken van het systeem, zoals verbruik van water en chemicaliën, zijn verwaarloosbaar
- Het ontwerpen en onderzoeken van de scenario's is niet meegenomen als milieu-impact.
- Wanneer een vermogen van een installatie niet overeenkomt met een proces beschikbaar in de database EcoInvent 3.0, is dit conform de prijsratio, zoals toegepast bij de TCO, gecorrigeerd. Deze gegevens met betrekking tot ratio's zijn toegelicht in Bijlage VI.
- De gegevens om de milieu-impact van een TSA-installatie te modelleren in SImaPro zijn gebaseerd op het rapport van Adolfsson en Rashid uit 2016.
- Er is in de basis gerekend met een Nederlandse "production mix" optie voor energieverbruik in Simapro. Deze optie houdt in dat er een marktconforme verhouding wordt toegepast tussen de verschillende bronnen energie, zoals deze in Nederland wordt toegepast.
- Transport van (losse) installaties is niet meegenomen in deze LCA-analyse. (met uitzondering voor de TSA). Een transportafstand (vrachtwagen) van meer dan 1.000 km had een verwaarloosbaar effect op deze scenario's. Er is daarom gekozen om geen gedetailleerde informatie over de eventuele transport afstanden te achterhalen.
- Een detailbeschrijving hoe componenten met betrekking tot de infrastructuur zijn omgerekend naar de functionele eenheid is beschreven in Bijlage VI.

TABEL 2-5 LCA UITGANGSPUNTEN VOOR SCENARIO 0. OP BASIS VAN GEBRUIKS DATA VAN THERMOBELLO (AL DAN NIET OMGEREKEND NAAR BENODIGDE EENHEID0

Gas verbruik huizen	$174 \cdot 10^3$ m³/jaar
Gas verbruik bedrijven	$198 \cdot 10^3$ m³/jaar
Gas verbruik wijk	$372 \cdot 10^3$ m³/jaar
Elektriciteitsverbruik huizen	0 kWh/jaar
Elektriciteitsverbruik bedrijven	209 MWh/jaar
Elektriciteitsverbruik wijk	209 MWh/jaar
Aantal gasketels van 3,0 kW	192 stuks
Aantal gasketels van 101 kW	8 stuks
Lengte gasleiding	4.000 m
Buffertank 2 m³	8 stuks
Droge koeler 56 kW	3 stuks
Droge koeler 28 kW	5 stuks

TABEL 2-6 LCA UITGANGSPUNTEN VOOR SCENARIO 1. OP BASIS VAN GEBRUIKSDATA VAN THERMOBELLO.

Gas verbruik wijk	27,4 m^3/jaar
Elektriciteitsverbruik wijk	796 MWh/jaar
TSA 590 kW	1 stuk
TSA 150 kW	1 stuk
Buffertank 50 m^3	1 stuk
Droge koeler 37,5 kW	4 stuks
Gasketel 250 kW	2 stuks
Warmtenetleiding	4.000 m
Warmte pomp 375 kW	2 stuks
Zonnecollectoren	192 stuks

In de EcoInvent 3.0 database zijn geen geschikte gegevens beschikbaar om de milieu-impact van een TSA te bepalen. Dit proces is opgenomen in deze LCA-analyse zoals beschreven in het rapport van Adolfsson en Rashid uit 2016. Een samenvatting van deze TSA gegevens zijn vermeld in Tabel 2-7. Uit de gegevens, die beschikbaar zijn gesteld in het rapport, kon afgeleid worden dat de beschreven TSA een thermisch vermogen heeft van 520 kW; vervolgens is de hoeveelheid materiaal naar rato aangepast.

TABEL 2-7 KENGETALLEN VOOR GEBRUIKTE TSA SYSTEMEN IN SCENARIO 1.

Parameter	**TSA 590 kW**	**TSA 150 kW**
Staal (ton)	10	2,5
Transport afstand (km)	1.000	1.000
Energie voor productie (MJ/kg staal)	0,8028	0,8028
Energie voor hergebruik (MJ/kg staal)	0,144	0,144

2.3.7 Referentie waarden

Theoretische waarden en/of monitoringswaarden van andere systemen dienen als referentiekader bij de beoordeling. Tabel 2-8 geeft de referentie waarden die in deze studie zijn gehanteerd (Bakirci, 2010; BodemenergieNL, 2015; Ozyurt and Ekinci, 2011; RVO, 2014; Willemsen, 2016; Zarrella et al., 2013).

TABEL 2-8. REFERENTIE WAARDEN VOOR KPI'S

	COP	**SPF (koelen/verwarmen)**	**dT**
	[-]	*[-]*	*[°K]*
Warmtepomp	3 - 6	10 – 20 / 2 – 5	n.a.
Bron	20		2 - 8

Daarnaast kan voor een bepaalde hoeveelheid geleverde energie worden bepaald wat de TCO en LCA zou zijn voor een conventionele installatie. Het rendement van de ketel (COP_{CV}) en koelmachine (COP_{KM}) worden dan gebruik om het energiegebruik voor verwarmen en koelen met een conventionele installatie terug te rekenen;

$$V_{gas} = \frac{Q_{ef}}{COP_{CV}} \cdot f_{gas} \quad \text{en} \quad h_{KM} = \frac{Q_{ef}}{COP_{KM}} \qquad (0.4),$$

met V_{gas} volume gas [m³], f_{gas} de energetische waarde van gas [J/m^3] en h_{KM} de elektriciteit gebruikt door de conventionele installaties.

TABEL 2-9. GEBRUIKTE KENTALLEN VOOR SYSTEEMCOMPONENTEN EN ENERGIESTROMEN

CO2 gas	1.78	kg CO_2/m^3
CO2 electrisch	0.46	kg CO_2/kWh
Warmtecapaciteit water	4.18	kJ/kg/C
heat capacity Water	4180000	$J/m^3/K$
heat capacity aquifer (water-sand combined)	2830000	$J/m^3/K$
Warmtepomp	200	€/kW
Koelmachine-E (water)	130	€/kW
CV ketel-gas	60	€/kW
Droge koeler	80	€/kW
gelaagd buffervat	5000	€/kW
TSA	50	€/kW
Energie-inhoud gas	31.65	MJ/m^3
Tapwater bereiding woningen	10	kWh/m^2 BVO
Tapwater bereiding kantoren	1.5	kWh/m^2 BVO
Opbrengst zonnecollectoren (warmte)	3	MWh/st.
Kosten zonnecollectoren	400	€/kW
COP_{CV}	0.95	-
COP_{KM}	3	-
Leidingen all-in (incl graven/material etc)	###	€/m

2.3.8 Afbakening in de tijd

De jaarlijkse energiebesparing is een belangrijk aspect in de beoordeling van WKD- systemen. Het is daarom van belang om niet alleen de momentane/jaarlijkse energieprestatie inzichtelijk te maken maar ook hoe die prestaties doorwerken gedurende het gebruik van het systeem. Een jaar is de absolute minimale lengte waarover beoordeling moet plaatsvinden, hoe meer jaren hoe beter.

Omdat van te voren niet bekend is hoe lang het WKD-systeem wordt gebruikt, moet er een aanname worden gedaan voor de tijd waarover we de werking van het systeem beoordelen. Hiervoor is de gebruikelijke afschrijvingstermijn voor warmtenetten en gebouwen gehanteerd van 50 jaar.

3 Onderzoek WKD locatie Hoogeveen

3.1 Inleiding

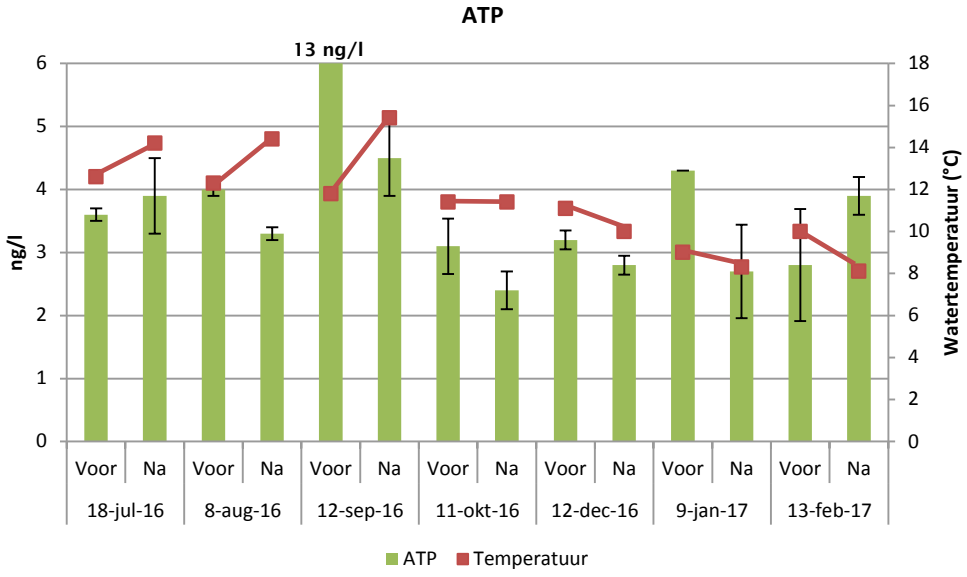
In Hoogeveen worden drie afnemers voorzien van warmte en koude uit drinkwater uit de reinwaterkelder (RWK). Er zijn twee dubbelwandige TSA's parallel gekoppeld aan de uitstroom van de RWK, een deelstroom wordt door de TSA's geleid en teruggevoerd in de RWK. De afnemers bevinden zich op een kilometer afstand van het drinkwaterproductiestation. Via een secundair gesloten circuit wordt warmte van/naar de gebruikers wordt getransporteerd.

3.2 Microbiologische analyse

De monsternames en analyses in Hoogeveen zijn erop gericht om na te gaan of de warmtewisselaar, en dan met name de lokale verandering in de temperatuur, aanleiding geeft tot groei van micro-organismen en zo mogelijk gevaar oplevert voor de volksgezondheid. Om deze reden is in de zomer (water wordt opgewarmd) en in de winter (water word afgekoeld) het water voordat het de warmtewisselaar in stroomt en vlak na het verlaten geanalyseerd. In de warmtewisselaar zelf is de biofilm op de drinkwaterzijdige platen bovenin en onderin bemonsterd en geanalyseerd. Van drinkwater zijn microbiologische referentiewaarden bekend van jarenlange metingen in het Nederlandse drinkwaterdistributienet waar de resultaten uit Hoogeveen mee kunnen worden vergeleken. Voor de biofilm zijn echter geen referentiewaarden beschikbaar. Met de analyses wordt met name vergeleken of het stromen van het water langs een groot oppervlakte met een hogere of lagere temperatuur effect heeft op de biofilm. De ruwe resultaten zijn weergegeven in Bijlage IV.

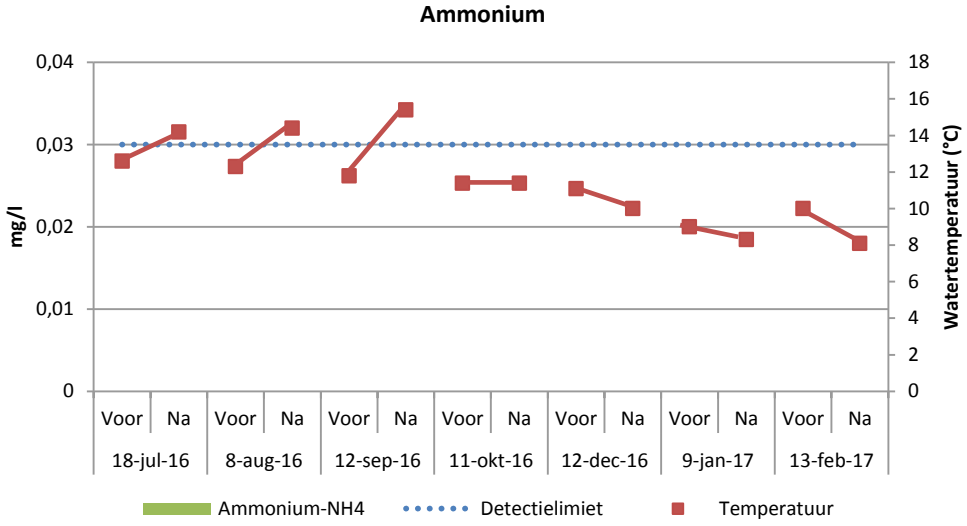
3.2.1 Water

De ATP gehaltes in het drinkwater liggen tussen de 2,4 en 4,5 ng/l, met één uitschieter naar 13 ng/l (Figuur 3-1). Deze waardes komen overeen met gemiddelde waardes in het Nederlandse drinkwater waarbij de ATP gehaltes in drinkwater bereid uit grondwater variëren tussen de 0,5 en 17 ng ATP/l (van der Wielen en van der Kooij; 2010). Uitschieters zoals op 12 september 2016 komen vaker voor in het distributienet. Echter, in dit monster zijn ook hogere aantallen bacteriën gevonden. Navraag bij WMD leert dat op het moment van monstername ook de zandfilters zijn gespoeld wat tot een hoge troebelingsgraad in het rein water heeft geleid. Het ATP gehalte in het water voor en na de warmtewisselaar van Hoogeveen is niet afhankelijk van de temperatuur.



FIGUUR 3-1. ATP CONCENTRATIE (MET SD) IN HET WATER VOOR EN NA DE WARMTEWISSELAAR VAN HOOGEVEEN. DE WATERTEMPERATUUR TIJDENS MONSTERNAME IS WEERGEGEVEN.

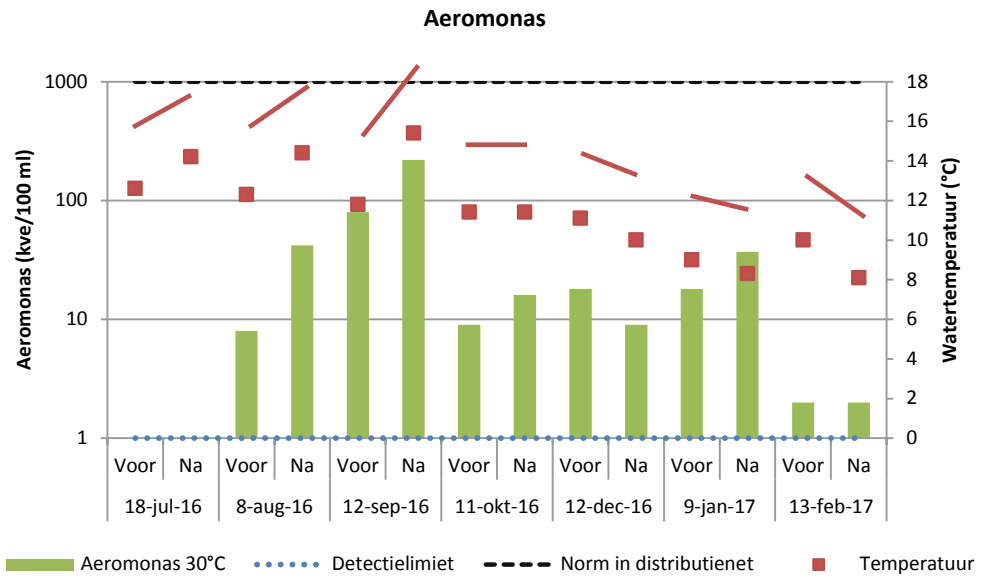
In het water is de ammoniumconcentratie onder de detectielimiet van 0,03 mg/l.



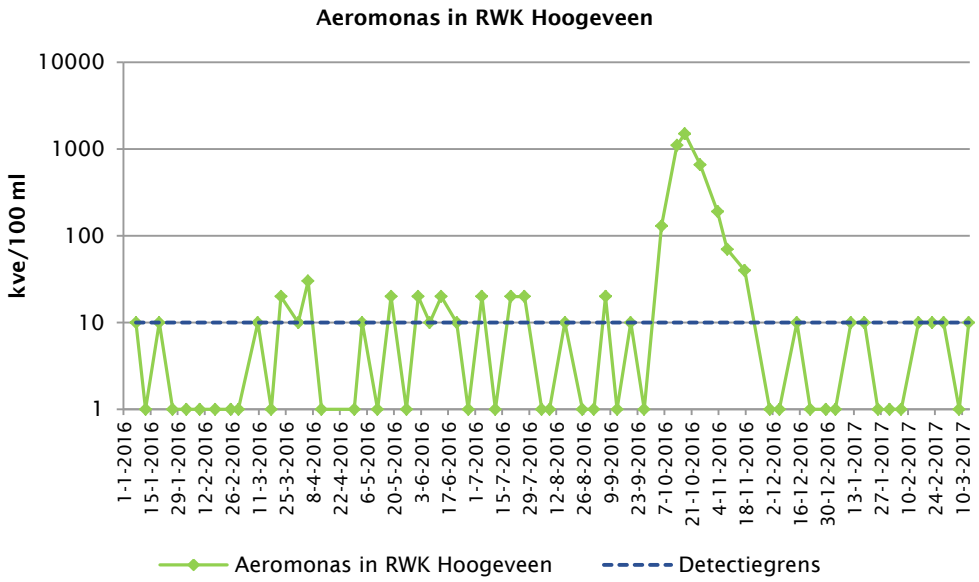
FIGUUR 3-2. AMMONIUM CONCENTRATIE IN HET WATER VOOR EN NA DE WARMTEWISSELAAR VAN HOOGEVEEN. DE WATERTEMPERATUUR TIJDENS MONSTERNAME IS WEERGGEVEN. IN DE WATERMONSTERS WAARIN GEEN AMMONIUM IS GEMETEN, IS DE DETECTIEGRENS GEGEVEN.

In het water van Hoogeveen is zowel voor als na de warmtewisselaar de nagroei-indicator *Aeromonas* aanwezig (FIGUUR 3-3). De aantallen zijn in de zomer hoger dan in de winter, maar *Aeromonas* is wel pas later in de zomer aanwezig (augustus en september). Dit patroon van hogere *Aeromonas* aantallen later in de zomer is vergelijkbaar met andere distributiegebieden.

In de zomer is er een effect van de warmtewisselaar zichtbaar op de aantallen *Aeromonas* in het water. Het water dat de warmtewisselaar verlaat, bevat meer *Aeromonas* dan het water dat de warmtewisselaar in gaat. In de winter is dit effect van de warmtewisselaar niet aanwezig. De stijging van het *Aeromonas* aantal laat zien dat de watertemperatuur in de zomer rond de kritische temperatuur ligt waarbij groei van *Aeromonas* op kan treden. De aantallen in het water liggen wel nog ruim onder de norm van 1000 kve/100 ml. Aangezien het water na de warmtewisselaar terugstroomt naar de reinwaterkelder, wordt het rein water in de kelder verrijkt met water dat hogere aantallen *Aeromonas* bevat. Het is onbekend hoe groot de deelstroom door de warmtewisselaar is ten opzichte van het volume van de reinwaterkelder. Als deze gegevens bekend zijn, kan worden berekend wat de maximale toename in de reinwaterkelder is door de aanvoer van *Aeromonas* uit de warmtewisselaar. De verwachting is dat deze stroom slechts een kleine bijdrage levert. Hoe dan ook zou dit aanleiding kunnen geven tot hogere aantallen in het distributienet wat mogelijk problemen kan veroorzaken. Zo kan bijvoorbeeld de norm van 1000 kve/100 ml makkelijker overschreden worden en kan (meer) Aeromonas aan het sediment in het distributienet hechten en daar een reservoir vormen wat lastig te verwijderen is. Uit gegevens van WMD blijkt dat het *Aeromonas* aantal in de reinwaterkelder van Hoogeveen alleen in de periode van 5 oktober 2016 tot 17 november 2016 sterk verhoogd is en boven de wettelijke norm komt (Figuur 3-4). Het is niet geheel uit te sluiten dat de hogere aantallen vanaf 13 oktober 2016 veroorzaakt worden door het openen van de warmtewisselaar, maar aangezien de stijging duidelijk al op 5 oktober 2016 wordt ingezet, lijkt dit niet waarschijnlijk. Vanuit WMD is niet bekend waardoor deze verhoging veroorzaakt is.
In een eerdere ILT-norm, die inmiddels is vervangen, was een waarde opgenomen voor het *Aeromonas*-aantal in de reinwaterkelder van 20 kve/100 ml. Dit getal staat inmiddels niet meer in de norm, maar geeft wel aan dat ondanks de verrijking met *Aeromonas* de *Aeromonas*-aantallen in de reinwaterkelder in de meeste gevallen op of onder deze norm liggen.

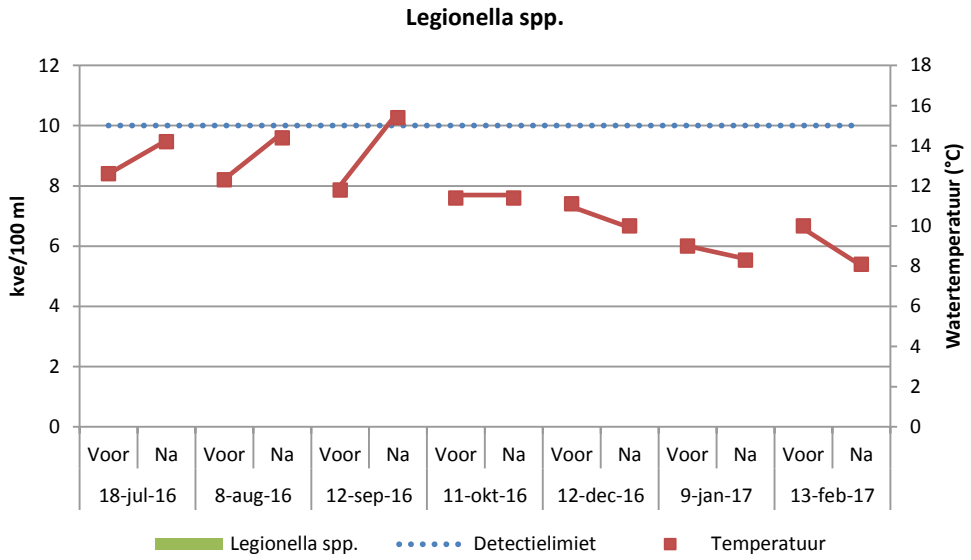


FIGUUR 3-3. AEROMONAS, BEPAALD MET KWEEK, IN HET WATER VOOR EN NA DE WARMTEWISSELAAR VAN HOOGEVEEN. DE WATERTEMPERATUUR TIJDENS MONSTERNAME, DE DETECTIEGRENS EN DE NORM IN HET DISTRIBUTIENET ZIJN GEGEVEN.



FIGUUR 3-4. *AEROMONAS* AANTAL IN DE REINWATERKELDER VAN HOOGEVEEN. GEGEVENS AFKOMSTIG VAN WMD. *AEROMONAS* AANTALLEN VAN <10 KVE/100 ML ZIJN OP '0' GESTELD.

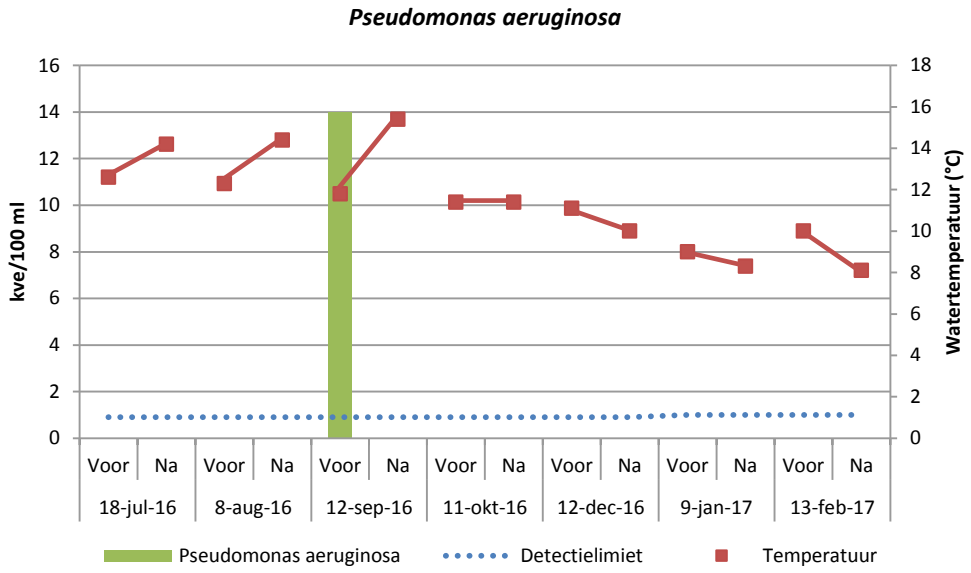
Legionella bacteriën, waaronder *Legionella pneumophila*, worden met de kweekmethode niet aangetroffen in het water (Figuur 3-5). Legionella is niet detecteerbaar en de aantallen liggen onder de detectiegrens van 10 kve/100 ml.



FIGUUR 3-5. *LEGIONELLA SPP.* AANTALLEN, BEPAALD MET KWEEK, IN HET WATER VOOR EN NA DE WARMTEWISSELAAR VAN HOOGEVEEN. DE WATERTEMPERATUUR TIJDENS MONSTERNAME EN DE DETECTIEGRENS ZIJN GEGEVEN.

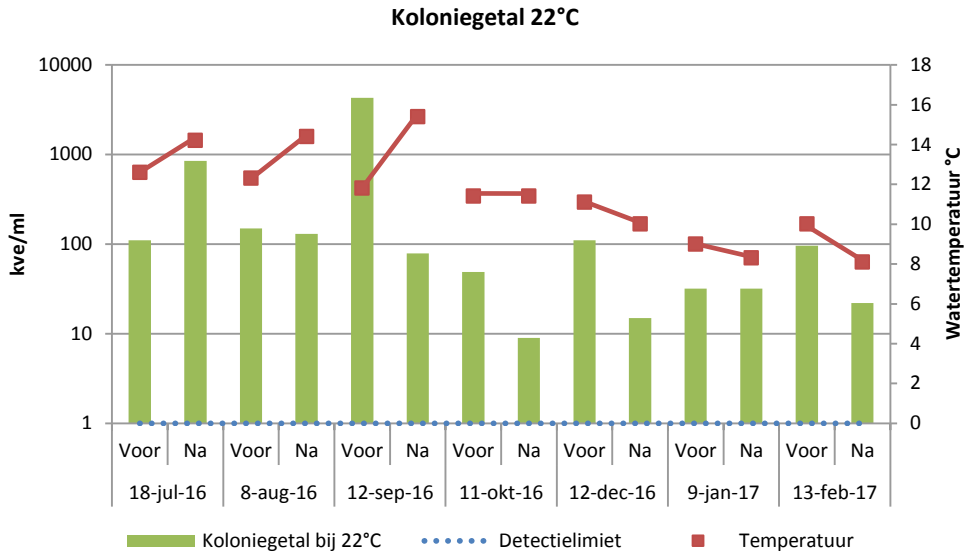
Kweekbare *P. aeruginosa* bacteriën worden op één monsternamemoment (voor de warmtewisselaar, 12 september 2016) aangetroffen in het water (Figuur 3-6). In dit watermonster zijn meerdere microbiologische waardes verhoogd: ATP (Figuur 3-1), KG22

(*FIGUUR 3-7*), *Acanthamoebe* (Figuur 3-10), *S. maltophilia* (Figuur 3-11) en *P. aeruginosa* zoals bepaald met qPCR (Figuur 3-12). Dit is zeer waarschijnlijk veroorzaakt door een filterspoeling van de zandfilter bij Hoogeveen tegelijk met de monstername. De hoge aantallen van deze micro-organismen wordt aangetroffen in het water voor de warmtewisselaar, dus de hoge aantallen worden niet veroorzaakt door de warmtewisselaar.



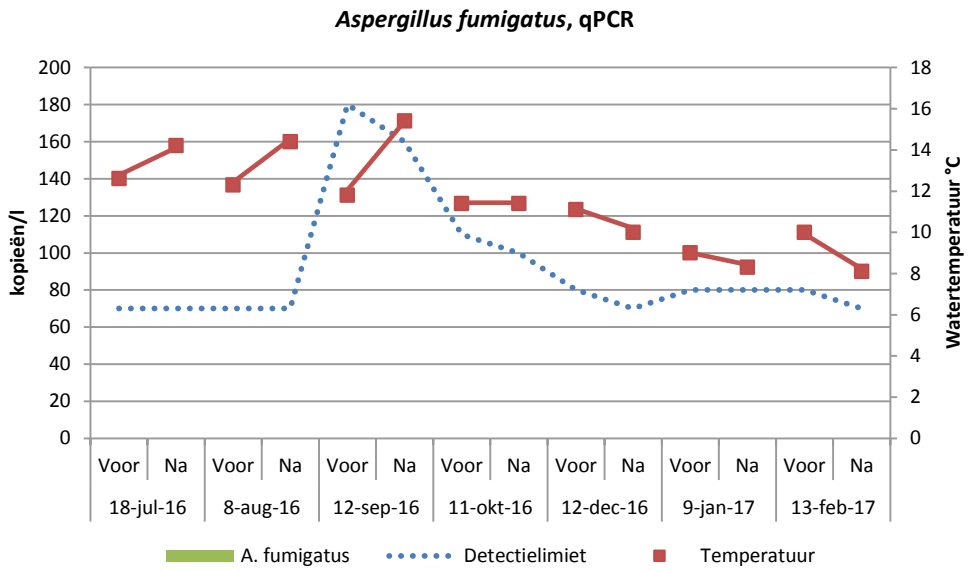
FIGUUR 3-6. *PSEUDOMONAS AERUGINOSA* AANTALLEN, BEPAALD MET KWEEK, IN HET WATER VOOR EN NA DE WARMTEWISSELAAR VAN HOOGEVEEN. DE WATERTEMPERATUUR TIJDENS MONSTERNAME EN DE DETECTIEGRENS ZIJN GEGEVEN.

In de zomerperiode zijn de KG22-aantallen hoger dan in de winter (*FIGUUR 3-7*). Er is geen effect van de warmtewisselaar zichtbaar op de aantallen.

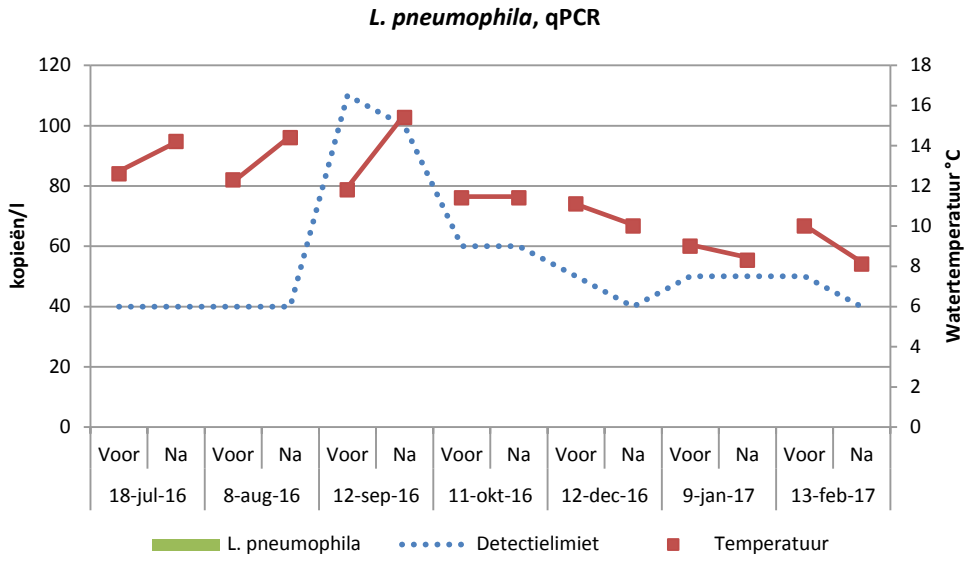


FIGUUR 3-7. KG22, BEPAALD MET KWEEK, IN HET WATER VOOR EN NA DE WARMTEWISSELAAR VAN HOOGEVEEN. DE WATERTEMPERATUUR TIJDENS MONSTERNAME EN DE DETECTIEGRENS ZIJN GEGEVEN.

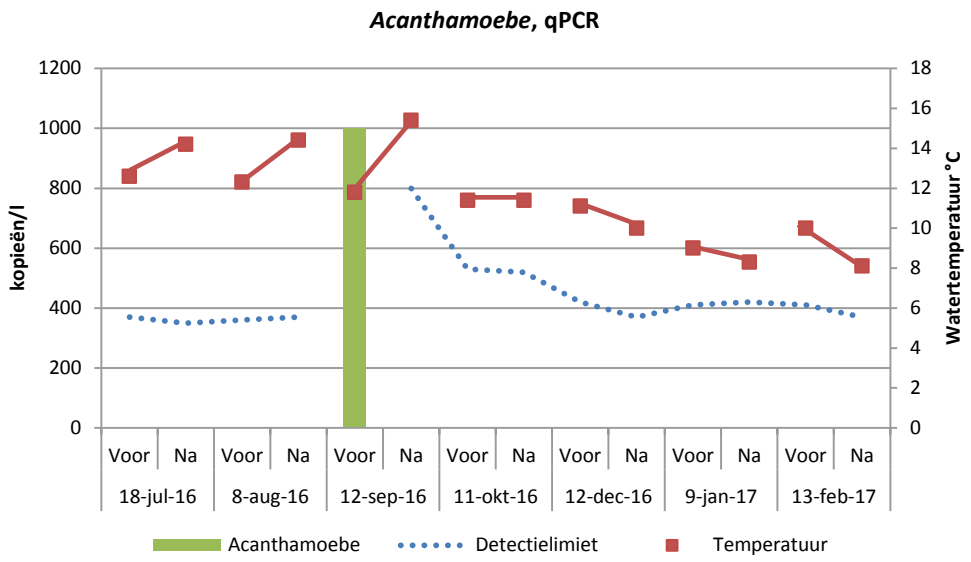
De schimmel *Aspergillus fumigatus* (Figuur 3-8) en de bacterie *L. pneumophila* (*FIGUUR 3-9*) worden met de qPCR methode niet aangetroffen in het water.



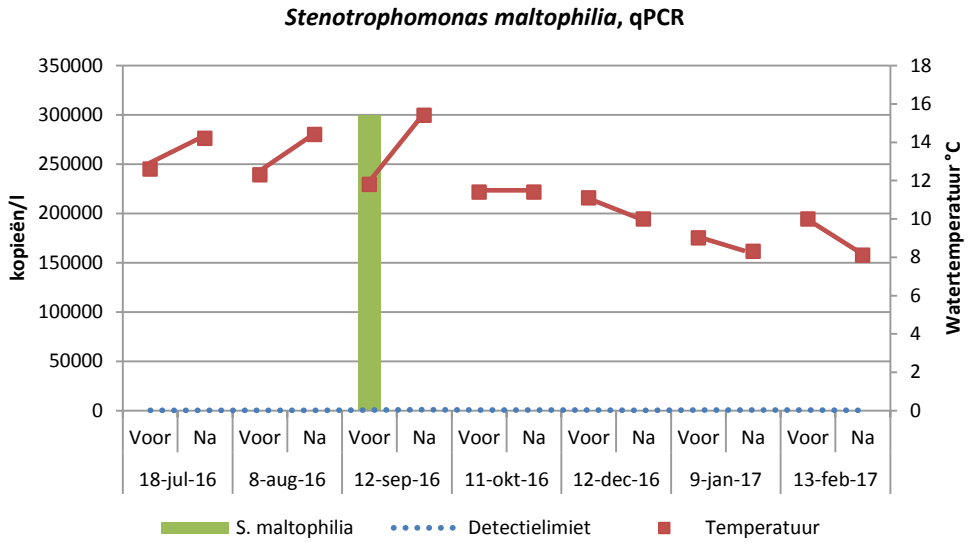
FIGUUR 3-8. *ASPERGILLUS FUMIGATUS*, BEPAALD MET QPCR, IN HET WATER VOOR EN NA DE WARMTEWISSELAAR VAN HOOGEVEEN. DE WATERTEMPERATUUR TIJDENS MONSTERNAME EN DE DETECTIEGRENS ZIJN GEGEVEN.



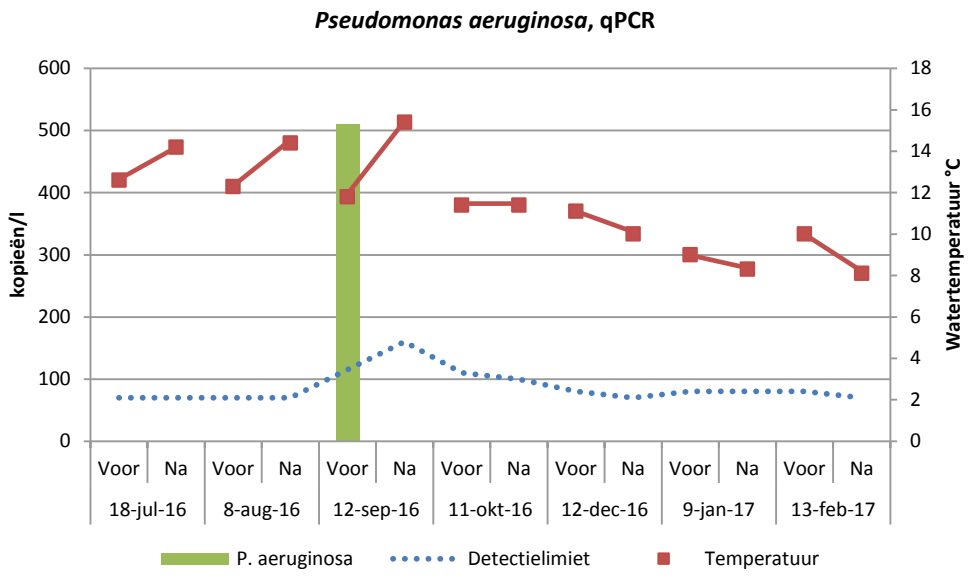
FIGUUR 3-9. LEGIONELLA PNEUMOPHILA, BEPAALD MET QPCR, IN HET WATER VOOR EN NA DE WARMTEWISSELAAR VAN HOOGEVEEN. DE WATERTEMPERATUUR TIJDENS MONSTERNAME EN DE DETECTIEGRENS ZIJN GEGEVEN.



FIGUUR 3-10. *ACANTHAMOEBE*, BEPAALD MET QPCR, IN HET WATER VOOR EN NA DE WARMTEWISSELAAR VAN HOOGEVEEN. DE WATERTEMPERATUUR TIJDENS MONSTERNAME EN DE DETECTIEGRENS ZIJN GEGEVEN.



FIGUUR 3-11. *STENOTROPHOMONAS MALTOPHILIA*, BEPAALD MET QPCR, IN HET WATER VOOR EN NA DE WARMTEWISSELAAR VAN HOOGEVEEN. DE WATERTEMPERATUUR TIJDENS MONSTERNAME EN DE DETECTIEGRENS ZIJN GEGEVEN.



FIGUUR 3-12. *PSEUDOMONAS AERUGINOSA*, BEPAALD MET QPCR, IN HET WATER VOOR EN NA DE WARMTEWISSELAAR VAN HOOGEVEEN. DE WATERTEMPERATUUR TIJDENS MONSTERNAME EN DE DETECTIEGRENS ZIJN GEGEVEN.

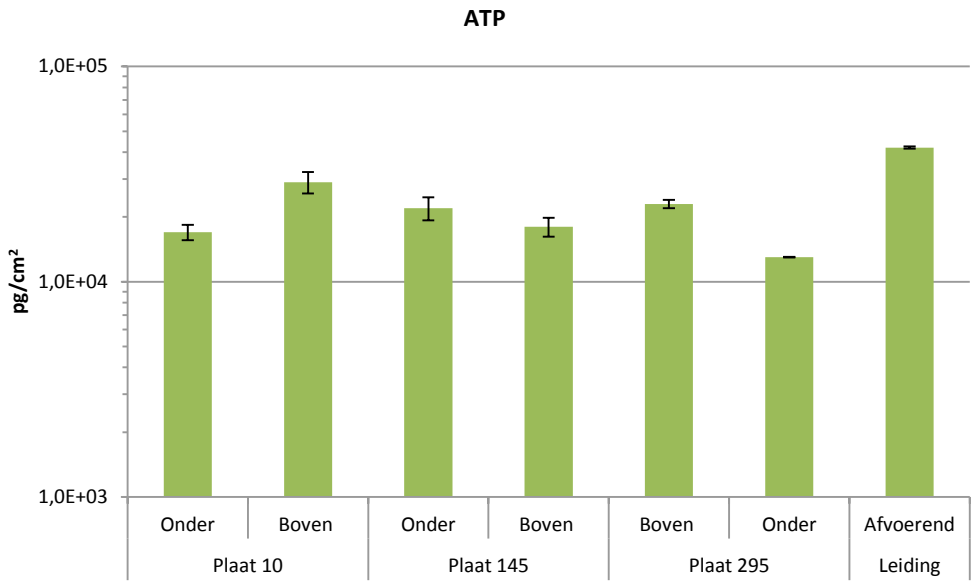
3.2.2 **Biofilm**

Het ATP-gehalte in de biofilm van de warmtewisselaarplaten is met 1 - 3x10^4 pg/cm^2 hoger (Figuur 3-13) dan in bijvoorbeeld (leiding)materialen zoals PVC-C waarvan het ATP gehalte ongeveer 10^2 pg/cm^2 bedraagt. Dit wijst erop dat er veel biofilmvorming plaatsvindt op de platen van de warmtewisselaar. Het lage ATP-gehalte in het water (Figuur 3-1) suggereert echter dat er maar weinig uitwisseling plaats vindt van micro-organismen tussen de biofilm en het water. De potentie van het materiaal van vergelijkbare warmtewisselaarplaten (RVS 316 en de rubberen sluitingsmaterialen van EPDM) om een biofilm te groeien is laag. Het is onduidelijk waar de sterke mate van biofilmvorming door wordt veroorzaakt. Een mogelijkheid is dat door de structuur van de platen en de relatief lage stromingssnelheden in de warmtewisselaar veel deeltjes worden ingevangen die voedingsstoffen bevatten en waaraan zich moeilijk afbreekbare stoffen hechten. In het distributiesysteem worden deze deeltjes niet geïmmobiliseerd, maar mogelijk gebeurt dat hier wel en worden de voedingsstoffen door micro-organismen afgebroken wat leidt tot een relatief hoge ATP-concentratie. Aanvullend onderzoek met uitgebreide analyses aan de biologische stabiliteit zijn echter nodig om hier uitspraak over te kunnen doen.

Er is geen duidelijk verschil in ATP-concentratie tussen de verschillende locaties op de warmtewisselaarplaten. Gezien de kleine temperatuurverschillen in het water, en dus ook op de platen, is er ook weinig effect te verwachten op de totale biomassa. De afvoerende leiding heeft de hoogste ATP concentratie met 4,2x10^4 pg/cm^2. Hier komt al het water uit de warmtewisselaar samen, maar het is op basis van de uitgevoerde metingen onduidelijk wat de oorzaak is van deze hoge ATP-concentratie. Hiervoor is aanvullend onderzoek nodig waarin bijvoorbeeld met biologische stabiliteitsmetingen de groeipotentie van het water voor en na de warmtewisselaar wordt bepaald.

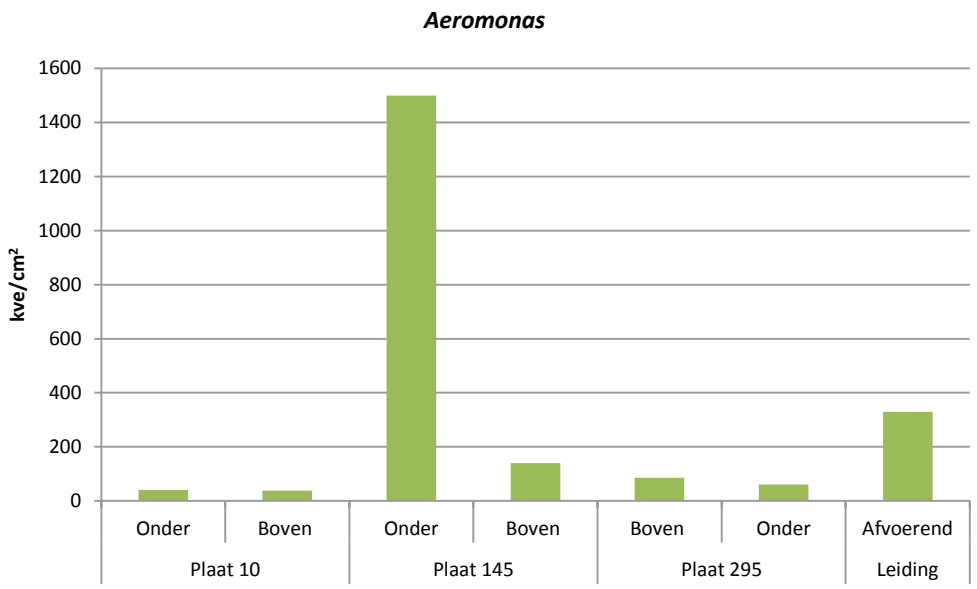
Hydraulische verstoringen kunnen mogelijk leiden tot het loskomen van de biofilm van de platen, waardoor biofilmdelen in het water terecht komen wat tot bijvoorbeeld nagroei-

problemen in het distributienet kan leiden.



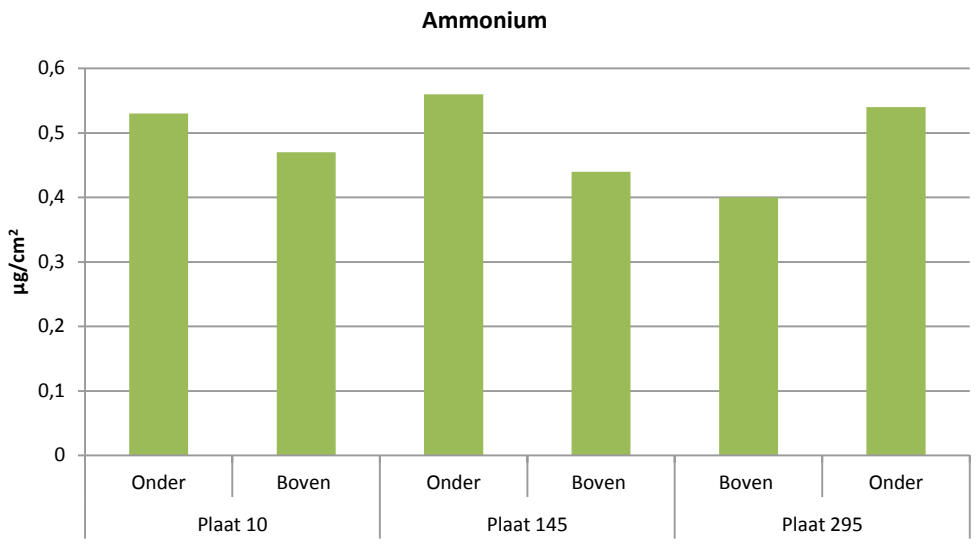
FIGUUR 3-13. ATP, MET SD, IN DE BIOFILM VAN DE WARMTEWISSELAAR VAN HOOGEVEEN. DE RESULTATEN ZIJN WEERGEGEVEN IN DE STROOMRICHTING. BIJ PLATEN 10 EN 145 IS DE STROMING VAN ONDER NAAR BOVEN, BIJ PLAAT 295 VAN BOVEN NAAR BENEDEN.

De *Aeromonas* aantallen in de biofilm zijn op alle platen gelijk en niet sterk verhoogd (Figuur 3-14). Uitzondering is plaat 145, onderin, met een *Aeromonas* aantal dat 10 - 30x hoger is. Ook hier zijn de aantallen in de afvoerende leiding hoger dan de waardes op de afzonderlijke platen. Er bestaan geen referentiewaarden voor *Aeromonas* in een drinkwaterbiofilm. Daarom is niet aan te geven of het *Aeromonas*-aantal significant verhoogd is. Uit eerdere onderzoeken is gebleken dat *Aeromonas* voornamelijk geassocieerd is met deeltjes en meestal niet wordt aangetroffen in de biofilm op de buiswand. De aanwezigheid van *Aeromonas* in de biofilm van de warmtewisselaar duidt er op dat er deeltjes in de biofilm aanwezig zijn. Dit komt overeen met de eerdere hypothese dat het hoge ATP-gehalte in de biofilm mogelijk wordt veroorzaakt door het invangen van deeltjes met voedingsstoffen in de biofilm. Op twee van de drie warmtewisselaarplaten is er geen verschil tussen de monsters boven en onderin. Uitzondering is onderin plaat 145. Vervolgonderzoek zou aan moeten tonen of deze plaat structureel hogere *Aeromonas*-aantallen heeft, of dat het hier om een uitbijter gaat.



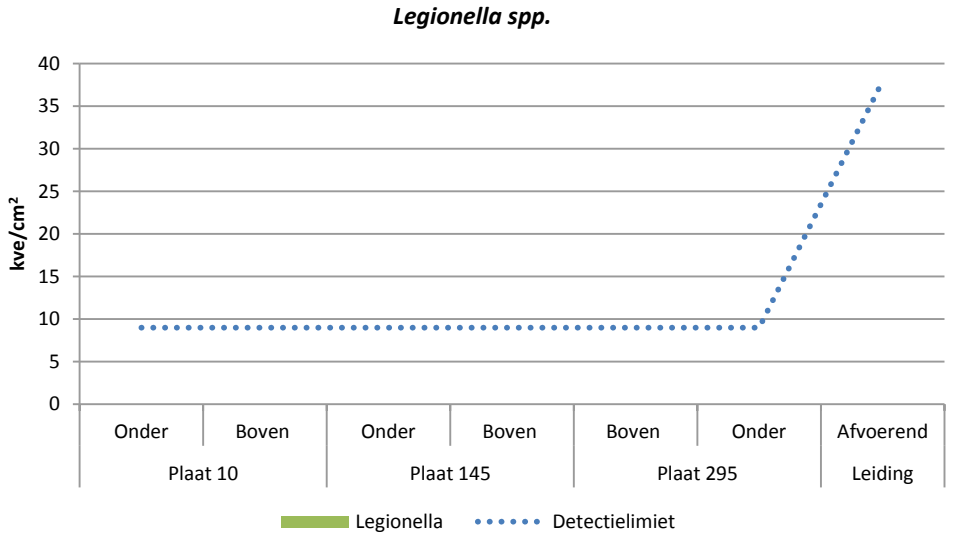
FIGUUR 3-14. *AEROMONAS*, BEPAALD MET KWEEK, IN DE BIOFILM VAN DE WARMTEWISSELAAR VAN HOOGEVEEN. DE RESULTATEN ZIJN WEERGEGEVEN IN DE STROOMRICHTING. BIJ PLATEN 10 EN 145 IS DE STROMING VAN ONDER NAAR BOVEN, BIJ PLAAT 295 VAN BOVEN NAAR BENEDEN.

Waar ammonium niet aanwezig bleek in het water, is het wel aanwezig in de biofilm (Figuur 3-15). Voor alle platen geldt dat onderin de plaat de ammoniumconcentratie het hoogst is, al is de stroomrichting niet gelijk tussen de platen (plaat 10 en 145: stroming van onder naar boven; bij plaat 295 andersom). Op basis van deze analyse is niet duidelijk of het ammonium afkomstig is uit micro-organismen die zich in de biofilm bevinden en wordt vrijgemaakt tijdens de opwerking, of dat het om vrij ammonium in de biofilm gaat.

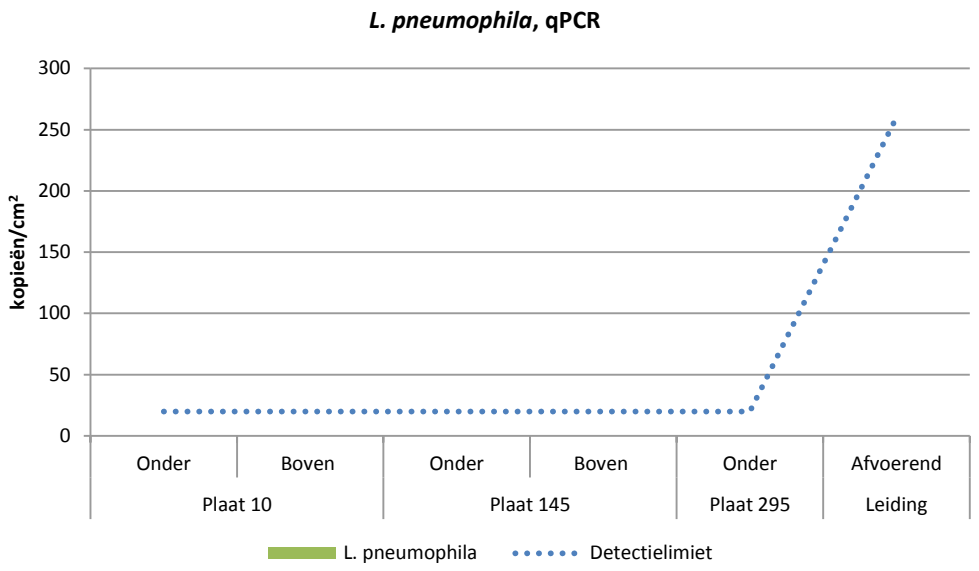


FIGUUR 3-15. AMMONIUM IN DE BIOFILM VAN DE WARMTEWISSELAAR VAN HOOGEVEEN. HET AMMONIUMGEHALTE IN DE AFVOERENDE LEIDING IS NIET BEPAALD. DE RESULTATEN ZIJN WEERGEGEVEN IN DE STROOMRICHTING. BIJ PLATEN 10 EN 145 IS DE STROMING VAN ONDER NAAR BOVEN, BIJ PLAAT 295 VAN BOVEN NAAR BENEDEN.

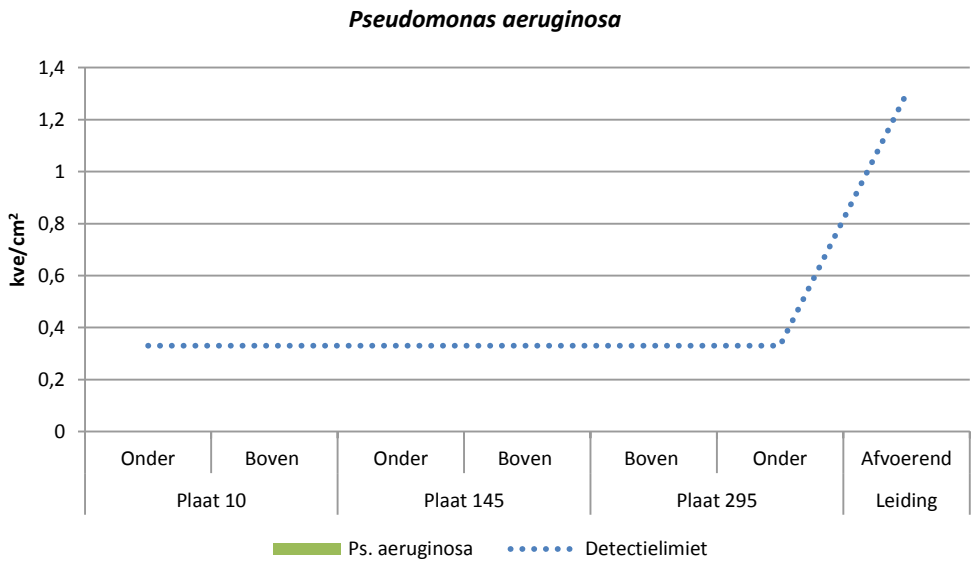
Met de kweekmethode zijn er geen *Legionella*bacteriën aangetroffen in de biofilm (FIGUUR 3-16). Ook is er geen DNA van *L. pneumophila* (Figuur 3-17) aanwezig. Hetzelfde geldt voor kweekbare *P. aeruginosa* bacteriën (Figuur 3-18) en het DNA van *P. aeruginosa* (Figuur 3-19). Voor deze micro-organismen zijn geen referentiewaarden of officiële normen in de biofilm beschikbaar.



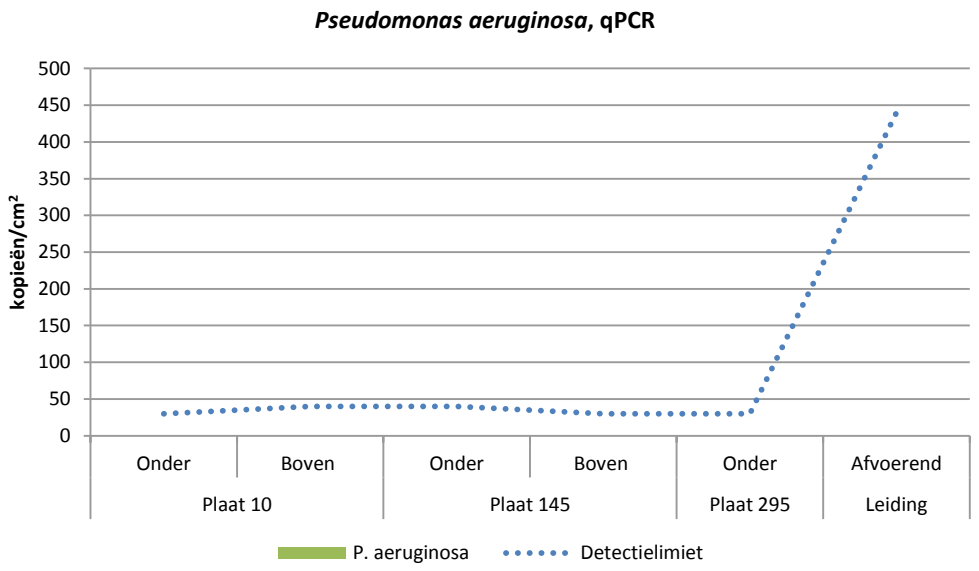
FIGUUR 3-16. LEGIONELLA SPP., BEPAALD MET KWEEK, IN DE BIOFILM VAN DE WARMTEWISSELAAR VAN HOOGEVEEN. DE DETECTIEGRENS IS GEGEVEN. DE RESULTATEN ZIJN WEERGEGEVEN IN DE STROOMRICHTING. BIJ PLATEN 10 EN 145 IS DE STROMING VAN ONDER NAAR BOVEN, BIJ PLAAT 295 VAN BOVEN NAAR BENEDEN.



FIGUUR 3-17. *LEGIONELLA PNEUMOPHILA*, BEPAALD MET QPCR, IN DE BIOFILM VAN DE WARMTEWISSELAAR VAN HOOGEVEEN. PLAAT 295, BOVEN, IS NIET GEANALYSEERD. DE DETECTIEGRENS IS GEGEVEN. DE RESULTATEN ZIJN WEERGEGEVEN IN DE STROOMRICHTING. BIJ PLATEN 10 EN 145 IS DE STROMING VAN ONDER NAAR BOVEN, BIJ PLAAT 295 VAN BOVEN NAAR BENEDEN.



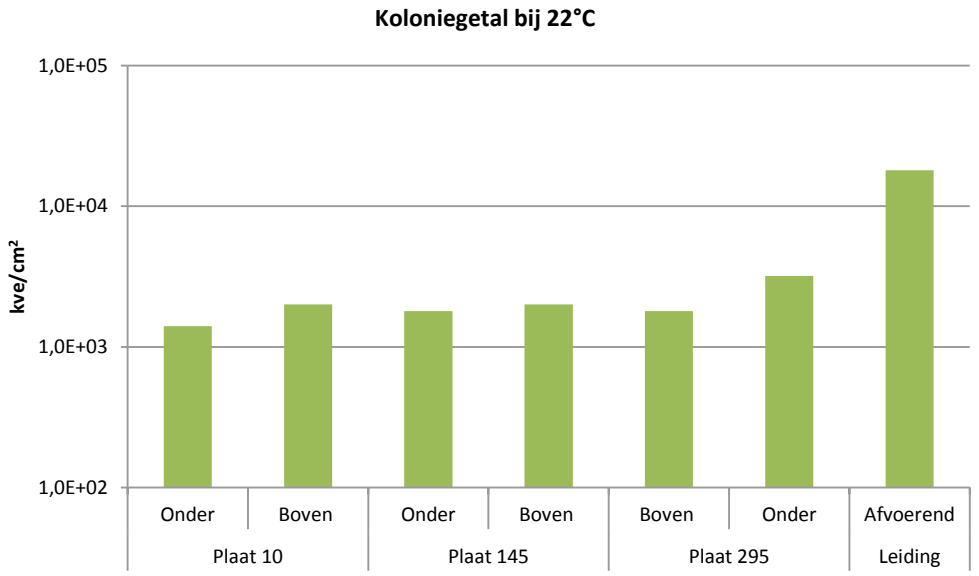
FIGUUR 3-18. *PSEUDOMONAS AERUGINOSA*, BEPAALD MET KWEEK, IN DE BIOFILM VAN DE WARMTEWISSELAAR VAN HOOGEVEEN. DE DETECTIEGRENS IS GEGEVEN. DE RESULTATEN ZIJN WEERGEGEVEN IN DE STROOMRICHTING. BIJ PLATEN 10 EN 145 IS DE STROMING VAN ONDER NAAR BOVEN, BIJ PLAAT 295 VAN BOVEN NAAR BENEDEN.



FIGUUR 3-19. *PSEUDOMONAS AERUGINOSA*, BEPAALD MET QPCR, IN DE BIOFILM VAN DE WARMTEWISSELAAR VAN HOOGEVEEN. PLAAT 295, BOVEN, IS NIET GEANALYSEERD. DE DETECTIEGRENS IS GEGEVEN. DE RESULTATEN ZIJN WEERGEGEVEN IN DE STROOMRICHTING. BIJ PLATEN 10 EN 145 IS DE STROMING VAN ONDER NAAR BOVEN, BIJ PLAAT 295 VAN BOVEN NAAR BENEDEN.

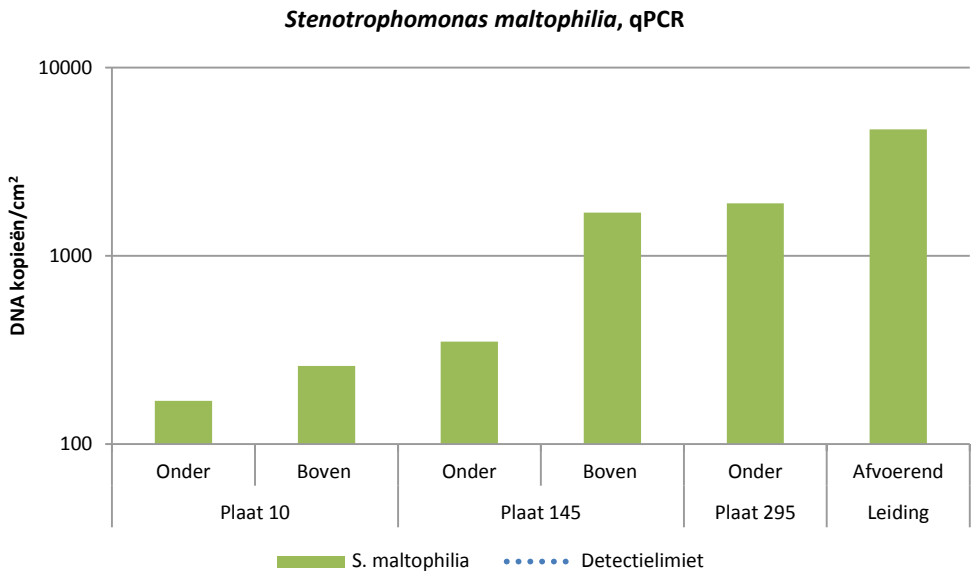
Het KG22-aantal is gelijk voor alle platen en ligt net boven de 10^3 kve/cm^2 (

FIGUUR 3-20). Voor deze parameter zijn geen referentiewaarden bekend. Er lijkt geen effect van de warmtewisselaar zichtbaar. De aantallen in de afvoerende leiding liggen ongeveer 1 log hoger, eenzelfde patroon als te zien is voor de *Aeromonas*-aantallen en ATP-concentratie.



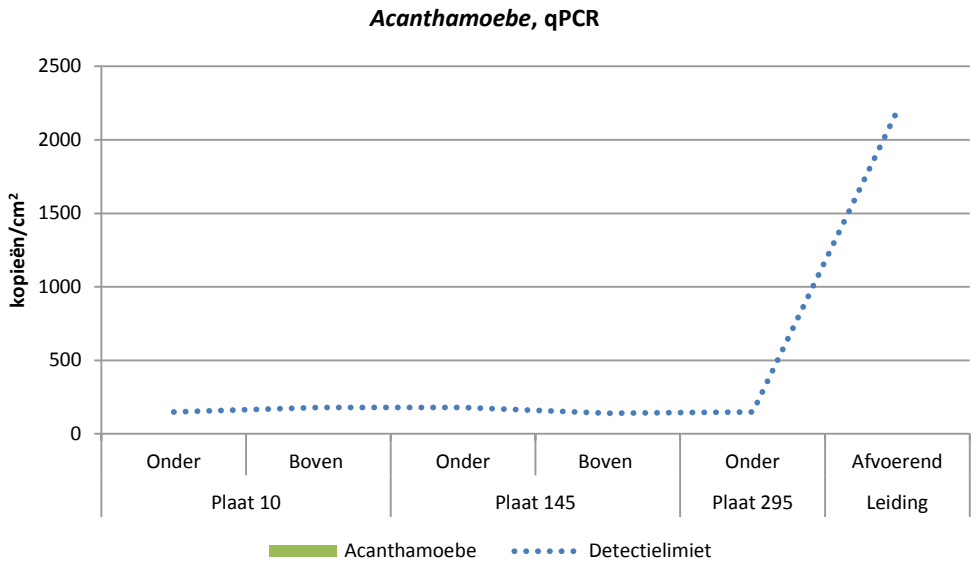
FIGUUR 3-20. KG22, BEPAALD MET KWEEK, IN DE BIOFILM VAN DE WARMTEWISSELAAR VAN HOOGEVEEN. DE RESULTATEN ZIJN WEERGEGEVEN IN DE STROOMRICHTING. BIJ PLATEN 10 EN 145 IS DE STROMING VAN ONDER NAAR BOVEN, BIJ PLAAT 295 VAN BOVEN NAAR BENEDEN.

S. maltophilia is de enige opportunistische pathogeen die op elke plaat van de warmtewisselaar, en in de afvoerende leiding, is aangetroffen (Figuur 3-21). Er is een trend zichtbaar tussen de *S. maltophilia* aantallen en de stroomrichting. De biofilmmonsters die aan het begin van de warmtewisselaar zijn genomen hebben het laagste niveau. Hoe verder in de warmtewisselaar de biofilm is bemonsterd, hoe hoger de *S. maltophilia* aantallen. Aangezien het water verder in de warmtewisselaar steeds warmer wordt, is er mogelijk een relatie met de temperatuur. Echter, de exacte temperatuurverschillen tussen de onderkant en bovenkant van de plaat zijn niet bekend. De verschillen zijn zeer waarschijnlijk beperkt gezien de maximale temperatuurstijging na passage van de warmtewisselaar van 3,6°C is in onze metingen.

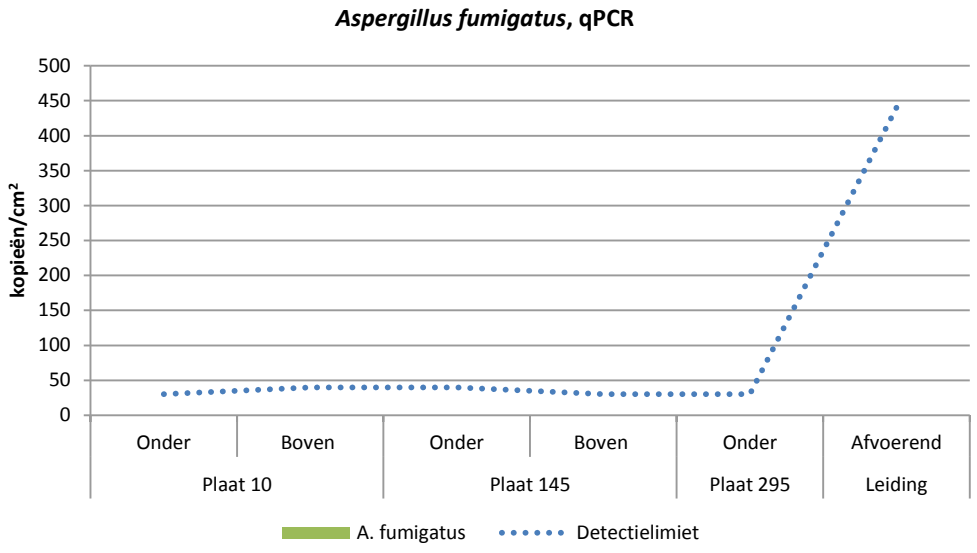


FIGUUR 3-21. *STENOTROPHOMONAS MALTOPHILIA*, BEPAALD MET QPCR, IN DE BIOFILM VAN DE WARMTEWISSELAAR VAN HOOGEVEEN. PLAAT 295, BOVEN, IS NIET GEANALYSEERD. DE RESULTATEN ZIJN WEERGEGEVEN IN DE STROOMRICHTING. BIJ PLATEN 10 EN 145 IS DE STROMING VAN ONDER NAAR BOVEN, BIJ PLAAT 295 VAN BOVEN NAAR BENEDEN.

In de biofilm van de warmtewisselaarplaten is geen *Acanthamoeba* (Figuur 3-22) en *A. fumigatus* (Figuur 3-23) aangetroffen met de qPCR methode. Deze micro-organismen zijn of afwezig of de concentratie is zo laag dat deze onder de detectiegrens ligt.



FIGUUR 3-22. *ACANTHAMOEBA*, BEPAALD MET QPCR, IN DE BIOFILM VAN DE WARMTEWISSELAAR VAN HOOGEVEEN. PLAAT 295, BOVEN, IS NIET GEANALYSEERD. DE DETECTIEGRENS IS GEGEVEN. DE RESULTATEN ZIJN WEERGEGEVEN IN DE STROOMRICHTING. BIJ PLATEN 10 EN 145 IS DE STROMING VAN ONDER NAAR BOVEN, BIJ PLAAT 295 VAN BOVEN NAAR BENEDEN.



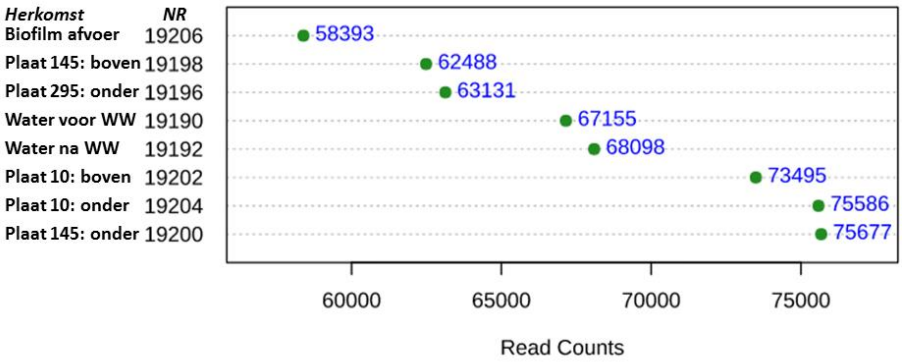
FIGUUR 3-23. *ASPERGILLUS FUMIGATUS*, BEPAALD MET QPCR, IN DE BIOFILM VAN DE WARMTEWISSELAAR VAN HOOGEVEEN. PLAAT 295, BOVEN, IS NIET GEANALYSEERD. DE DETECTIEGRENS IS GEGEVEN. DE RESULTATEN ZIJN WEERGEGEVEN IN DE STROOMRICHTING. BIJ PLATEN 10 EN 145 IS DE STROMING VAN ONDER NAAR BOVEN, BIJ PLAAT 295 VAN BOVEN NAAR BENEDEN.

3.2.3 Bacterial profiling van water en biofilm

Om een indruk te krijgen van de invloed van de warmtewisselaar op de samenstelling van de bacteriële gemeenschap in water en biofilm zijn er analyses uitgevoerd op:

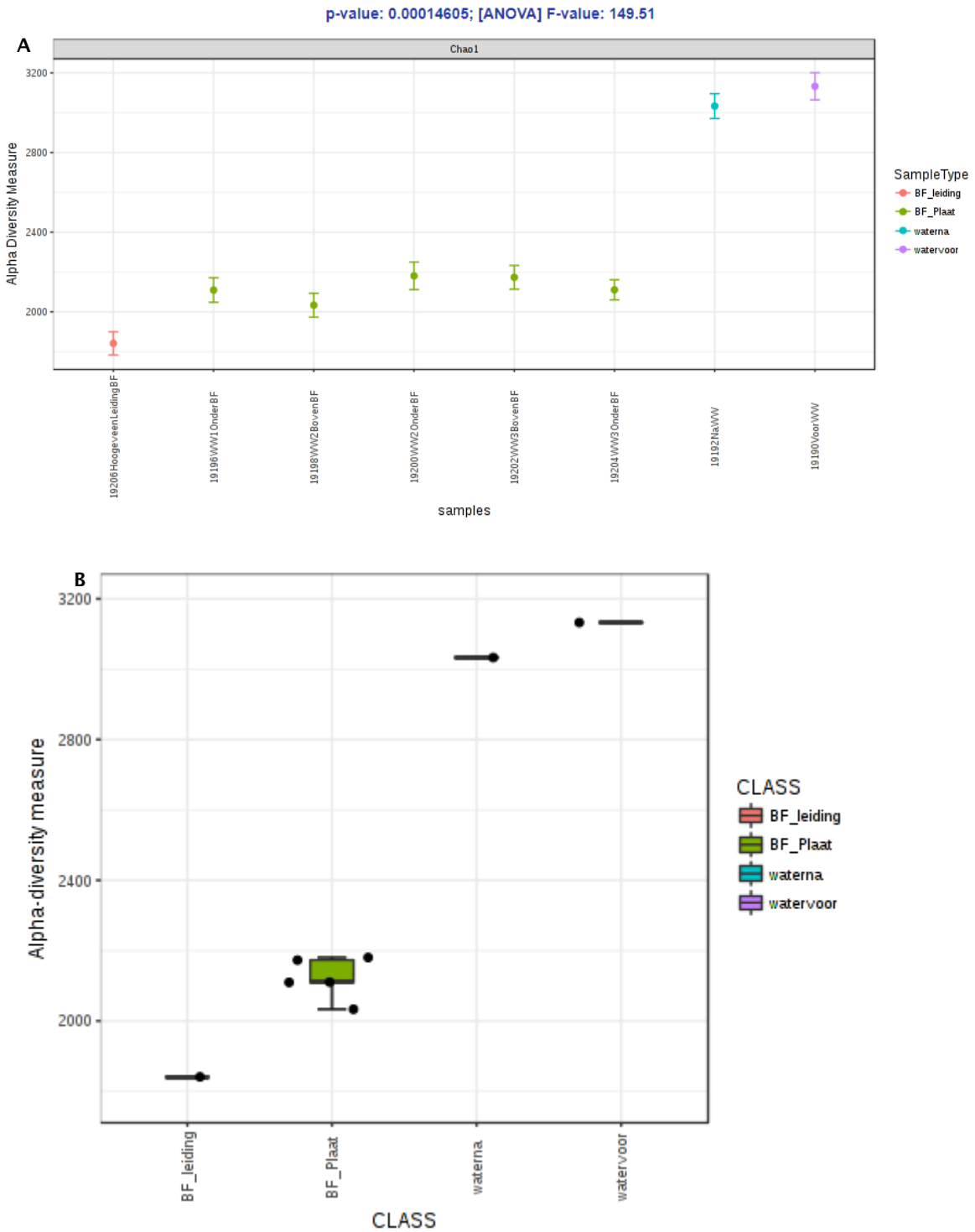
- Water vóór de warmtewisselaar (19190)
- Biofilm van plaat 10: onderkant (19204) en bovenkant (19202)
- Biofilm van plaat 145: onderkant (19200) en bovenkant (19198)
- Biofilm van plaat 295: onderkant (19196)
- Biofilm uit de afvoerleiding (19206)
- Water na de warmtewisselaar (19192)

Bij deze analyses zijn er DNA-sequenties van individuele moleculen van fragmenten van het 16S rRNA gen bepaald en vervolgens is geïdentificeerd van welke bacteriën deze DNA-sequenties afkomstig zijn. Het aantal DNA-sequenties dat in elk monster is bepaald, is weergegeven in Figuur 3-24.



FIGUUR 3-24. AANTAL GEGENEREERDE SEQUENTIES PER MONSTER

Aansluitend zijn de verkregen sequenties gebruikt voor het identificeren van de aanwezige bacteriën in de verschillende monsters. In Figuur 3-25 is een samenvatting weergegeven van de bacteriële diversiteit in de verschillende monsters waarbij de sequenties zijn ingedeeld in "Operational Taxonomic Unitits" (OTU's) op basis van 97% sequentieovereenkomst. Bij een sequentieovereenkomst van minimaal 97% wordt aangenomen dat de bacteriën behoren tot dezelfde bacteriesoort, de figuur geeft daarom een schatting van de bacteriële soortenrijkdom in de verschillende monsters.



FIGUUR 3-25. BACTERIËLE DIVERSITEIT PER MONSTER (A) OF PER ONDERZOCHT MILIEU (B) OP BASIS VAN CHAOI SCHATTING. DE ALPHA DIVERSITY MEASURE GEEFT AAN HOEVEEL BACTERIESOORTEN ER IN HET MONSTER AANWEZIG ZIJN. BF_LEIDING: BIOFILM IN DE AFVOERENDE LEIDING VAN DE WARMTEWISSELAAR. BF_PLAAT: BIOFILM OP DE PLATEN VAN DE WARMTEWISSELAAR. WATERNA EN WATERVOOR: UITGAANDE EN INKOMENDE WATER VAN DE WARMTEWISSELAAR.

Deze resultaten, berekend met de ChaoI methode voor het schatten van de soortenrijkdom in de onderzochte monsters, geven aan dat de soortenrijkdom in het water voor en na de

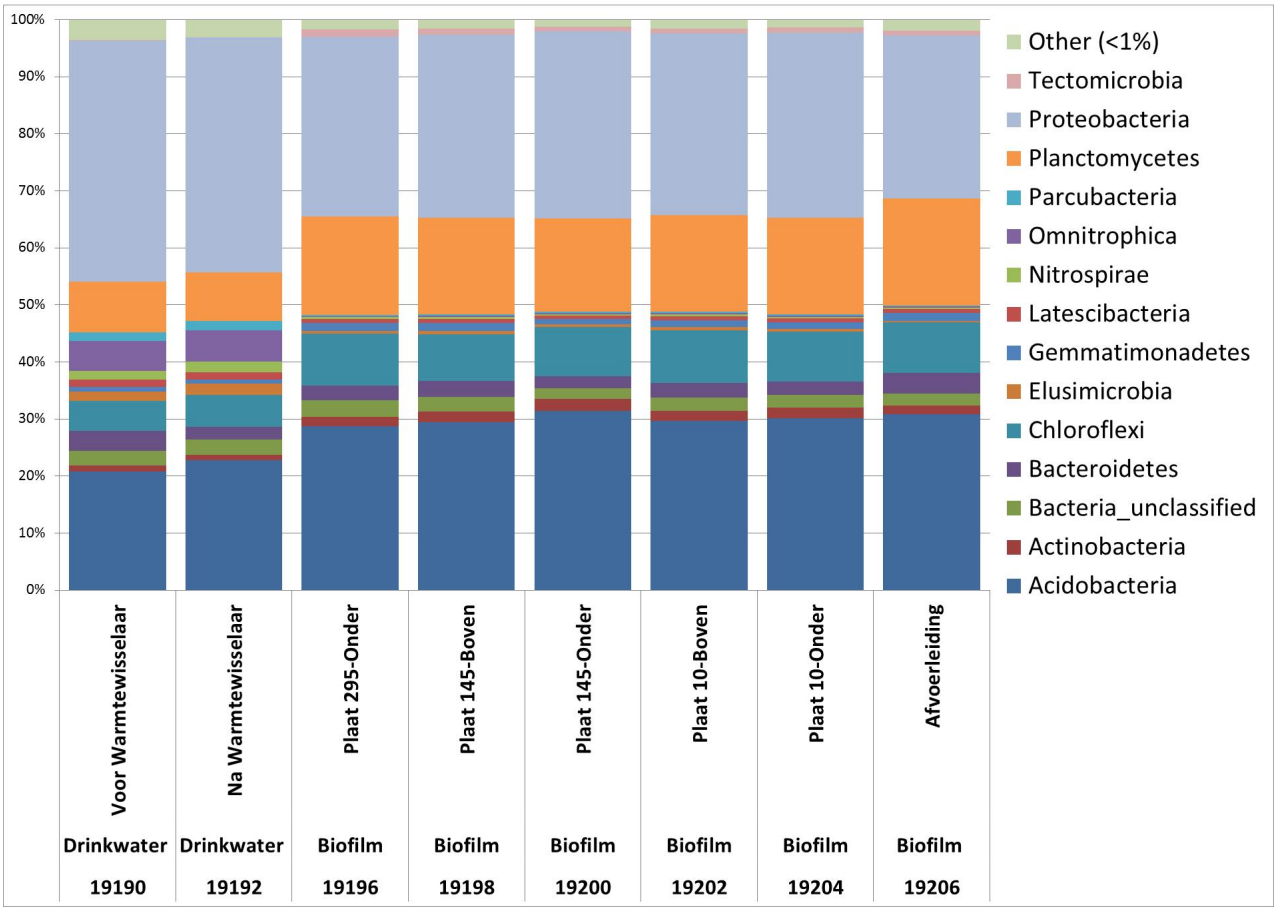
warmtewisselaar hoger (ca. 3000-3200 soorten) is dan in de biofilm op de verschillende platen van warmtewisselaar (ca. 2000-2200 soorten) en in de biofilm op de afvoerleiding (ca. 1850 soorten). Vergelijkbare resultaten worden verkregen bij het gebruik van de Ace methode voor het schatten van de bacteriële soortenrijkdom wat aangeeft dat deze schatting een hoge betrouwbaarheid heeft.

Uit het water en de biofilm werden met de NGS een aantal genera geïdentificeerd die ook fecale en opportunistische ziekteverwekkende soorten bevatten. Deze bacteriën beslaan relatief echter maar een zeer klein deel van de totale bacteriepopulatie. Hieronder worden kort de meest bekende pathogenen uitgelicht:

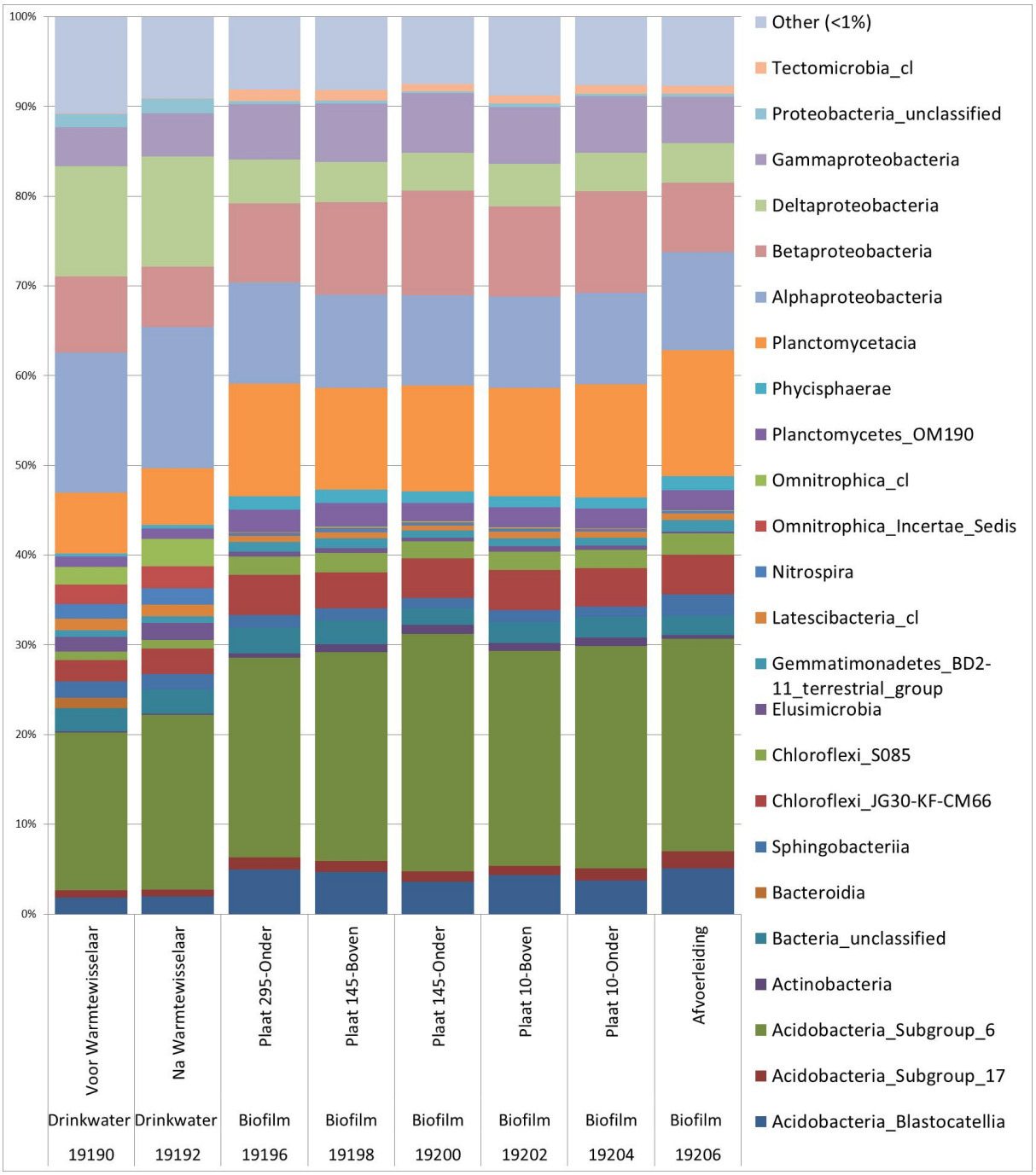
- *Legionella*: bacteriën van het genus *Legionella* komen met name voor in het drinkwater, en minder in de biofilm. Omdat identificatie tot op het species (soort) niveau niet mogelijk is met de gebruikte methode, kan niet gespecificeerd worden om welke *Legionella* soort het gaat. De lage aantallen *Legionella* gedetecteerd met NGS komt overeen met de kweek en qPCR analyses waarin geen *Legionella* is aangetroffen. Er bestaan een groot aantal verschillende soorten *Legionella* bacteriën, waarvan alleen *Legionella pneumophila*, en in zeer beperkte mate *Legionella anisa*, een gezondheidsrisico vormt. De vondst van *Legionella* bacteriën in de NGS is dus geen reden tot zorg.
- *Stenotrophomonas*: Bacteriën worden in een enkel geval gedetecteerd met de NGS. Met de qPCR analyse wordt deze bacterie vaker gedetecteerd, wat vermoedelijk komt door de extra vermeerderingsstap voor de NGS methode waardoor weinig voorkomende bacteriesoorten sterk minder worden vermeerderd dan veel voorkomende bacteriesoorten. Door de hogere specificiteit van de qPCR-methode ten opzichte van de NGS worden deze bacteriën wel gedetecteerd.
- *Pseudomonas*: Er worden slechts 2 DNA kopieën in één biofilmmonster aangetroffen, dit komt overeen met de afwezigheid in de qPCR-analyse.
- *Mycobacterium*: Deze bacteriën zijn in zeer lage aantallen aanwezig in de biofilm, maar vormen geen gezondheidsrisico.
- *Enterobacteriaceae*: hieronder valt onder andere de fecale *E. coli* bacterie en de coliformbacteriën, maar ook een groot aantal andere, niet-fecale bacteriën behoren tot dit genus. Er worden slechts 4 DNA kopieën in één biofilmmonster aantroffen, het is zeer onwaarschijnlijk dat het hier om de fecale *E. coli* bacterie gaat, aangezien de bacterie 'unclassified' is en deze sequentie niet behoort tot de bekende bacteriesoorten.
- *Aeromonas*: wordt bijna alleen in het water, in lage aantallen, aangetroffen. De aantallen in het afvoerende water zijn hoger dan het aanvoerende water, wat overeenkomt met de kweekanalyse.

Nitrificerende bacteriën gebruiken ammonium, dat aanwezig is in de biofilm, voor groei. Uit de NGS analyse komt naar voren dat een aantal van de nitrificerende bacteriefamilies voorkomt in de biofilm en het drinkwater. Het gaat hierbij om bacteriën uit de *Nitrospiraceae* en de *Nitrosomonadaceae* families.

Een samenvatting van de samenstelling van de bacteriologische populaties in de monsters is weergegeven in Figuur 3-26 (op het niveau van "Phylum") en Figuur 3-27 (op het niveau van "Klasse"). De microbiële populatie komt sterk overeen voor alle biofilmmonsters en ook het water voor en na de warmtewisselaar bevat vergelijkbare populaties. Bij vergelijking tot op genus niveau zijn de verschillen tussen de biofilm en het water groot en de overeenkomsten tussen de bacteriën in water en biofilm beperkt. Dit suggereert dat water en biofilm elk een eigen niche hebben met hun "eigen" microbiële populatie. De niche heeft dus invloed op de microbiologische populatie en er vindt beperkte uitwisseling van bacteriën plaats tussen het water en de biofilm.

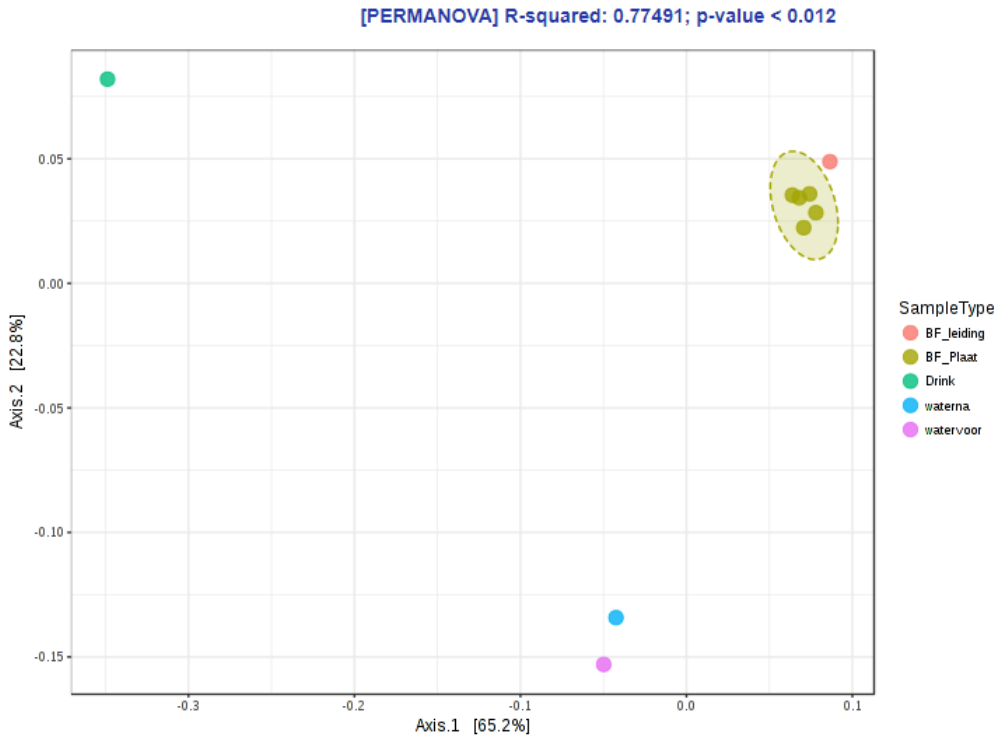


FIGUUR 3-26. PROFIELEN VAN DE BACTERIELE POPULATIES OP HET NIVEAU PHYLUM



FIGUUR 3-27. PROFIELEN VAN DE BACTERIELE POPULATIES OP HET NIVEAU KLASSE

De bacteriële populaties in de verschillende monsters zijn ook met elkaar vergeleken door het uitvoeren van een “Principal component analysis ” (PCoA) analyse. Het resultaat van deze analyse is weergegeven in Figuur 3-28.



FIGUUR 3-28. '"PRINCIPAL COMPONENT ANALYSE" (PCOA) VAN MONSTERS VAN HET TOEVOERWATER VÓÓR DE WARMTEWISSELAAR (WATERVOOR), HET AFVOERWATER NA DE WARMTEWISSELAAR (WATERNA), EEN WILLEKEURIG WATERMONSTER ALS REFERENTIEMONSTER (DRINK) EN BIOFILM AFKOMSTIG VAN DE PLATEN VAN DE WARMTEWISSELAAR (BF_PLAAT), DE AFVOERLEIDING (BF_LEIDING).

Bij de PCoA analyses is de afstand tussen de spots klein bij monsters met overeenkomende bacteriële populaties en is de afstand tussen de spots groter naarmate het verschil tussen populaties groter is. Om inzicht te krijgen in de mate en relevantie van de verschillen tussen de onderzochte populatie is voor de berekening van bovenstaande PCoA plot een bacteriële populatie van een willekeurig drinkwatermonster (afkomstig van pompstation Katwijk) toegevoegd. Met de PCoA plot wordt duidelijk dat de microbiële populaties in alle monsters afkomstig van biofilm uit de warmtewisselaar zeer veel op elkaar lijken en onafhankelijk is van de plaat of de locatie op de plaat (boven/onder) van de warmtewisselaar. De microbiologie in het biofilmmonster van de afvoerleiding vertoont ook veel overeenkomst met de microbiologie in de biofilm van de warmtewisselaar. De microbiologie in de watermonsters voor en na de warmtewisselaar vertonen veel overeenkomst en zijn duidelijk verschillend van de biofilmmonsters. Dit versterkt het beeld dat er weinig uitwisseling van bacteriën plaatsvindt tussen het water en de biofilm.

Bovenstaande analyses maken een aantal aspecten duidelijk:

- De bacteriële populaties aangetroffen in de biofilm verschillen van de populaties die zijn aangetroffen in het aangevoerde en afgevoerde water voor respectievelijk na de warmtewisselaar (Figuur 3-28) en er vindt geen tot beperkte uitwisseling plaats.
- Er zijn vrijwel geen verschillen in de bacteriologische populaties tussen de verschillende platen van en de positie op de platen van de warmtewisselaar (Figuur 3-27).

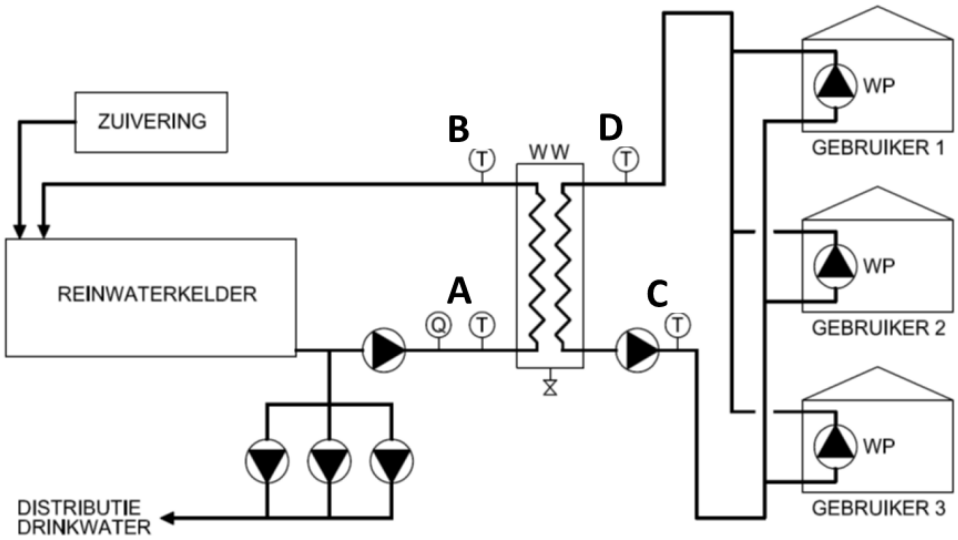
3.3 Energetisch en Economisch rendement

3.3.1 Beschikbare gegevens

De voorzieningen voor de levering van warmte en koude aan een drietal gebruikers zijn geïntegreerd in het pompstation Hoogeveen. Op het pompstation zijn in de ruimte van de distributiepompen twee warmtewisselaars geplaatst waarmee een secundair circuit wordt opgewarmd of gekoeld. Aan de perszijde van één distributiepomp is met een T-stuk een loop gemaakt naar de dubbelwandig uitgevoerde warmtewisselaars. Die loop wordt zo geregeld dat in de zomer het reinwater maximaal 0,5 °C opwarmt en 's winters maximaal 2 °C afkoelt. In het drinkwatercircuit heerst altijd een overdruk. Het secundaire circuit voedt - over een afstand van bijna 1 km - kleinere warmtewisselaars met warmtepompen bij de afnemers vanwaar het circuit teruggaat naar het pompstation. Het secundaire circuit heeft een lagere druk dan het hoofdcircuit om veiligheidsredenen. Het debiet in het secundaire circuit heeft nu een vaste waarde en is daardoor hoger dan noodzakelijk. Dit is overigens wel regelbaar (op basis van de ΔT over de warmtewisselaar bij de klant), maar op het moment van dit onderzoek was dit nog niet gerealiseerd.

Van beide circuits worden de temperatuur en stroomsnelheid gemeten en opgeslagen. Dat geldt ook voor de ΔT over de warmtewisselaars in het primaire en secundaire circuit. Een meting van de temperatuur op de uitgaande leiding is er nog niet, maar de uitgaande temperatuur van de reinwaterkelder is wel bekend. Het is niet bekend of WMD al zelf monsters heeft genomen voor en na de warmtewisselaar in het primaire circuit.

De volgende gegevens zijn beschikbaar: de temperaturen rondom de TSA (A,B,C,D), het debiet van het secundaire circuit (C, aan de kant van de afnemers) en de drukken in het primaire net. Er is één afnemer operationeel en daarvan zijn geen monitoringsgegevens beschikbaar behalve het aantal draaiuren van de warmtepomp per dag, zie Figuur 3-29.



FIGUUR 3-29 SCHEMATISATIE VAN WKD-INSTALLATIE HOOGEVEEN + MONIOTORINGSPUNTEN

De data is beschikbaar van 1 januari 2015 tot 24 juni 2016, de eerste maanden van de 2015 is de data registratie niet compleet. Pas vanaf mei is de data redelijk compleet, dat wil

zeggen zonder lange periodes waarbij van 1 of meerdere monitoringspunten gegevens missen; daarom is alleen de periode van 24-6-2015 tot 23-6-2016 geanalyseerd.

Op basis van de beschikbare monitoringsdata kan alleen de hoeveelheid thermische energie die uit het drinkwater wordt gewonnen worden vastgesteld. Alleen het debiet van de secundaire kant is gemonitord, omdat TSA's veelal met 1:1 debiet werken is het te rechtvaardigen om het gemonitorde debiet ook voor de primaire zijde toe te passen. Op basis van de drukgegevens is vervolgens een inschatting gedaan van het elektriciteitsgebruik van de circulatiepomp, daarmee is de COP van de bron berekend.

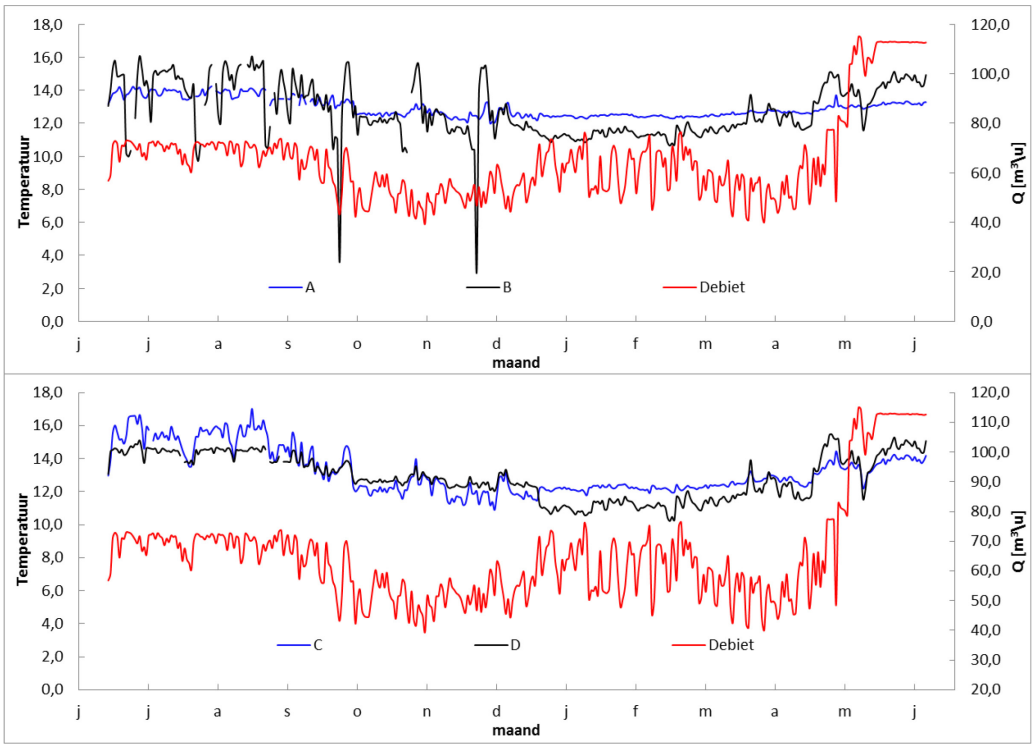
3.3.2 Analyse monitoringsdata

In Tabel 3-1 zijn de belangrijkste gegevens van het monitoringsjaar opgenomen. Er wordt ongeveer evenveel warmte als koude uit het drinkwater gewonnen. Aan de afnamekant wordt echter minder koeling en warmte afgenomen, dan uit het drinkwater wordt gewonnen. Een verklaring hiervoor kan zijn dat de leiding van de WKD een flink stuk (ca 750m heen en 750m terug) door de bodem loopt, wat de bepaling van de afgenomen hoeveelheid energie verstoort. Temperatuurmonitoring ter plaatste van de afnemers zal inzicht geven in hoeveel energie met de bodem wordt uitgewisseld.

Figuur 3-30 laat zien dat de temperatuur van het reine water redelijk constant is zoals kan worden verwacht van een grondwaterbron. Het systeem heeft vrijwel het hele monitoringsjaar op beperkte capaciteit gedraaid, tegen de zomer van 2016 neemt het debiet toe. De maximale retourtemperatuur van het reine water is 16,1˚C. Wat opvalt is dat er altijd debiet is, terwijl het onwaarschijnlijk is dat er altijd energievraag is.

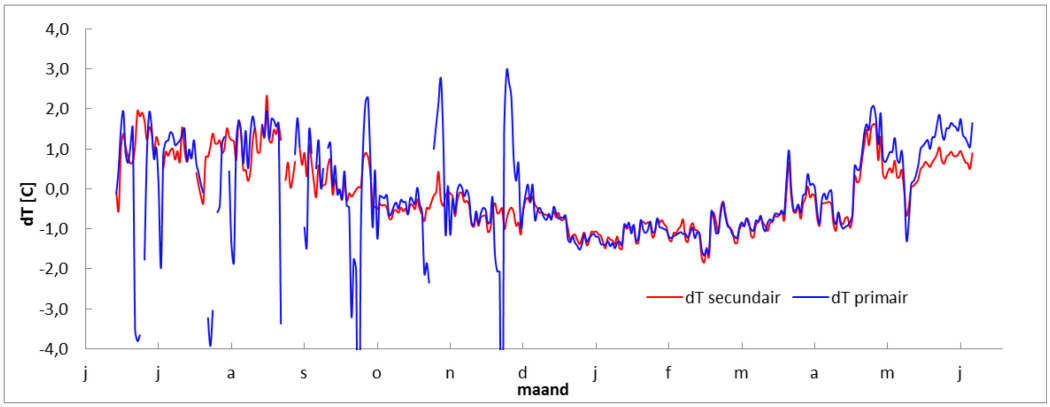
TABEL 3-1. MONITORINGSDATA WKD HOOGEVEEN

	Primair	Secundair	
Koeling	340	256	*[MWh]*
Verwarming	367	258	*[MWh]*
gemiddelde aanvoer temperatuur	13,2	13,7	*[°C]*
gemiddelde retour temperatuur	13,1	13,5	*[°C]*



FIGUUR 3-30. GEMONITORDE TEMPERATUUR TER PLAATSE VAN DE TSA (A, B, C EN D VERWIJZEN NAAR FIGUUR 3-29).

Het gemiddelde temperatuurverschil over de TSA is 1 en 0,8˚C voor de primaire respectievelijk de secundaire zijde van de TSA. Figuur 3-30 laat het verloop van de dag-gemiddelde ΔT over de tijd zien. In de zomermaanden is die positief, opwarming van het drinkwater dus levering van koeling aan de gebouwen en in de winter negatief, wat wijst op warmtelevering. Uit de uitschieters in de ΔT van de primaire zijde blijkt ook dat de installatie in 2015 nog niet optimaal draaide, sinds december 2015 volgen de ΔT's aan de primaire en secundaire zijde elkaar netjes. Momentane waarden van ΔT zijn incidenteel wel hoger: 3 tot 4 ˚C.



FIGUUR 3-31 TEMPERATUUR VERSCHIL OVER DE TSA, PRIMAIRE EN SECUNDAIRE ZIJDE (2015/2016)

Op basis van de drukmonitoring is het energieverbruik van de pompen vastgesteld. Op basis waarvan de COP kan worden uitgerekend, deze komt uit op circa 7.

In Tabel 3-2 zijn de berekende KPI's en de referentiewaarden opgenomen. Hieruit blijkt dat de prestatie tegenvalt t.o.v. wat van vergelijkbare systemen mag worden verwacht. De beperkte ΔT kan deels worden veroorzaakt door de dubbelwandige TSA, wat de efficiëntie beperkt.

De COP valt tegen door een combinatie van twee aspecten, namelijk de beperkte hoeveelheid energie die wordt gewonnen en de relatief grote weerstand in de horizontale transportleiding, wat voor een hoog energieverbruik van de pomp zorgt. Daarnaast blijkt dat er constant water wordt rondgepompt, ook als er geen energievraag is. Dat is energieverbruik zonder dat dat wat oplevert. Waarschijnlijk heeft het constante debiet, ook op momenten dat er geen energievraag is, een ongewenst effect op de waargenomen beperkte ΔT.

TABEL 3-2. BEOORDELING WKD HOOGEVEEN

	COP	**ΔT**
	[-]	*[°C]*
WKD Hoogeveen	6,8	0,8 - 1
Referentie	20	2 - 8

3.3.3 **Optimalisatie**

Op basis van de waarnemingen kan direct de volgende aanbeveling worden gedaan ter verbetering van de energieprestatie;

- Laat de circulatiepompen alleen draaien als er energievraag is.

Om uitgebreidere, betere en meer betrouwbare uitspraken te kunnen doen over de energieprestatie en meer gedetailleerde aanbevelingen te kunnen doen t.a.v. optimalisatie moet een start worden gemaakt met monitoring van de volgende parameters:

- Het temperatuurverschil over de TSA ter plaatse van de afnemers
- Het debiet aan de primaire zijde.
- Het elektriciteitsgebruik van de primaire en secundaire pompen
- Het elektriciteitsgebruik van de warmtepompen bij de afnemers

4 Onderzoek WKD locatie Culemborg

4.1 Inleiding

In Culemborg (wijk Lanxmeer) wordt water uit de reinwaterkelder (RWK) gebruikt om voornamelijk huizen, maar ook enkele andere gebouwen te verwarmen. Water wordt uit de RWK gewonnen met een aparte leiding en na passage van de TSA op een andere plek in de RWK teruggevoerd. Het opwaarderen van het temperatuurniveau van het drinkwater gebeurt direct na de TSA met een centrale warmtepomp. Daarnaast is ook een back-up voorziening (piekketels) beschikbaar. Vanuit het pompstation van Vitens wordt dus direct bruikbare warmte gedistribueerd. Het systeem is in beheer van Thermo Bello, een lokale/private energiecorporatie opgericht door de afnemers van de thermische energie.

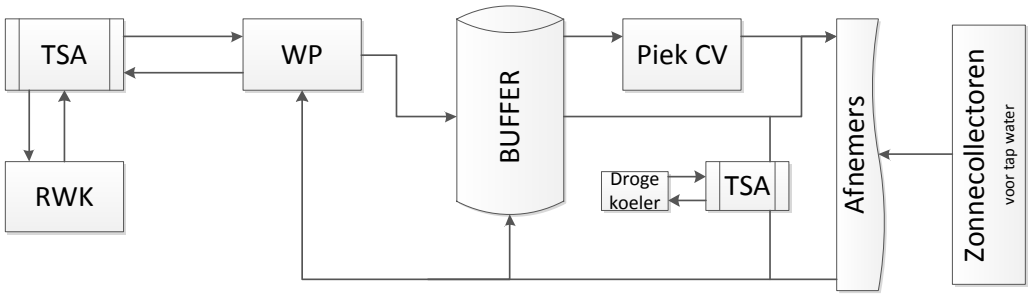
4.2 Systeembeschrijving

De WKD van de wijk Lanxmeer is gevestigd in het pompstation van Vitens in Culemborg, Figuur 4-1. Vanuit het pompstation loopt er een distributienet de wijk in waarmee 192 woningen en 8 bedrijfspanden direct worden verwarmd. De wijk is ontwikkeld vanaf 2000, en sinds die tijd is het WKD-systeem ook in bedrijf, in eerste instantie in beheer van Vitens en sinds 2007 in beheer van de bewonersorganisatie Thermo Bello.

FIGUUR 4-1. OVERZICHTS KAARTJE MET LIGGING WKD CULEMBORG

Een deel van de bedrijfspanden neemt in de zomermaanden ook koeling af van Thermo Bello, deze komt echter niet uit het drinkwater maar wordt verzorgd door droge koelers. De warmtapwaterbereiding in de woningen gebeurt met zonnecollectoren.

De warmtewisselaar wordt 1x per 2 jaar met zuuroplossing gespoeld om neerslag van kalksteen te verwijderen.



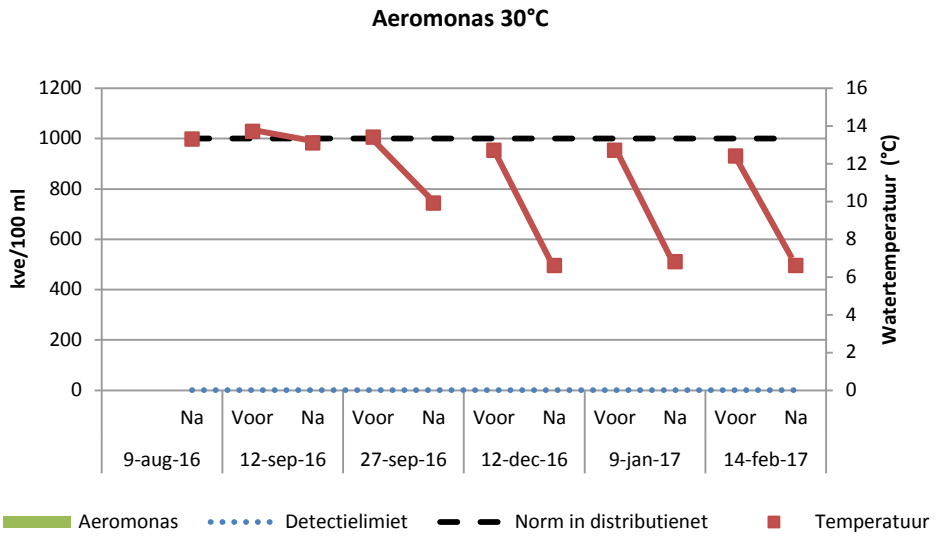
FIGUUR 4-2. SCHEMATISCH OVERZICHT KOPPELING VAN SYSTEEMCOMPONENTEN WKD CULEMBORG

4.3 Microbiologische Analyse

In de warmtewisselaar (TSA) die is gekoppeld aan de RWK wordt alleen warmte uit het drinkwater gewonnen waardoor het water afkoelt. Dit proces vindt voornamelijk in de winter plaats, wanneer de buitentemperaturen laag zijn en er een warmtevraag is. In de winterperiode zijn voor en na de warmtewisselaar watermonsters genomen om het effect van de warmtewisselaar en temperatuur op de microbiologische kwaliteit van het water te analyseren. In de zomer staat het systeem in principe stil. In deze periode wordt het systeem één keer per dag gespoeld om stilstand van het water te voorkomen. Door de 24 uur stilstand kan het water opwarmen en kan er mogelijk groei van bacteriën optreden. Tevens kan het spoelen leiden tot loskomen van de biofilm als gevolg van veranderingen in de hydraulische condities. Om dit effect nader te analyseren zijn na de warmtewisselaar, zowel voor als na het spoelen watermonsters genomen. De ruwe resultaten zijn weergegeven in Bijlage III.

4.3.1 Water

In het drinkwater van de warmtewisselaar in Culemborg is geen *Aeromonas* aanwezig, ongeacht het seizoen en de watertemperatuur (FIGUUR 4-3).

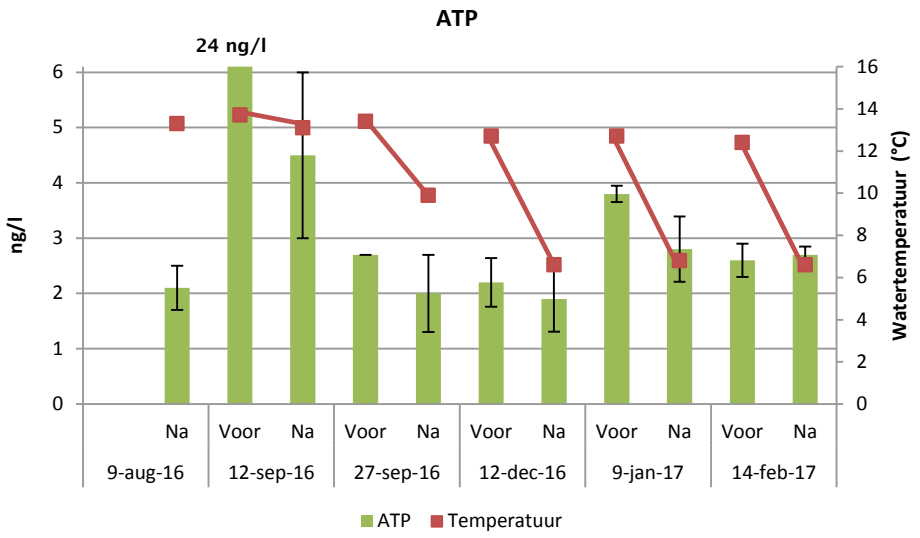


FIGUUR 4-3. AEROMONAS, BEPAALD MET KWEEK, IN HET WATER VOOR EN NA HET SPOELEN (T/M 27 SEPTEMBER 2016) OF VOOR EN NA DE WARMTEWISSELAAR (VANAF 12 DECEMBER 2016) VAN DE WARMTEWISSELAAR VAN CULEMBORG. HET WATERMONSTER VOOR SPOELEN OP 9 AUGUSTUS 2016 IS NIET GENOMEN, DOOR DE LAGE BUITENTEMPERATUUR WAS DE WARMTEWISSELAAR IN WERKING EN WAS ER GEEN WATERSTILSTAND. DE WATERTEMPERATUUR, DE NORM VOOR AEROMONAS IN HET DISTRIBUTIENET EN DE DETECTIEGRENS VAN DE BEPALING ZIJN GEGEVEN.

De ATP-gehaltes in het water liggen tussen de 1,9 en 4,5 ng/l (Figuur 4-4), dit komt overeen met ATP-gehaltes in drinkwater bereid uit grondwater (van der Wielen en van der Kooij, 2010).

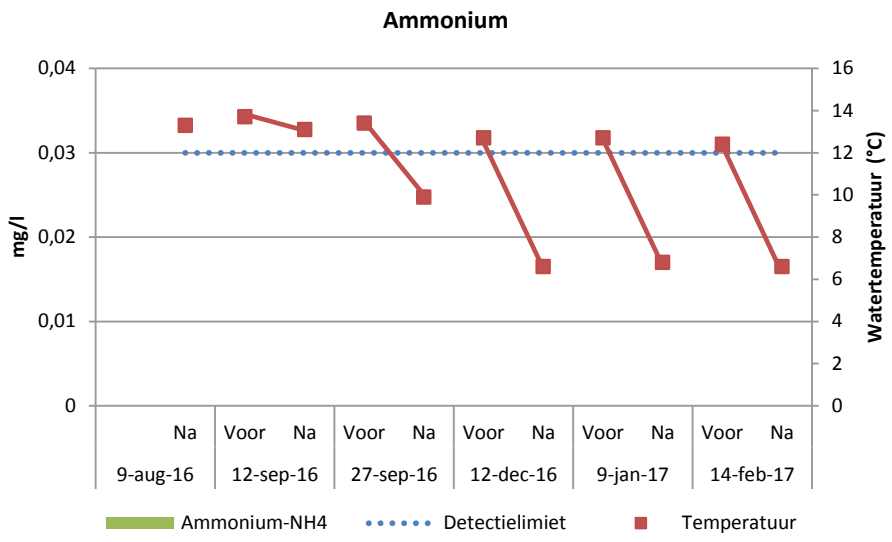
Er lijkt een beperkt effect te zijn van stilstand van de warmtewisselaar in de zomerperiode op het ATP-gehalte in het water. Het ATP-gehalte is na 20-24 uur stilstand hoger ('voor' in Figuur 4-4) dan net na het doorspoelen van de warmtewisselaar. De stilstand van het water leidt dus tot toename van de hoeveelheid actieve biomassa in het water (groei van micro-organismen). Het mogelijk loslaten van de biofilm door het spoelen, is niet waargenomen, want een dergelijk effect zou zich moeten vertalen naar een hogere ATP-concentratie.

In de winter is er geen effect van de warmtewisselaar op het ATP-gehalte in het water. De verlaging van de drinkwatertemperatuur leidt in deze periode dus niet tot een directe verlaging van de bacteriële activiteit.



FIGUUR 4-4. ATP, MET STANDAARD DEVIATIE, IN HET WATER VOOR EN NA HET SPOELEN (T/M 27 SEPTEMBER 2016) OF VOOR EN NA DE WARMTEWISSELAAR (VANAF 12 DECEMBER 2016) VAN DE WARMTEWISSELAAR VAN CULEMBORG. HET WATERMONSTER VOOR SPOELEN OP 9 AUGUSTUS 2016 IS NIET GENOMEN, DOOR DE LAGE BUITENTEMPERATUUR WAS DE WARMTEWISSELAAR IN WERKING EN WAS ER GEEN WATERSTILSTAND. DE WATERTEMPERATUUR IS GEGEVEN.

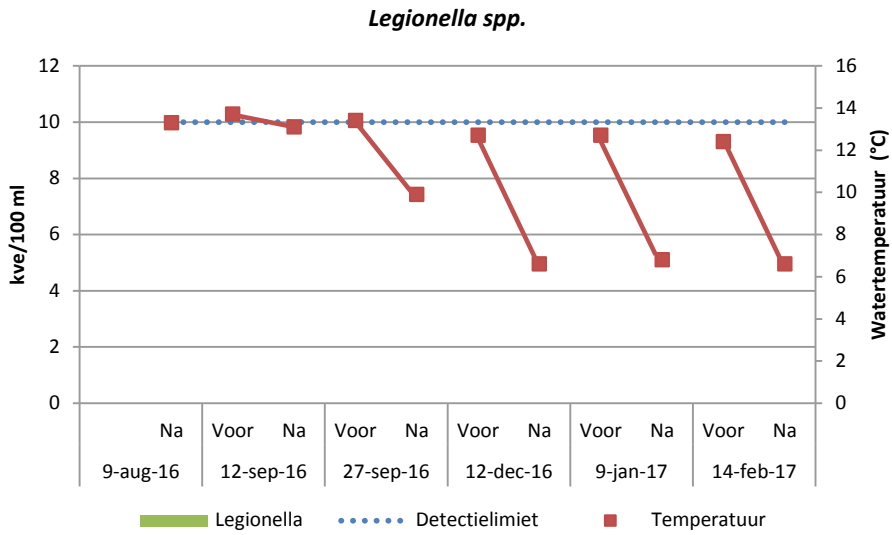
In het water ligt de ammoniumconcentratie onder de detectielimiet (Figuur 4-5).



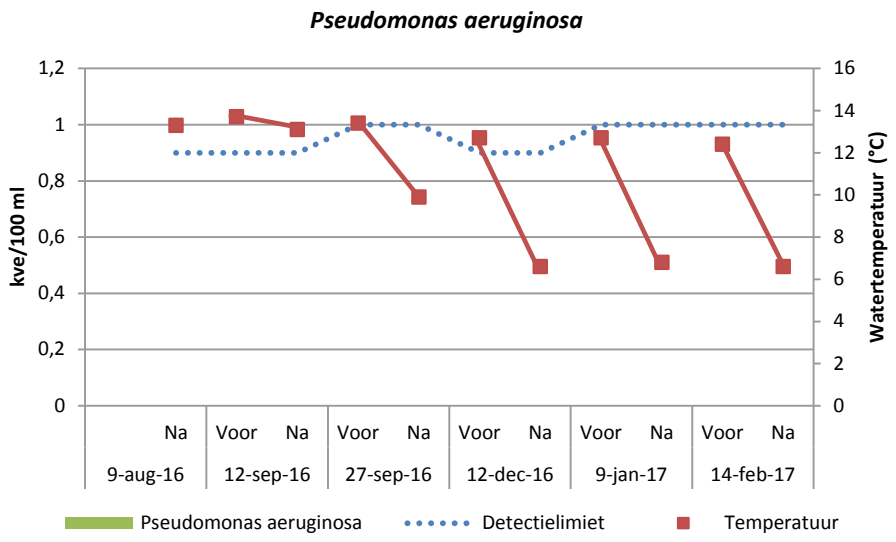
FIGUUR 4-5. AMMONIUM IN HET WATER VOOR EN NA HET SPOELEN (T/M 27 SEPTEMBER 2016) OF VOOR EN NA DE WARMTEWISSELAAR (VANAF 12 DECEMBER 2016) VAN DE WARMTEWISSELAAR VAN CULEMBORG. HET WATERMONSTER VOOR SPOELEN OP 9 AUGUSTUS 2016 IS NIET GENOMEN, DOOR DE LAGE BUITENTEMPERATUUR WAS DE WARMTEWISSELAAR IN WERKING EN WAS ER GEEN WATERSTILSTAND. D E WATERTEMPERATUUR EN DE DETECTIEGRENS ZIJN GEGEVEN.

In geen van de watermonsters is *Legionella spp.* (

Figuur 4-6) of *Pseudomonas aeruginosa* (Figuur 4-7) gedetecteerd.



FIGUUR 4-6. LEGIONELLA SPP., BEPAALD MET KWEEK, IN HET WATER VOOR EN NA HET SPOELEN (T/M 27 SEPTEMBER 2016) OF VOOR EN NA DE WARMTEWISSELAAR (VANAF 12 DECEMBER 2016) VAN DE WARMTEWISSELAAR VAN CULEMBORG. HET WATERMONSTER VOOR SPOELEN OP 9 AUGUSTUS 2016 IS NIET GENOMEN, DOOR DE LAGE BUITENTEMPERATUUR WAS DE WARMTEWISSELAAR IN WERKING EN WAS ER GEEN WATERSTILSTAND. DE WATERTEMPERATUUR EN DE DETECTIEGRENS ZIJN GEGEVEN.

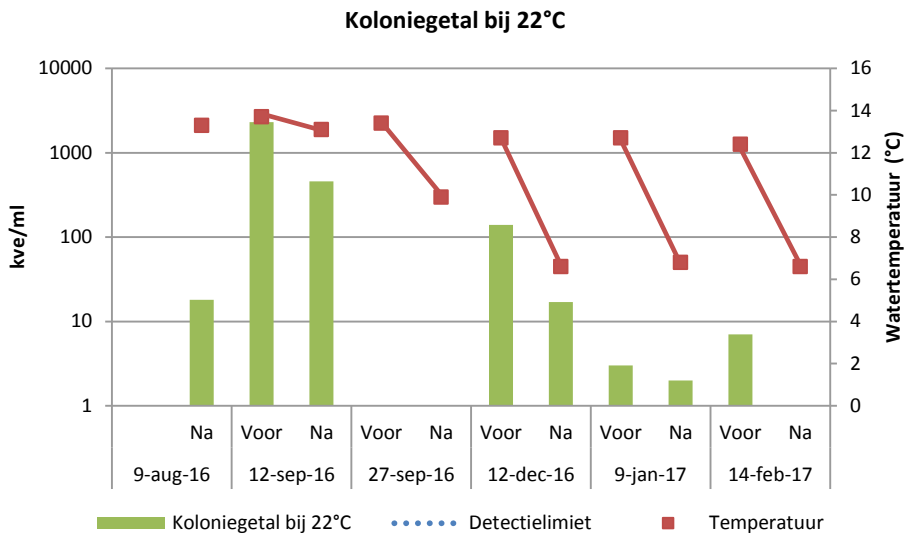


FIGUUR 4-7. *PSEUDOMONAS AERUGINOSA*, BEPAALD MET KWEEK, IN HET WATER VOOR EN NA HET SPOELEN (T/M 27 SEPTEMBER 2016) OF VOOR EN NA DE WARMTEWISSELAAR (VANAF 12 DECEMBER 2016) VAN DE WARMTEWISSELAAR VAN CULEMBORG. HET WATERMONSTER VOOR SPOELEN OP 9 AUGUSTUS 2016 IS NIET GENOMEN, DOOR DE LAGE BUITENTEMPERATUUR WAS DE WARMTEWISSELAAR IN WERKING EN WAS ER GEEN WATERSTILSTAND.

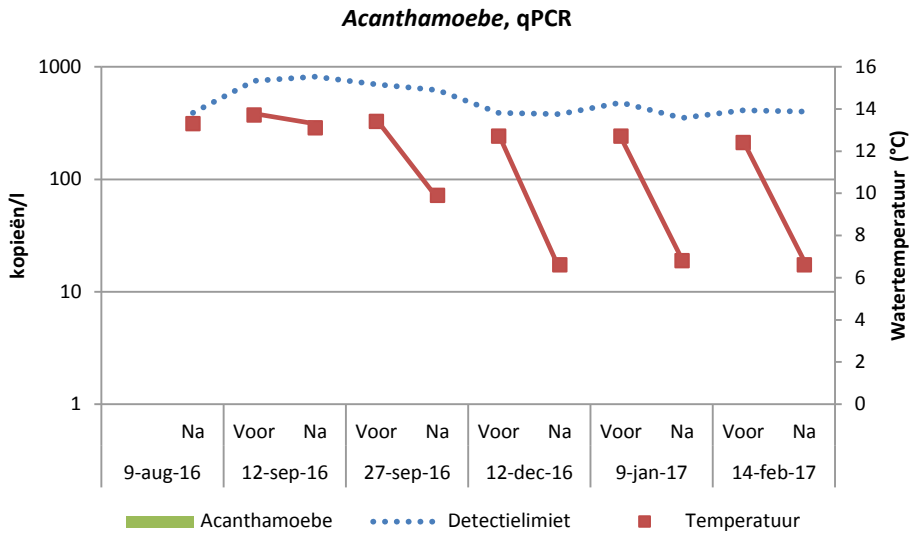
Het KG22-aantal is in het water in de zomer na het spoelen lager dan het water dat 20-24 uur het stilgestaan (Figuur 4-8). Dit suggereert dat stilstand tot groei van kweekbare bacteriën in het water heeft geleid, overeenkomstig als wat is waargenomen voor de totale hoeveelheid actieve biomassa (ATP).

In de winter is het KG22-aantal consequent lager in het water na de warmtewisselaar vergeleken met het water voor de warmtewisselaar. Het verschil bedraagt maximaal 1 log. De verlaging van de temperatuur resulteert dus in een afname van het aantal kweekbare bacteriën. Daarnaast worden door de lagere temperatuur de KG22-aantallen in het water dat terugstroomt naar de reinwaterkelder verlaagd.

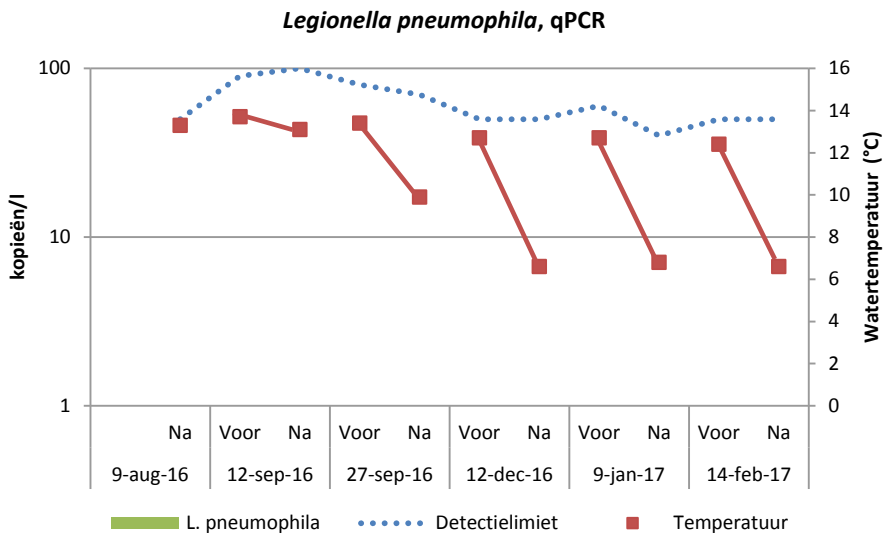
In geen van de watermonsters is *Acanthamoeba* (FIGUUR 4-9), *Legionella pneumophila* (Figuur 4-10), *Aspergillus fumigatus* en *Pseudomonas aeruginosa* (Figuur 4-12) aangetroffen (via qPCR).



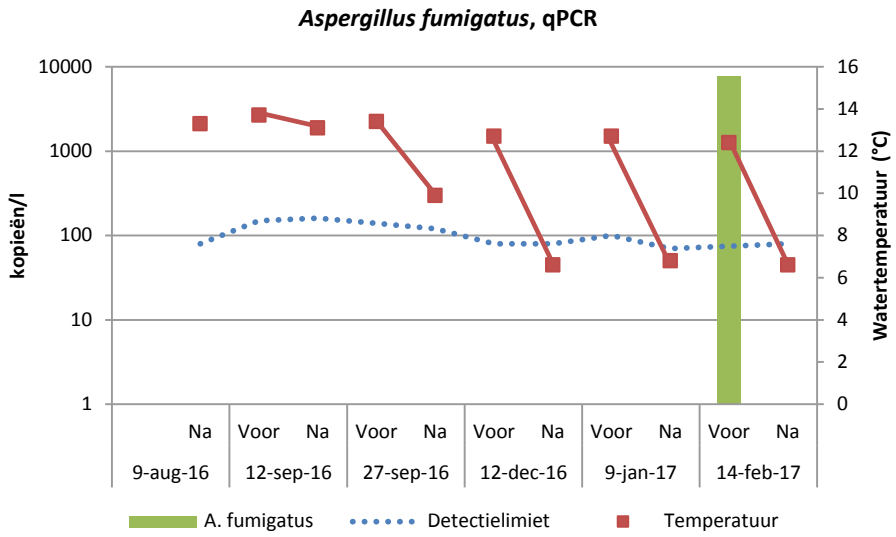
FIGUUR 4-8. KG22, BEPAALD MET KWEEK, IN HET WATER VOOR EN NA HET SPOELEN (T/M 27 SEPTEMBER 2016) OF VOOR EN NA DE WARMTEWISSELAAR (VANAF 12 DECEMBER 2016) VAN DE WARMTEWISSELAAR VAN CULEMBORG. HET WATERMONSTER VOOR SPOELEN OP 9 AUGUSTUS 2016 IS NIET GENOMEN, DOOR DE LAGE BUITENTEMPERATUUR WAS DE WARMTEWISSELAAR IN WERKING EN WAS ER GEEN WATERSTILSTAND.



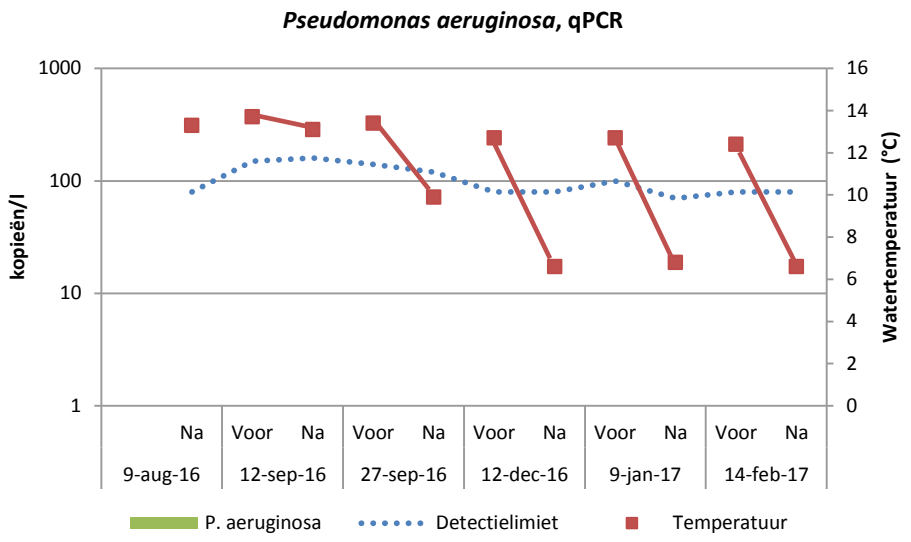
FIGUUR 4-9. ACANTHAMOEBE, BEPAALD MET QPCR, IN HET WATER VOOR EN NA HET SPOELEN (T/M 27 SEPTEMBER 2016) OF VOOR EN NA DE WARMTEWISSELAAR (VANAF 12 DECEMBER 2016) VAN DE WARMTEWISSELAAR VAN CULEMBORG. HET WATERMONSTER VOOR SPOELEN OP 9 AUGUSTUS 2016 IS NIET GENOMEN, DOOR DE LAGE BUITENTEMPERATUUR WAS DE WARMTEWISSELAAR IN WERKING EN WAS ER GEEN WATERSTILSTAND.



FIGUUR 4-10. *LEGIONELLA PNEUMOPHILA*, BEPAALD MET QPCR, IN HET WATER VOOR EN NA HET SPOELEN (T/M 27 SEPTEMBER 2016) OF VOOR EN NA DE WARMTEWISSELAAR (VANAF 12 DECEMBER 2016) VAN DE WARMTEWISSELAAR VAN CULEMBORG. HET WATERMONSTER VOOR SPOELEN OP 9 AUGUSTUS 2016 IS NIET GENOMEN, DOOR DE LAGE BUITENTEMPERATUUR WAS DE WARMTEWISSELAAR IN WERKING EN WAS ER GEEN WATERSTILSTAND.

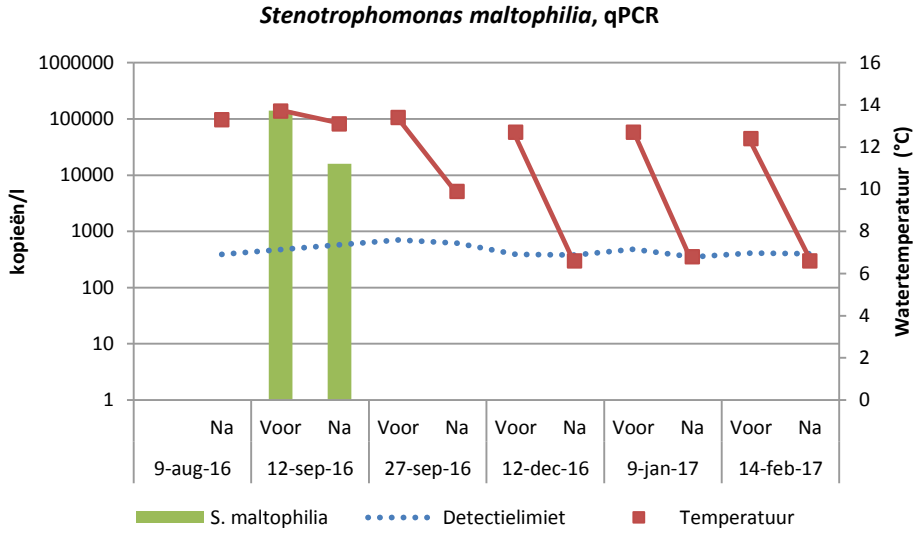


FIGUUR 4-11. ASPERGILLUS FUMIGATUS, BEPAALD MET QPCR, IN HET WATER VOOR EN NA HET SPOELEN (T/M 27 SEPTEMBER 2016) VAN DE WARMTEWISSELAAR OF VOOR EN NA DE WARMTEWISSELAAR (VANAF 12 DECEMBER 2016). HET WATERMONSTER VOOR SPOELEN OP 9 AUGUSTUS 2016 IS NIET GENOMEN, DOOR DE LAGE BUITENTEMPERATUUR WAS DE WARMTEWISSELAAR IN WERKING EN WAS ER GEEN WATERSTILSTAND.



FIGUUR 4-12. *PSEUDOMONAS AERUGINOSA*, BEPAALD MET QPCR, IN HET WATER VOOR EN NA HET SPOELEN (T/M 27 SEPTEMBER 2016) OF VOOR EN NA DE WARMTEWISSELAAR (VANAF 12 DECEMBER 2016) VAN DE WARMTEWISSELAAR VAN CULEMBORG. HET WATERMONSTER VOOR SPOELEN OP 9 AUGUSTUS 2016 IS NIET GENOMEN, DOOR DE LAGE BUITENTEMPERATUUR WAS DE WARMTEWISSELAAR IN WERKING EN WAS ER GEEN WATERSTILSTAND.

Op 12 september zijn genkopieën van *S. maltophilia* aangetroffen in het water voor en na het spoelen van de warmtewisselaar. Het spoelen verlaagt weliswaar de bacterieaantallen in het water, maar is niet dusdanig dat de aantallen onder de detectiegrens uitkomen. In 5 tot 10% van de drinkwatermonsters die in het Nederlandse distributienet worden genomen wordt *S. maltophilia* aangetroffen, dit in combinatie met de eenmalige detectie van *S. maltophilia* in de warmtewisselaar is geen reden om aan te nemen dat de vondst kan worden toegeschreven aan de warmtewisselaar.



FIGUUR 4-13. *STENOTROPHOMONAS MALTOPHILIA*, BEPAALD MET QPCR, IN HET WATER VOOR EN NA HET SPOELEN (T/M 27 SEPTEMBER 2016) OF VOOR EN NA DE WARMTEWISSELAAR (VANAF 12 DECEMBER 2016) VAN DE WARMTEWISSELAAR VAN CULEMBORG. HET WATERMONSTER VOOR SPOELEN OP 9 AUGUSTUS

2016 IS NIET GENOMEN, DOOR DE LAGE BUITENTEMPERATUUR WAS DE WARMTEWISSELAAR IN WERKING EN WAS ER GEEN WATERSTILSTAND.

4.4 Energetisch en Economisch rendement

4.4.1 Beschikbare gegevens

Thermo Bello heeft maandelijkse gegevens van de installatie gedeeld. Hierin zijn (o.a.) de volgende gemiddelde of cumulatieve maandwaarden opgenomen:

- weercondities (temperatuur, graaddagen, straling),
- energieverbruik van de installatie (gas en elektra),
- de productie van warmte (door warmtepomp en ketels),
- de netto afname van warmte de gebouwen (utiliteit en woningen)
- kosten en inkomsten (kosten voor energie en inkomsten van de afnemers)

De data is beschikbaar van juni 2012 tot augustus 2016, omdat de data van 2012/begin 2013 enkele onlogische waarden en foutieve referenties naar monitoringsdata bevat, zijn alleen de drie laatste volledige jaren van de data geanalyseerd, dat wil zeggen 1 september 2013 tot en met 1 september 2016.

Temperatuurgegevens van het drinkwater zijn niet beschikbaar, de COP van het totale systeem en van de warmtepompen kunnen wel worden berekend, evenals de CO_2 uitstoot reductie in vergelijking met conventionele installaties.

Omdat de kosten ook bekend zijn, kan ook de prijs van de geleverde warmte worden bepaald om te zien in hoeverre deze vorm van warmtelevering concurrerend is met andere warmtenetten. ACM[3] stelt jaarlijks de maximale prijs vast voor warmteleveranciers. In de periode 2014-2015 was de prijs net iets minder dan 25 €/GJ (ACM, 2016).

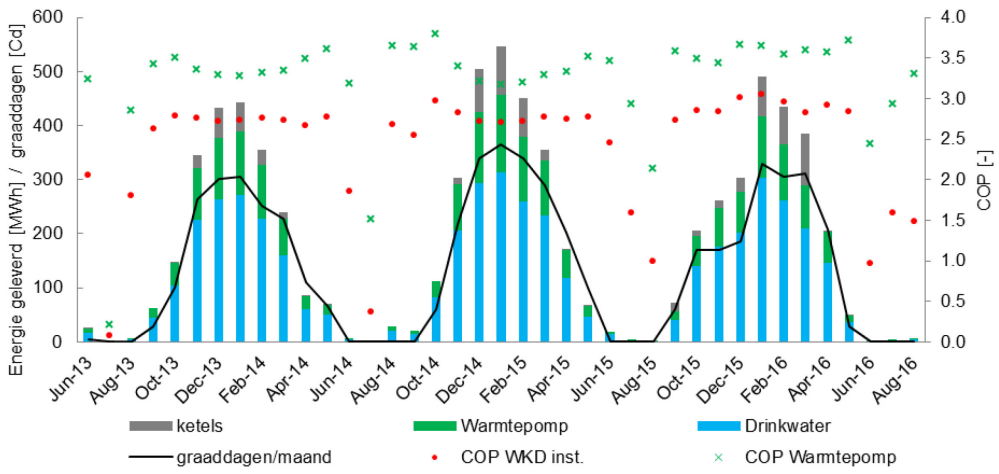
4.4.2 Analyse monitoringsdata

In Figuur 4-14 zijn de belangrijkste energiestromen opgenomen die bijdragen aan de warmteproductie. Hieruit blijkt dat de ketels maar circa 13% bijdragen aan de energie levering en dat de warmtepomp in tijden van warmtevraag met een COP van 3 tot 3,5 werkt. De overall COP van de installatie is lager dan de COP van de warmtepomp door het elektriciteitsgebruik van hulpapparaten, zoals circulatiepompen, regelingen etc. De hulpapparaten gebruiken ongeveer 20% van de benodigde elektriciteit.

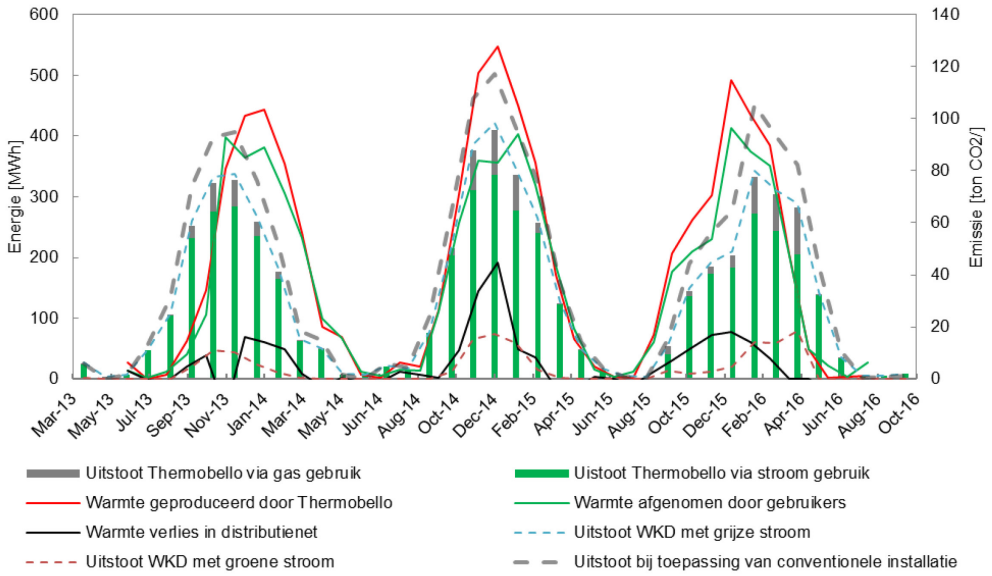
In Figuur 4-15 is onderscheid gemaakt tussen hoeveel warmte is afgenomen en geproduceerd. Hieruit blijkt dat er verliezen optreden en dat die toenemen naarmate de warmtelevering groter wordt. Gemiddeld genomen is het verlies circa 13% (gewogen gemiddelde). In de overgangssituatie komen er maanden voor dat het verlies negatief is, waarbij het overigens wel gaat om relatief kleine hoeveelheden warmte. Het is onduidelijk of dit wordt veroorzaakt door onregelmatigheden in de metingen, of dat bijvoorbeeld de warmteopslag in de bodem rondom de transportleidingen een rol speelt. Dat het totale verlies toeneemt bij toename van de levering is logisch, procentueel zou het verlies redelijk constant moeten zijn, wat in de praktijk ook het geval is. In

[3] Autoriteit Consument & Markt

Tabel 4-1 zijn de belangrijkste geaggregeerde KPI's opgenomen.



FIGUUR 4-14. ENERGIE STROMEN, GRAADDAGEN EN COP'S VAN DE WKD-INSTALLATIE IN CULEMBORG



FIGUUR 4-15. WKD-INSTALLATIE IN CULEMBORG: GEPRODUCEERDE, GELEVERDE EN VERLOREN WARMTE OP DE LINKER Y-AS; DE EMISSIE OP DE RECHTER Y-AS

TABEL 4-1. BELANGRIJKSTE KPI'S VOOR DE THERMO BELLO WKD

	Culemborg	Referentie	
Gewogen gemiddelde COP Warmtepomp	3.4	3 - 6	-
$SPF_{verwarmen}$ WKD	2.8	2 – 5	-
$SPF_{verwarmen}$ overall (inclusief verliezen + piekvoorziening)	1.1	2 - 5	
Productie kosten warmte (exclusief netwerkkosten)	11		€/GJ
CO2 reductie t.o.v. conventioneel bij grijze stroom	20 %		
CO2 reductie t.o.v. conventioneel bij groene stroom	90 %		

4.4.3 Berekening Total Cost of Ownership (TCO)

Bij de berekening van de TCO is onderscheid gemaakt tussen 3 verschillende scenario's;

- een systeem waarbij invulling wordt gegeven aan de verwarmings- en koelvraag met een conventioneel individueel systeem (gas ketel en compressie koelmachine; scenario 0).
- de installatie zoals die geïnstalleerd is in Culemborg en door Thermo Bello wordt bedreven (scenario 1)
- een gelijk systeem aan Thermobello, alleen dan met een WKO-systeem i.p.v. een WKD (scenario 2)

De energiehoeveelheden die deze componenten leveren zijn gebaseerd op de gemonitorde door Thermo Bello geleverde energie.

In de conventionele situatie krijgen alle woningen een eigen gasketel. De bedrijven krijgen ook een gasketel plus een koelmachine voor de koelvraag. De bedrijven die geen koeling krijgen van Thermo Bello krijgen een kleinere koelmachine, waarbij is aangenomen dat de koelvraag de helft is van die van de bedrijven die wel koeling afnemen van Thermo Bello. De grootte van de componenten is bepaald aan de hand van het energiegebruik van de gebouwen uit de data van Thermo Bello en 2.000 vollasturen per seizoen.

De capaciteit van de systeemcomponenten en het energiegebruik van de geïnstalleerde installatie zijn opgenomen in Tabel 4-2. De TCO voor de drie scenario's, die is berekend op basis van deze systeemeigenschappen is eveneens opgenomen in de tabel.

TABEL 4-2. TCO; UITGANGSPUNTEN COMPONENTEN EN ENERGIEGEBRUIK EN RESULTATEN

	Scenario 0 conventioneel	Scenario 1 Thermo Bello	Scenario 2 WKO
Gasketels	192 x 3 kW + 8 x 100 kW	2x 250 kW	2x250 kW
Zonne collectoren + Boiler	-	192	192
Warmtepomp	-	2x 375 kW	2x375 kW
Droge koelers	3x 56 kW, 5x 28 kW	4x 37,5 kW	4x37,5 kW
TSA	-	590 kW, 150 kW	590 kW, 100 kW
Buffervat	8 x 2 m^3	50 m^3	50 m^3
Warmtenet / aansluitingen	-	~4,000m / 200	~4150 m / 200
Lengte Gasnet / aansluitingen	~4,000 m / 200	~200 m / 1	~200m / 1
WKO bronnen	-	-	2
Gas / jaar	370,000 m^3	27,000 m^3	14,000 m^3
Elektriciteit / jaar	209,000 kWh	796,000 kWh	690,000 kWh
CAPEX	1 M€	2.2 M€	2.4 M€
TCO 50 jaar	**43.5 M€**	**37.1 M€**	**34.1 M€**

4.4.4 Optimalisatie

Om significante CO_2-uitstoot reductie te realiseren, moet de gebruikte stroom duurzaam worden geproduceerd. De casus kan dus worden geoptimaliseerd door inkoop van groene stroom of door het zelf te produceren. De WKD-installatie gebruikt circa 1.000 MWh elektriciteit per jaar, daarvoor is ongeveer 10.000 m^2 aan zonnepanelen nodig of een windmolen van 0,5 MW (incl. passende opslag)

Mogelijk valt er nog wat te verbeteren aan de energie-efficiëntie van het WKD-systeem. De uitstoot van de WKD-installatie is per geleverde MWh het grootst in de koude maanden (de uitstoot van de gasketels niet meegenomen). Dit wordt mogelijk veroorzaakt door een kleinere ΔT over het distributienet waardoor meer pompenergie wordt verbruikt. Tegelijkertijd is in die maanden ook de COP van de warmtepomp iets lager. Nadere monitoring en analyse kan richting geven aan nadere verbetering.

Het elektragebruik voor hulpapparaten (pompen etc) is 20% van alle benodigde elektriciteit. Door dit verbruik te monitoren en analyseren kan mogelijk in de regeling zuiniger worden bediend.

4.5 Life cycle analysis (LCA) WKD Culemborg

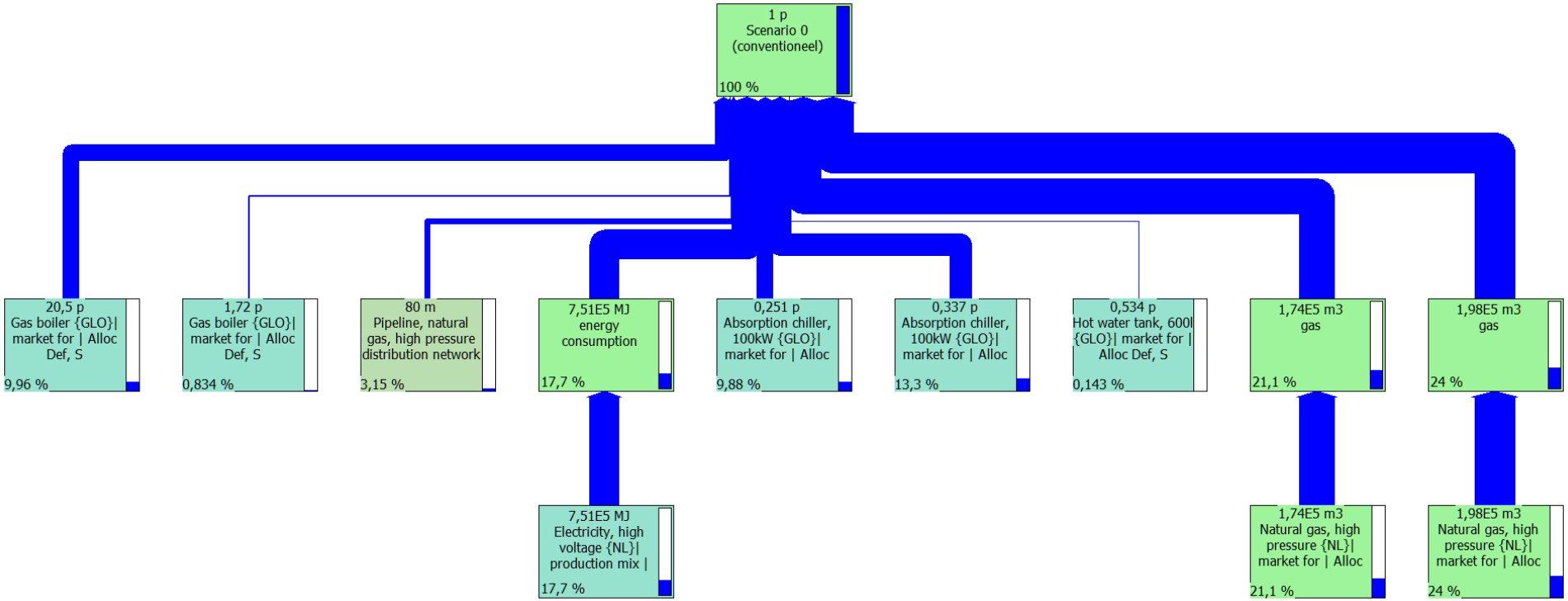
De LCA-analyse laat zien dat er geen significant verschil in milieu-impact is tussen scenario 0 en 1, met respectievelijk 98,8 en 101 kilo eco-punten (Tabel 4-3). Wel zijn er grote verschillen in onderliggende endpoints, zoals voor “ecosystemen” en “grondstoffen”. In beide gevallen is het verschil in ecopunten twee keer zo groot, waarbij voor endpoint “ecosystemen” scenario 0 een lagere milieu-impact heeft, terwijl voor endpoint “grondstoffen” scenario 1 een lagere milieu-impact heeft. In Bijlage VII is de milieu-impact per impactcategorie opgenomen.

TABEL 4-3 MILIEU-IMPACT VAN SCENARIO 0 EN 1 PER IMPACT GROEP (END POINTS).

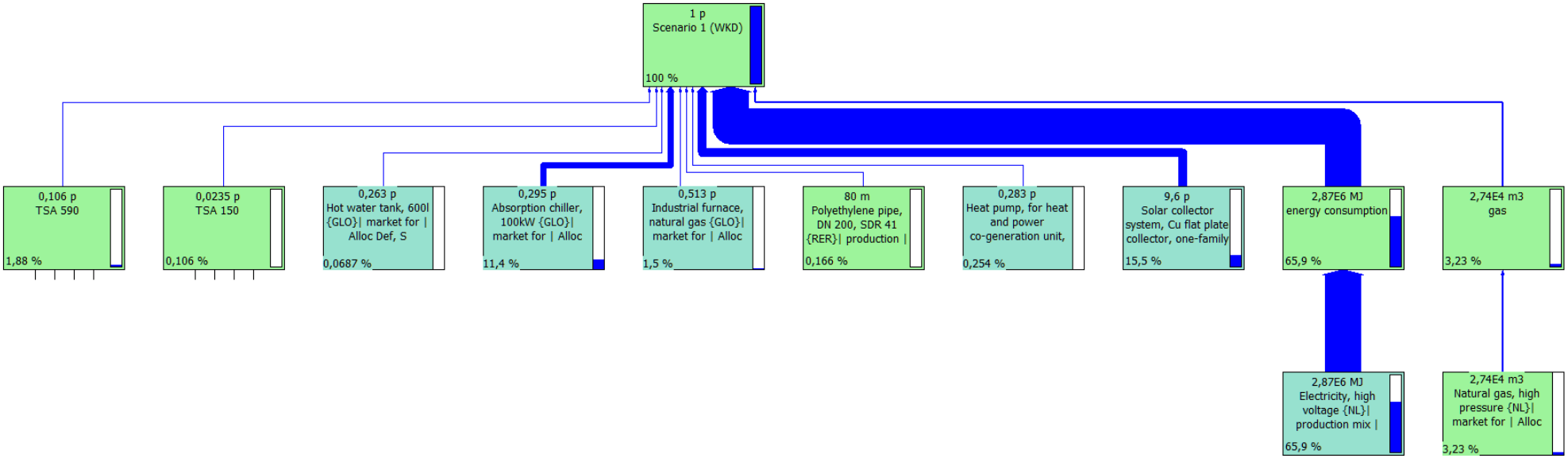
Impact groep	Scenario 0 (kPt)	Scenario 1 (kPt)
Gezondheid van de mens	42,6	55,8
Ecosystemen	9,45	19,1
Grondstoffen	46,8	26,4
Totaal	98,8	101

De boomstructuren van scenario 0 en 1, respectievelijk Figuur 4-16 en Figuur 4-17, maken de mate van milieu-impact van elk proces op het totale scenario visueel inzichtelijk. Voor scenario 0 geldt dat de operationele parameters verantwoordelijk zijn voor 63% van de milieu-impact; met een percentage van 17,7% en 45,1% voor respectievelijk de energie en gasconsumptie. De infrastructuur in scenario 0 heeft op jaarbasis een kleinere impact (37%), en wordt met name bepaald door de bijdrage van CV-ketels (11% op gehele scenario) en koelers (23% op gehele scenario).

Voor scenario 1 wordt de milieu-impact op jaarbasis voor 31% bepaald door de infrastructuur en dit wordt met name veroorzaakt door de koelers (11% op gehele scenario) en zonnecollectoren (16% op gehele scenario). Gezien de grote mate van impact van de koelers, is het zaak deze scherp op vermogen te ontwerpen.

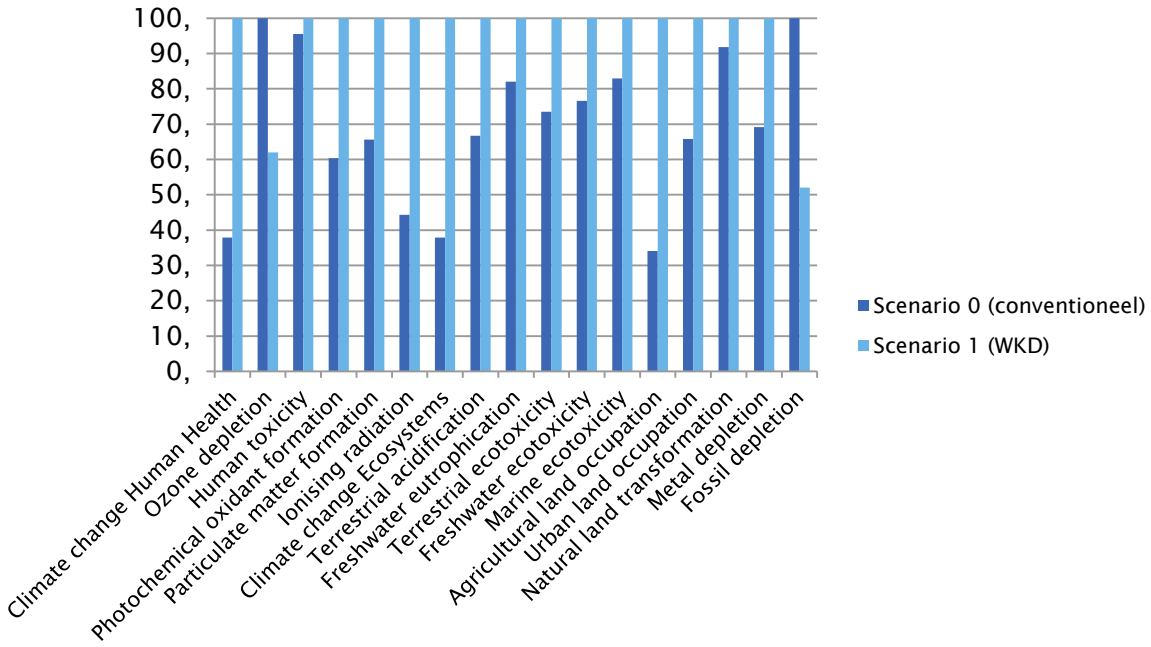


FIGUUR 4-16 BOOMSTRUCTUUR VAN SCENARIO 0. DE DIKTE VAN DE LIJN IS EEN WEERGAVE VAN DE PERCENTUELE BIJDRAGE OP DE TOTALE MILIEUIMPACT. IN DE BLOKKEN STAAN DE GEBRUIKELIJKE EENHEDEN VERMELD, DE “P” STAAT VOOR PIECE/STUK. OVERIGE TERMINOLOGIE IS LCA-SPECIFIEK EN BEHOEFT IN HET KADER VAN DIT PROJECT GEEN NADERE TOELICHTING.



FIGUUR 4-17 BOOMSTRUCTUUR VAN SCENARIO 1. DE DIKTE VAN DE LIJN IS EEN WEERGAVE VAN DE PERCENTUELE BIJDRAGE OP DE TOTALE MILIEUIMPACT. IN DE BLOKKEN STAAN DE GEBRUIKELIJKE EENHEDEN VERMELD, DE “P” STAAT VOOR PIECE/STUK. OVERIGE TERMINOLOGIE IS LCA SPECIFIEK EN BEHOEFT IN HET KADER VAN DIT PROJECT GEEN NADERE TOELICHTING.

In Figuur 4-18 zijn scenario 0 en 1 met elkaar vergeleken op basis van verschillende midpoints. Ondanks dat scenario 1 een fractie lagere milieu-impact heeft (Tabel 4-3), komt scenario 1 op 15 van de 17 midpoints uit op een hogere milieu-impact. Dit wordt met name veroorzaakt door de volgende twee punten: 1) de resultaten worden weergegeven in percentages waarbij de hoogste impact op 100% wordt geschaald, waardoor niet inzichtelijk is welk midpoint een relatief hoog of laag resultaat heeft en 2) de wetenschappelijke weging achter deze midpoints bepaalt in sterke mate het eindresultaat. Om meer inzicht te geven welke midpoint waarden relatief hoog of laag zijn is in Bijlage VII een tabel opgenomen met de impact categorie (midpoint) waarden van scenario 0 en 1.



FIGUUR 4-18 VERGELIJKING VAN SCENARIO 0 EN 1 OP BASIS VAN IMPACT CATEGORY, WAARBIJ DE SCENARIO MET DE HOOGSTE IMPACT OP 100% WORDT GESCHAALD.

Parameter sensitiviteitsanalyse

Bij uitvoering van een verkennend LCA-onderzoek is het noodzakelijk om de invloed van de aannamen nader te bestuderen. Op deze manier kan worden bepaald naar welke parameters gedetailleerder onderzoek gedaan moet worden om tot een goede inschatting te komen. Hieronder zijn de belangrijkste sensitiviteitsanalyses beschreven: namelijk lengte van het gasleidingnet, de keuze van de energiesoort, levensduur van de koeler, en oorsprong van gas. Elke analyse wordt uitgevoerd in relatie tot de “standaard” die beschreven is in hoofdstuk 2.3.6.

Voor de lengte van het (gas) leidingnetstelsel is een grove aanname van 4000 m gemaakt. Tabel 4-4 laat zien dat een verandering van de lengte van het leidingnetstelsel met ±1.000 m een verwaarloosbaar verschil in milieu-impact geeft voor scenario 1, en bij scenario 0 bedraagt dit minder dan 1%. Dit kan verklaard worden door de percentuele bijdrage van het leidingstelsel aan de totale milieu-impact van het scenario; 3.2% en 0,2% voor respectievelijk scenario 0 en 1. De lage sensitiviteit van deze parameter wordt (deels) verklaard door de hoge levensduur (50 jaar) die is aangenomen. Het verschil in impact van deze parameter

tussen deze twee scenario's, wordt verklaard doordat de leiding in elk scenario een ander doel dient, waardoor een ander type materiaal wordt toegepast.

TABEL 4-4 PARAMETERSENSITIVITEITSANALYSE VAN LENGTE LEIDINGNETSTELSEL

Lengte leidingnetstelsel (m)	Scenario 0 (kPt)	Scenario 1 (kPt)
3000	98,1	101
4000 (standaard)	98,8	101
5000	99,6	101

Aangezien de functionele eenheid per jaar is uitgedrukt, heeft de aangenomen levensduur van de infrastructuur een effect op de totale milieu-impact van een scenario. Er is voor elk onderdeel van de infrastructuur apart beoordeeld wat de verwachte levensduur is (tussen de 10 en 50 jaar, Bijlage VI), het is dus lastig om een sensitiviteitsanalyse te doen op de term levensduur. Er is geprobeerd om wel een vergelijking te maken met de aanname dat de hele infrastructuur is vastgesteld op 20 en 30 jaar. Deze resultaten laten zien dat een gemiddelde levensduur van 20 jaar de totale impact verlaagt met 12% (scenario 0) en 7% (scenario 1). Tabel 4-5 maakt duidelijk dat er grote verschillen zijn als gevolg van verandering van de aanname in levensduur van de infrastructuur. Echter, deze aannamen zijn in het standaard model voor elk onderdeel apart gemaakt, waardoor het percentuele effect niet op elk onderdeel even groot is.

Tabel 4-5 geeft aan dat scenario 1 een hoger milieu-impact heeft voor de standaard gekozen levensduur aanname, en dat dit het geval blijft wanneer voor een algehele levensduur van 20 of 30 jaar wordt gekozen. Wanneer de levensduur naar 15 jaar wordt aangepast levert dit een verbetering op voor scenario 0, maar een verhoging van milieu-impact voor scenario 1. Dit is een direct gevolg van het feit dat de infrastructuur componenten van scenario 0 met name een levensduur van 10 jaar hebben toegewezen gekregen, terwijl in scenario 1 er ook enkele componenten een levensduur van 20 of 25 jaar kennen. Bovendien is de impact van infrastructuur op de totale milieu-impact voor scenario 1 iets hoger (37%) dan voor scenario 0 (31%).

TABEL 4-5 PARAMETERSENSITVITEITSANALYSE VAN LEVENSDUUR INFRASTRUCTUUR

Levensduur	Scenario 0 (kPt)	Scenario 1 (kPt)
Standaard (Bijlage VI)	98,8	101
15 jaar	95,0	102
20 jaar	86,7	94
30 jaar	78,5	86

In beide scenario's blijkt de droge koeler het onderdeel met de grootste milieu-impact van de infrastructuur; dit wordt veroorzaakt door de korte levensduur die is toegekend aan de droge koeler (10 jaar). Tabel 4-5 liet zien dat aannamen met betrekking tot de levensduur een belangrijke factor zijn in de totale milieu-impact. Uiteraard is dit ook het geval wanneer er enkel naar het effect van de levensduur van de droge koeler wordt gekeken (Tabel 4-6). Uit Figuur 4-16 en Figuur 4-17 blijkt dat de droge koelers in scenario 0 een grotere bijdrage hebben (23%) dan in scenario 1 (13%). Dit verklaart dan ook dat een verlenging van levensduur voor de droge koeler meer milieuwinst oplevert voor het conventionele scenario (0) dan voor het WKD-systeem(1).

TABEL 4-6 PARAMETERSENSITIVITEITSANALYSE VAN LEVENSDUUR VAN DE DROGE KOELER.

Levensduur	Scenario 0 (kPt)	Scenario 1 (kPt)
10 jaar (standaard)	98,8	101
15 jaar	91,2	97,5
20 jaar	87,4	95,6

In deze LCA is standaard gerekend met een “production mix” voor energie bijdrage. Dit houdt in dat er een marktconforme ratio tussen verschillende energiesoorten is genomen; men kan echter ook doelbewust voor groene-stroom opties kiezen. In beide scenario’s heeft energieverbruik een forse bijdrage in de totale milieu-impact (namelijk 18 en 66%). Gezien het feit dat het energieverbruik voor scenario 1 (796 MWh) fors hoger is dan voor scenario 0 (209 MWh) (Tabel 2-5 en Tabel 2-6), kan de keuze voor groene stroom een belangrijke rol spelen in de afweging tussen deze scenario’s. Tabel 4-7 maakt duidelijk dat, wanneer er voor windenergie wordt gekozen, scenario 1 een significant lagere milieu-impact heeft dan scenario 0, namelijk 53% lager.

Voor voorgaande sensitiviteitsanalyses, waarbij scenario 0 door verandering van aanname toch gunstiger uitkwam dan scenario 1, is deze ook doorgerekend met een groenere energievorm. In alle situaties kwam dan Thermo Bello significant gunstiger uit dan het conventionele scenario, wanneer er gekozen werd voor windenergie. Wanneer men voor een Thermo Bello systeem kiest, is het advies dan ook om het systeem van groene stroom te voorzien.

TABEL 4-7 PARAMETERSENSITIVTEITSANALYSE VAN ENERGIEBRONNEN

Energiesoort	Scenario 0 (kPt)	Scenario 1 (kPt)
Production mix (standaard)	98,8	101
Windenergie	83	40,8
Natural gas	96,9	93,9
Kernenergie	84	44,7

Het is uiteraard ook mogelijk om voor een groenere gas variant te kiezen. Dientengevolge is er een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd voor een groenere gas variant. Tabel 4-8 laat zien dat het kiezen voor een groenere biogas bron de milieu-impact van scenario 0 significant reduceert (48%), terwijl dit maar minimaal is voor scenario 1 (3%). Dit kan rechtstreeks worden verklaard doordat het gasverbruik voor scenario 0 fors hoger is ($372*10^3$ m^3) dan voor scenario 1 ($27,4*10^3$ m^3).

TABEL 4-8 PARAMETERSENSITIVITEITSANALYSE VAN GAS SOORT

Energiesoort	Scenario 0 (kPt)	Scenario 1 (kPt)
Natural gas (standaard)	98,8	101
Biogas	51,2	97,8
Biogas + windenergie	35,4	37,3

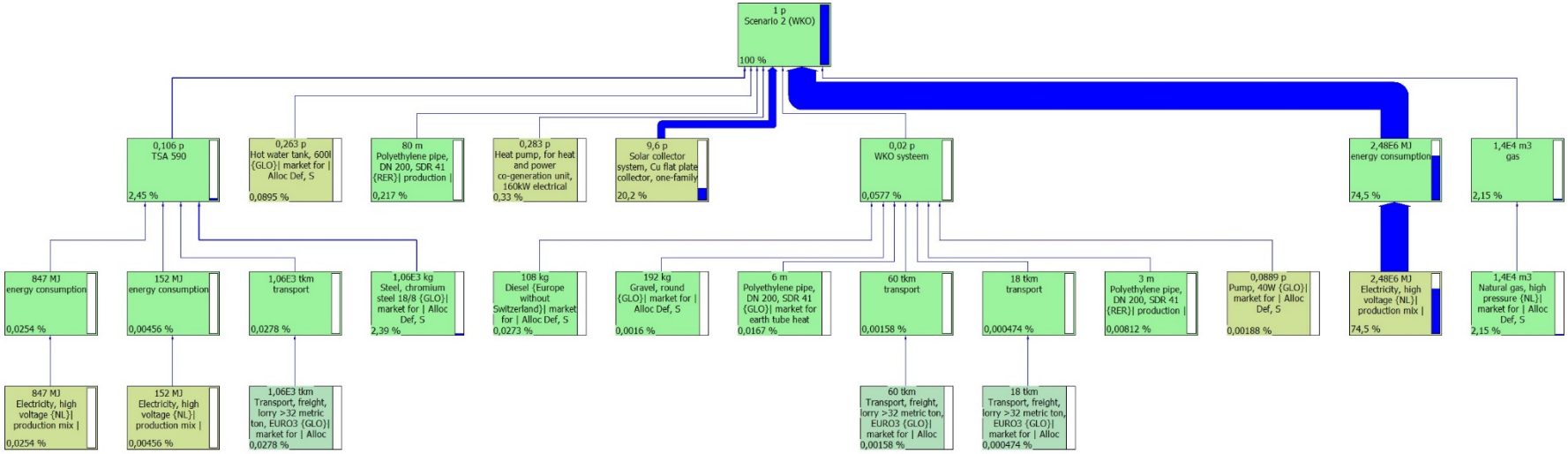
Wanneer voor zowel een groen gas als een groene energiebron wordt gekozen zijn de onderlinge verschillen in milieu-impact verwaarloosbaar te beschouwen (zie Tabel 4-8).

Scenario met WKO-systeem

Het is ook mogelijk een WKO-systeem in te zetten om deze energievraag te realiseren (scenario 2). Dit verlaagt zowel het gas- als het energieverbruik, maar er dient wel een infrastructuur voor het WKO-systeem gebouwd te worden. Een beschrijving van de aannamen en berekening, zoals deze is uitgevoerd voor scenario 2, is opgenomen in Bijlage VIII. Een vergelijking van scenario 2 met 1 laat zien dat de milieu-impact met 23% afneemt door het toepassen van een WKO-systeem (Tabel 4-9). Dit komt omdat de energie- en gasconsumptie behoorlijk afneemt (respectievelijk 13 en 49 %)). Op basis van milieu-impact betekent dit dat voor de casus in Culemborg een WKO-systeem beter uitpakt dan een WKD-systeem.

TABEL 4-9 MILIEU-IMPACT VAN HET WKD-SYSTEEM (SCENARIO 1), AANGEVULD MET HET WKO-SYSTEEM (SCENARIO 2)

Impact groep	Scenario 1 (kPt)	Scenario 2 (kPt)
Gezondheid van de mens	55,8	40,5
Ecosystemen	19,1	15,9
Grondstoffen	26,4	21,3
Totaal	101	77,7



FIGUUR 4-19 BOOMSTRUCTUUR MILIEU-IMPACT VAN SCENARIO 2 (WKO). DE DIKTE VAN DE LIJN IS EEN WEERGAVE VAN DE PERCENTUELE BIJDRAGE OP DE TOTALE MILIEUIMPACT. IN DE BLOKKEN STAAN DE GEBRUIKELIJKE EENHEDEN VERMELD, DE “P” STAAT VOOR PIECE/STUK. OVERIGE TERMINOLOGIE IS LCA SPECIFIEK EN BEHOEFT IN HET KADER VAN DIT PROJECT GEEN NADERE TOELICHTING.

5 Discussie

5.1 Microbiologie

5.1.1 Parameters voor groei van micro-organismen

Groei van micro-organismen in het drinkwater of de drinkwaterbiofilm hangt niet alleen af van de watertemperatuur, maar wordt ook door een aantal andere milieucondities bepaald (nutriënten, pH, biologische interacties, etc). De verschillende groeifactoren hebben onder andere invloed op de samenstelling van de microbiële populatie van het drinkwater en de biofilm, de wettelijke microbiologische parameters in het Drinkwaterbesluit (KG22, *Aeromonas* en *Legionella* spp.) en eventuele groei van pathogene micro-organismen in het water of de biofilm. Temperatuur is hierin een zeer belangrijke parameter, bijvoorbeeld voor de groei van *L. pneumophila* (van der Kooij *et al.*, 2009, BTO 2013.240(s)). Naast temperatuur speelt ook de hoeveelheid nutriënten een belangrijke rol. Zo is voor *L. pneumophila* bijvoorbeeld waargenomen dat wanneer de hoeveelheid AOC in het water onder de 1 µg AOC/l ligt, *L. pneumophila* niet in staat is zich te vermeerderen, ook niet wanneer in dat geval de temperatuur optimaal is (37-40˚C) (BTO 2011.037). Overigens is het in dat geval ook van belang dat leidingmaterialen zijn gebruikt die een biomassaproductiepotentie van onder de 400 pg ATP/cm^2 hebben (bijvoorbeeld koper of PVC-C, maar ook sommige RVS-materialen). Het is echter (nog) niet onderzocht bij welke ondergrens andere problematisch micro-organismen niet langer in staat zijn te groeien. Bij sommige productielocaties in Nederland bevat het geproduceerde drinkwater een AOC-gehalte beneden de 1 µg AOC/l. Wanneer bij dergelijke locaties ook leidingmaterialen zijn gebruikt die nauwelijks groei van micro-organismen veroorzaakt, dan zullen temperatuurveranderingen bij warmtewisselaars naar verwachting geen invloed hebben op de microbiologische waterkwaliteit. Bij de meeste productielocaties is de AOC-concentratie van het water echter boven de 1 µg AOC/l en wanneer op die locaties warmtewisselaars worden toegepast, dan zouden temperatuursveranderingen de waterkwaliteit mogelijk kunnen verslechteren.

De temperatuur van het water dat door de warmtewisselaars van Hoogeveen en Culemborg stroomt, is laag en ligt tijdens de monstername altijd onder de 15˚C. Uit een eerder onderzoek naar het effect van temperatuur op groei van een aantal opportunistische pathogenen, blijkt dat groei bij ideale voedingscondities pas vanaf 15˚C en in een enkel geval vanaf 10˚C mogelijk is (BTO 2014.217(s) en BTO 2017.024). Bij de hier aangetroffen lage temperaturen en de beperkte temperatuurverschillen is er nauwelijks bacteriële groei en een effect op de totale biomassa te verwachten. Over het algemeen wordt aangenomen dat groei van micro-organismen, inclusief de opportunistische pathogenen, voornamelijk plaats vindt bij temperaturen boven de 15˚C. Hogere temperaturen kunnen daarbij leiden tot meer groei van deze onwenselijke micro-organismen.

De hogere watertemperatuur in Hoogeveen (ten opzichte van Culemborg) verhoogt alleen het aantal *Aeromonas*-bacteriën in het water dat door de warmtewisselaar stroomt. *Aeromonas* is een indicator voor nagroei, en is niet pathogeen omdat drinkwaterstammen niet overeenkomen met *Aeromonas*-stammen die uit patiënten zijn geïsoleerd (Havelaar et al., 1992). De aantallen van de andere geteste micro-organismen zijn niet verhoogd door een hogere temperatuur. Een verlaging van de temperatuur, zoals voornamelijk in de winter in

Culemborg het geval is, leidt tot lagere ATP waarden en aantallen KG22 bacteriën. Een lagere temperatuur heeft dus een positief effect op deze waterkwaliteitsparameters.

5.1.2 Microbiologische analyse van het drinkwater en de biofilm

In dit onderzoek is alleen het water van de warmtewisselaars meerdere malen gedurende één jaar bemonsterd en geanalyseerd. Het meest interessant is echter om ook de biofilm meerdere keren te bemonsteren. Temperatuursveranderingen hebben het grootste effect op de biofilm aangezien de biofilm langdurig aan een verhoogde of verlaagde temperatuur wordt blootgesteld. Hierdoor hebben micro-organismen langer de tijd om te groeien en hogere aantallen te bereiken. Voor het water geldt dit minder sterk. Het water wordt opgewarmd of afgekoeld als het door de warmtewisselaar stroomt, omdat dit echter van korte duur is, zal de temperatuursverandering van het water klein zijn en zal dit niet snel resulteren in groei. In het water kunnen wel micro-organismen voorkomen die uit de biofilm zijn vrijgekomen. Het meten van het water geeft daarom wel een indicatie van de microbiologische activiteit in de biofilm.

Reeds bestaande warmtewisselaars zijn niet gebouwd op het makkelijk nemen van biofilmmonsters, waarvoor een leidingstuk moet worden uitgenomen of waarvoor met een steriel wattenstaafje een monster moet worden genomen van de binnenkant van een drinkwaterleiding. Na een dergelijke ingreep moet het water conform het protocol hygiënisch werken bemonsterd en geanalyseerd worden om aan te tonen dat het water microbiologisch veilig is. Totdat de resultaten bekend zijn, staat het systeem stil, wat tot drie dagen kan duren. Een oplossing hiervoor is om een by-pass aan te leggen om een deel van de bestaande aan- en afvoerende leiding van de warmtewisselaar heen. Het te bemonsteren leidingdeel moet dan kunnen worden afgesloten, waarbij het water via de by-pass door de warmtewisselaar gaat stromen. Bij het bemonsteren van de biofilm op de afgesloten leiding hoeft dan niet de hele warmtewisselaar buiten werking worden gesteld en kan de biofilm vaker worden bemonsterd. Hiervoor zijn echter wel aanpassingen in het systeem nodig.

In een TKI-project waarbij in de hogeschool van Tilburg een warmtewisselaar wordt gebouwd, is rekening gehouden met microbiologische monitoring van het water en de biofilm. In deze installatie zijn kleine leidingsegmenten geplaatst, met daar omheen afsluiters. Hierdoor is het uitnemen van een leidingstuk en plaatsen van een nieuw leidingstuk gemakkelijk, met een zeer beperkte kans op besmetting. Het resultaat is dat de warmtewisselaar slechts tijdelijk, en niet voor een periode van drie dagen, stil gezet hoeft te worden. Tijdens monstername staat het water in de warmtewisselaar stil, na de bemonstering wordt het systeem weer aangezet.

5.1.3 Potentieel gevaar van warmtewisselaar

In de warmtewisselaars van Hoogeveen en Culemborg is de temperatuur laag genoeg om groei van opportunistische pathogenen te voorkomen. Het mogelijke gevaar van een warmtewisselaar en bijkomende hogere temperaturen is dat opportunistische pathogenen gaan groeien in het warmere water of de warmere biofilm in de warmtewisselaar.

Een voorbeeld hiervan uit de literatuur is groei van *L. pneumophila* in het water van een warmtewisselaar in een Canadees ziekenhuis waar een warmtewisselaar was geïnstalleerd (Bédard *et al*., 2016). Enige tijd na de installatie van de warmtewisselaar werd bij twee patiënten op de intensive care *L. pneumophila* serogroep 5 geïsoleerd. Een groot deel van de kranen was besmet met de bacterie, waarbij de warmtewisselaar de bron bleek te zijn. De temperatuur in de warmtewisselaar varieerde tussen de 9 en 46˚C, temperaturen waarbij *L. pneumophila* in een biofilm niet afgedood wordt maar groei juist wordt bevorderd (bij temperaturen boven 28 tot 30˚C). De aantallen *L. pneumophila* in het water bedroeg 5000

kve/ml (water in de warmtewisselaar) en 88000 kve/ml (afvoerende water). De problemen werden veroorzaakt door het recirculeren van (besmet) warm water, stilstaand water gedurende 50% van de tijd en een groot contactoppervlak. Hierdoor heeft de besmetting zichzelf in stand kunnen houden. Een shockbehandeling met hoge watertemperatuur (>60°C gedurende 7 minuten) zorgde voor gedeeltelijke desinfectie van de kranen en het recirculerende warme water.

Dit soort ongewenste effecten zijn niet aangetoond bij de warmtewisselaars van Culemborg en Hoogeveen, omdat de temperatuur onvoldoende toenam om groei van *Legionella* mogelijk te maken. Bij een beperkte temperatuurstijging, zoals in Hoogeveen en Culemborg, is het risico dus zeer klein. Het voorbeeld uit Canada toont wel aan dat het belangrijk is om de temperatuur te monitoren bij toepassing van warmtewisselaars. Bij stijging van de temperatuur boven een bepaalde grenswaarde is een gedegen microbiologische analyse nodig. Geadviseerd wordt om voor deze grenswaarde 25°C aan te houden, gelijk aan de wettelijke, maximale watertemperatuur. Omdat deze waarde echter niet is gebaseerd op microbiologisch onderzoek, maar op een wettelijke parameter, wordt aanbevolen om aanvullend onderzoek te doen naar de invloed van temperatuur en nutriënten op de groei van opportunistische pathogenen (anders dan *L. pneumophila*) en mogelijk aan de hand van de uitkomsten de grenswaarde aan te passen.

5.2 Energie, economie en duurzaamheid

Het was erg lastig om monitoringsdata van de bestaande WKD-systemen ter beschikking te krijgen. In veel gevallen was het er niet, niet bekend bij wie, of was het beschikbaar bij een externe partij die niet kon/wilde delen. Uit de data die er wel was blijkt dat het niet eenvoudig is om een WKD-installatie succesvol, dat wil zeggen energie- en kostenbesparend, te bedrijven. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat er nog zeer weinig ervaring is met WKD installaties. In deze fase van de ontwikkelingscurve zullen er naar verwachting nog forse stappen kunnen worden gemaakt in het verbeteren van de prestatie en reduceren van de aanlegkosten.

Het monitoren en bijsturen van een WKD-installatie is cruciaal voor succesvolle toepassing. Daar waar er actief beheer wordt gevoerd op de installatie, functioneert de installatie kostenefficiënt, al blijkt uit analyse van de data dat omwille van de duurzaamheid wel groene stroom moet worden ingekocht, i.p.v. grijze stroom van het net.

Bij het vergelijken van een WKD met een conventioneel systeem voor verwarming en koeling (ketel en koelmachine) is een WKD op de lange termijn goedkoper. Het is echter de vraag of het daarmee ook het meest duurzame systeem is. Met het uitfaseren van gas is een gas ketel eigenlijk geen goede referentie meer en zouden eigenlijk andere duurzame alternatieven moeten worden afgezet tegen een WKD-systeem. In deze studie is daarom ook een snelle vergelijking gemaakt met een WKO-systeem in plaats van een WKD-systeem. Hieruit blijkt dat de total cost of ownership (TCO) van een WKO-systeem lager is dan van een WKD-systeem. Dit geeft aan dat het relevant is om voor praktijksituaties verschillende alternatieve scenario's door te rekenen alvorens een keuze te maken voor bijvoorbeeld WKD. De ervaring bij recente toepassingen van WKD is dat WKO en WKD steeds meer samen worden toegepast. In dergelijke gevallen wordt de WKD dan gebruikt om onbalans in de WKO-bronnen te compenseren. Deze situatie kon in dit onderzoek niet worden geëvalueerd omdat (het energievraag profiel van) de case-studielocaties zich daar niet voor leenden.

Wat is de potentie van het WKD-principe in Nederland? De totale Drinkwaterproductie in Nederland is op basis van "VEWIN kerngegevens 2016": 1.081 mln m^3, bestaande uit 750 mln m^3 (oever) grondwater + 400 mln m^3 oppervlaktewater. Voor het berekenen van de

potentie is uitgegaan van 750 mln m^3 grondwater als basis. Omdat vooral het grondwater zich goed leent voor directe levering van thermische energie wordt alleen naar het aandeel grondwater gekeken. Bij een T-verschil van 2°C en rekening houdend met de volumetrische warmtecapaciteit van water van 4,2MJ/m^3/K, is de potentiele thermische energie te leveren uit drinkwater 6,3 PJ. De totale warmtevraag van de gebouwde omgeving in 2015 was 463 PJ, waarvan 327 PJ huishoudens en 136 PJ dienstensector (Monitoring Warmte 2015", CBS/ECN (rapport ECN-E—17-018)). Het theoretische potentieel dat direct vanuit drinkwater daaraan kan worden bijgedragen is dus maximaal 1,4 %.

De LCA-analyse laat zien dat er voor de Culemborg-casus geen significant verschil in milieu-impact is tussen een conventioneel scenario en het scenario met WKD-systeem. Dit wordt voor een belangrijk deel veroorzaakt omdat in deze casus ook sprake is van koeling in de acht bedrijfspanden die onderdeel uitmaken van het project. Die koeling wordt met behulp van droge koelers alleen aan de bedrijfspanden geleverd in de zomermaanden. Zowel de benodigde apparatuur voor koeling maar vooral ook het energieverbruik van de koelers hebben een grote impact op de score van beide scenario's. Hierdoor wordt het beeld wat de LCA-analyse zou moeten opleveren voor het WKD-systeem vertroebeld.

Als de scenario's worden beschouwd in het licht van de energietransitie naar meer duurzame energiebronnen, dan ligt het voor de hand uit te gaan van het gebruik van groen gas in plaats van fossiel aardgas en van bijvoorbeeld windenergie in plaats van de standaard productiemix. De resultaten in Tabel 4-7 en Tabel 4-8 laten zien dat dit nog steeds geen significant verschil tussen beide scenario's veroorzaakt. Het wordt echter kansrijker geacht om op korte termijn over te gaan op groene wind- of zonne-energie dan op biogas, wat de toepassing van een WKD-systeem gunstiger maakt. Opvallend is verder dat vanuit oogpunt van milieu-impact de vergelijking met een WKO-systeem ongunstig uitvalt voor het WKD-systeem. Dat komt vooral door het feit dat het elektriciteitsverbruik bij een WKO-systeem 13,5 % lager is dan van een WKD-systeem.

Ecopunten zijn zodanig gedefinieerd dat een Westers persoon een gemiddelde milieu-impact heeft van 1.000 ecopunten per jaar. Het milieu-impact beslaat in dit geval dan een totale voetafdruk van alle activiteiten van de mens. Een verlaging van het milieueffect op één onderdeel valt dan vaak in het niet bij de totale afdruk van de mens. Wanneer we uitgaan van 192 woningen in Culemborg, waaruit een gemiddeld huishouden uit 2,4 personen bestaat, wordt een milieuverbetering van ~ 9 % per persoon in de wijk Lanxmeer gerealiseerd door introductie van het WKD-systeem. Er is in dit geval gerekend met de energiesoort windenergie (Tabel 4 7), omdat het de verwachting is dat dit in de nabije toekomst een realistisch scenario zal zijn.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Op grond van het microbiologisch onderzoek als onderdeel van deze studie kan het volgende worden geconcludeerd:

- In algemene zin kan op basis van dit onderzoek worden geconcludeerd dat toepassing van een WKD-systeem zeer beperkte tot geen nadelige effecten heeft voor de microbiologische drinkwaterkwaliteit in situaties waarbij de temperatuur onder de 15 °C blijft.
- Een verlaging van de temperatuur door toepassing van WKD heeft daarentegen een aantoonbaar positief effect op de waterkwaliteit (ATP en Koloniegetal).
- Het toepassen van een warmtewisselaar op rein water levert bij de relatief lage watertemperaturen in dit onderzoek geen gevaar op voor de volksgezondheid. De toename van *Aeromonas* in de zomer ligt nog ruim onder de norm maar kan mogelijk leiden tot hogere aantallen in het distributienet.
- De verschillen in ATP-gehalte en microbiële populatie tussen biofilm en water wijst op slechts een beperkte uitwisseling tussen beide niches.
- Hydraulische verstoringen kunnen mogelijk veroorzaken dat de biofilm los komt van de platen en in het water terecht komt wat vervolgens tot bijvoorbeeld nagroeiproblemen kan leiden. Hoewel in dit onderzoek voor de specifieke situatie in Culemborg (met stilstand in de zomer) geen aanwijzingen zijn gevonden dat het dagelijks spoelen van de warmtewisselaar, de aanwezige biofilm losmaakt (door veranderingen in de hydraulische condities).
- Stilstand van het water in de warmtewisselaar leidt bij de relatief lage watertemperaturen in dit onderzoek niet tot risico's voor de volksgezondheid.

Voor wat betreft het economisch en energetisch rendement van WKD kunnen op basis van deze studie de volgende conclusies worden getrokken:

- Het monitoren en optimaliseren van een WKD-installatie is cruciaal voor een succesvolle toepassing waarbij een optimaal rendement wordt behaald.
- In de vergelijking van WKD met een conventioneel systeem voor verwarmen en koelen is een WKD op de lange termijn goedkoper (lagere TCO).
- De TCO van een WKO-systeem als alternatief voor een WKD-systeem blijkt voor de in deze studie behandelde casus lager te zijn. Dit betekent dat het relevant is om verschillende duurzame scenario's tegen elkaar af te wegen.
- Het potentieel van WKD in Nederland bedraagt maximaal slechts 1,4 % van de totale warmtevraag van de bebouwde omgeving. De rol van WKD in de energietransitie zal dus beperkt blijven.

Op basis van de binnen dit onderzoek - specifiek voor de wijk Lanxmeer in Culemborg - uitgevoerde LCA studie, kunnen de volgende zaken geconcludeerd worden:

- De droge koelers, die onderdeel uitmaken van het systeem en zorgen voor koeling van de bedrijfsgebouwen in de zomer, zijn een component die relatief veel impact heeft op de LCA. Het is dan ook zaak om in deze specifieke casus sterk op vermogen van deze koelers te ontwerpen.

- Omdat de functionele eenheid per jaar is uitgedrukt, hebben de aannamen met betrekking tot de levensduur van de infrastructuur een grote sensitiviteit. Het concreet vaststellen, en indien mogelijk verlengen, van de levensduur is dan ook cruciaal.
- Door toepassing van het WKD-concept neemt het energieverbruik toe; dit bepaalt dan ook in hoge mate de totale milieu-impact. Wanneer het WKD-concept wordt toegepast is het zaak om voor groene stroom te kiezen, waarmee de milieu-impact lager ligt dan voor het conventionele scenario.
- Ook vanuit het oogpunt van milieu-impact is het relevant om een afweging te maken tussen een WKD-systeem en een WKO-systeem.

6.2 Aanbevelingen

De conclusie luidt dus dat toepassing van een WKD-systeem zeer beperkte tot geen nadelige effecten heeft voor de microbiologische drinkwaterkwaliteit. Dit houdt echter vooral verband met het feit dat op beide onderzoeklocaties de gemeten drinkwatertemperatuur onder de 15 ºC blijft. Daarom wordt aanbevolen om bij gebruik van warmtewisselaars de temperatuur van het uitgaande drinkwater continu te monitoren. Er zijn nog geen grenswaarden bekend waarboven opportunistische pathogenen mogelijk een probleem kunnen gaan vormen. Uitzondering is *L. pneumophila* waarbij een grenswaarde van 28˚C wordt aangehouden. Voor de overige opportunistische pathogenen wordt voorlopig aanbevolen om boven de wettelijke grenswaarde van 25˚C te gaan monitoren. Aanvullend onderzoek is nodig om de invloed van temperatuur op groei van andere opportunistische pathogenen in kaart te brengen om op basis daarvan een onderbouwde grenswaarde te kunnen geven.
Daarnaast is aanvullend onderzoek naar de invloed van AOC-gehaltes op groei van opportunistische pathogenen noodzakelijk. Met deze informatie kan worden aangegeven bij welk AOC-niveau bepaalde risico's te verwachten zijn.

Monitoring van de temperatuur van het uitgaande drinkwater bij de warmtewisselaar kan ook gebruikt worden om meer informatie te verzamelen over welke ondergrens voor de temperatuur wordt bereikt bij toepassing van een WKD-systeem. Onderzoek moet daarbij aantonen wat de klant hiervan merkt en wat vervolgens acceptabel is bijvoorbeeld op basis van klantbeleving maar ook op basis van (toenemende) maatschappelijke kosten voor opwarming van drinkwater.

Het is verder aan te bevelen om bij het ontwerpen en bouwen van de warmtewisselaar rekening te houden met mogelijkheden voor monstername van zowel het drinkwater (voor en na de warmtewisselaar) als van de biofilm.

Indien er meerdere typen warmtewisselaren zijn (b.v. verschillend in ontwerp of materiaal) die op drinkwater worden gebruikt, is het aan te bevelen om van meerdere typen het effect te testen bij worst-case scenario's (b.v. een voldoende hoge temperatuur). Dit onderzoek zou in een laboratoriumsetting moeten worden uitgevoerd. Op basis van deze resultaten kunnen algemene uitspraken worden gedaan over de veiligheid en risico's van elk type warmtewisselaar en bij welke omstandigheden. Momenteel wordt er aan de technische universiteit Delft onderzoek gedaan naar de rol van temperatuur en de aanwezigheid van een warmtewisselaar op de microbiologische kwaliteit van het drinkwater.

Ook voor het vaststellen van het energetisch rendement is monitoring van belang. Om betrouwbare uitspraken te kunnen doen over de energieprestatie van een WKD-installatie is het van belang om naast de flows in zowel primaire als secundaire circuits ook de temperaturen rond de warmtewisselaar te monitoren. Dat geldt ook voor de warmtewisselaars bij de afnemers. Daarnaast wordt aanbevolen om zowel het elektriciteitsgebruik van alle primaire en secundaire pompen als het elektriciteitsgebruik van de warmtepompen bij de afnemers te monitoren. Temperatuurmonitoring bij de afnemers

geeft ook informatie over hoeveel energie vanuit de circulatieleiding met de bodem wordt uitgewisseld.

Het is aan te bevelen om circulatiepompen in circuits zo te laten schakelen dat ze alleen draaien op momenten dat er sprake is van een energievraag. Aangezien het elektragebruik voor hulpapparaten zoals pompen ongeveer 20% van alle benodigde elektriciteit bedraagt, kan dit een aanzienlijk verbetering geven van het rendement van een WKD-installatie.

Om significante CO_2-uitstoot reductie te realiseren, moet de voor een WKD-systeem benodigde stroom duurzaam worden geproduceerd. De milieu-impact van een WKD-systeem kan worden verminderd door inkoop van groene stroom of door zelf elektriciteit te produceren.

Referenties

- ACM, 2016. Warmtetarieven, in: Markt, A.C. (Ed.).
- Adolfsson M., Rashid S., Life cycle assessment and life cycle cost of heat exchangers; a case for inter terminals Sweden AB located in Port of Gothenburg. Master's thesis in Industrial Ecology at Chalmers university of technology. 2016, report number 2016:0
- Bakirci, K., 2010. Evaluation of the performance of a ground-source heat-pump system with series GHE (ground heat exchanger) in the cold climate region. Energy 35, 3088-3096.
- Bedard E, Lévesque S, Martin P, Pinsonneault L, Paranjape K, Lalancette C, Dolcé, C.-É., Villion M, Valiquette L, Faucher, SP, Prévost M. 2016. Energy Conservation and the promotion of *Legionella pneumophila* growth: the probable role of heat exchangers in a nosocomial outbreak. Infection control & Hospital epidemiology, pp 1-6, doi:10.1017/ice.2016.205.
- Bloemendal, M., Hofman, J., Moerman, A., Blokker, M., Agudelo-Vera, C., 2015. Terugwinnen energie uit leidingen, in: institute, K.W.R. (Ed.). KWR, Nieuwegein.
- BodemenergieNL, 2015. Workingprinciples of groundheatexchangers.
- BTO 2011.001. Inventarisatie van *Aeromonas* en koloniegetal 22˚C in drinkwater en relaties met fysisch/chemische parameters.
- BTO 2011.035. Opportunistische ziekteverwekkende micro-organismen in drinkwater.
- BTO 2011.037. Bepaling en beoordeling van de legionellagroeipotentie van drinkwater.
- BTO 2013.240(s). Klimaatscenario's en risico's op nagroei van micro-organismen in drinkwater.
- BTO 2014.015. Effect van waterkwaliteit, seizoen, drinkwaterinstallatie en verblijftijd/afstand op opportunistische pathogenen in drinkwater.
- BTO 2014.217(s). Rol van drinkwater, biofilm en temperatuur op groei van opportunistische pathogenen.
- BTO 2015.002. Warmte en koude uit drinkwater en riolering, risico's.
- BTO 2017.024. Literatuuronderzoek naar de invloed van temperatuur op groei van opportunistische pathogenen in drinkwater
- CO2emissiefactoren.nl, 2015. ELECTRICITEIT – VERSIE JANUARI 2015
- Craun GF, Calderon RL, Craun MF (2005) Outbreaks associated with recreational water in the United States. Int J Environ Health Res 15:243–262.
- Gerba CP, Gerba P (1998) Outbreaks caused by *Pseudomonas aeruginosa* associated with whirlpool spas, hot tubs, and swimming pools. Proceedings of the second annual chemistry symposium national spa and pool institute. National spa and pool institute, Alexandria, VA, pp. 8–18.
- Havelaar AH, Schets FM, van Silfhout A, Jansen WH, Wieten G, van der Kooij D. Typing of Aeromonas strains from patients with diarrhoea and from drinking water. 1992, J Appl Bacteriol., vol 72, no 5, pp 435-444.
- IEA, 2016. Energy Technology Perspectives 2016. International Energy Agency, Paris.
- Kamp, H., 2015. Warmtevisie, ministry of economic affairs, Den Haag.
- Lindholm J.A., Coast calculation and market analysis of geothermal drilling methods; a study of competitiveness of Wassara water powered hammer drilling equipment. Maste theis in Technology and social science at Lulea university of technology. 2011.
- Mena KD, Gerba C. 2009. Risk assessment of *Pseudomonas aeruginosa* in water. Reviews of environmental contamination and toxicology. Vol 201, pp 71-115.

- Milieu, M.v.I.e., 2015. Kennisgeving standaard CO2-emissiefactor aardgas voor emissiehandel 2015, Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Staatscourant 1441.
- Ozyurt, O., Ekinci, D.A., 2011. Experimental study of vertical ground-source heat pump performance evaluation for cold climate in Turkey. Applied Energy 88, 1257-1265.
- Pruesse, E., Quast, C., Knittel, K., Fuchs, B.M., Ludwig, W., Peplies, J. and Glockner, F.O. (2007) SILVA: a comprehensive online resource for quality checked and aligned ribosomal RNA sequence data compatible with ARB. Nucleic Acids Res 35(21), 7188-7196.
- Rijksgebouwendienst, 2010. Model en systematiek ontwikkeling WKO-tool.
- RVO, 2014. Uniforme Maatlat v 3.4, Protocol to compare different types of HVAC options. Ministry of Economic affairs, Eindhoven.
- Samson-Bręk Izabela, Barbara Smerkowska and Aleksandra Filip (2015). Environmental Aspects in the Life Cycle of Liquid Biofuels with Biocomponents, Taking into Account the Storage Process, Storage Stability of Fuels, Prof. Krzysztof Biernat (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/59806. Available from: https://www.intechopen.com/books/storage-stability-of-fuels/environmental-aspects-in-the-life-cycle-of-liquid-biofuels-with-biocomponents-taking-into-account-th
- Schloss, P.D., Westcott, S.L., Ryabin, T., Hall, J.R., Hartmann, M., Hollister, E.B., Lesniewski, R.A., Oakley, B.B., Parks, D.H., Robinson, C.J., Sahl, J.W., Stres, B., Thallinger, G.G., Van Horn, D.J. and Weber, C.F. (2009) Introducing mothur: open-source, platform-independent, community-supported software for describing and comparing microbial communities. Appl Environ Microbiol 75(23), 7537-7541.
- UN, 2015. Adoption of the paris agreement. United Nations, Framework Convention on Climate Change, Paris.
- Van der Kooij D, Wullings BA en van der Wielen PWJJ. 2009. Invloed van temperatuurstijging op nagroei van micro-organismen in het leidingnet. Rapportnummer KWR 09.052, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Van der Wielen PWJJ, van der Kooij D. 2010. Effect of water composition, distance and season on adenosine triphosphate concentration in unchlorinated drinking water in the Netherlands. Water Research, vol 44, pp 4860-4867.
- Van der Wielen PWJJ, van der Kooij D – Nontuberculous mycobacteria, fungi, and opportunistic pathogens in unchlorinated drinking water in the Netherlands. 2013, AEM, vol 79, no 3, pp 825-834.
- van der Wielen PWJJ, Heijnen L, van der Kooij D – Pyrosequence analysis of the *hsp65* genes of Nontuberculous Mycobacterium communities in unchlorinated drinking water in the Netherlands. 2013, AEM, vol 79, no 19, pp 6160 - 6166
- Van der Wielen PWJJ, Italiaander R, Wullings BA, Heijnen L en van der Kooij D – Chapter 7: opportunistic pathogens in drinking water in the Netherlands. Uit: Microbial Growth in Drinking-Water Supplies. Problems, Causes, Control and Research Needs. 2014
- Willemsen, N., 2016. Rapportage bodemenergiesystemen in Nederland. RVO / IF technology, Arnhem.
- Wu, R., 2009. Energy Efficiency Technologies - Air Source Heat Pum vs. Ground Source Heat Pump. Journal of Sustainable Development 2.
- Wullings BA, van der Kooij - Occurrence and genetic diversity of uncultured *Legionella spp.* in drinking water treated at temperatures below 15 degrees C. 2006, AEM, vol 72, no 1, pp 157–166.
- Zarrella, A., Capozza, A., De Carli, M., 2013. Performance analysis of short helical borehole heat exchangers via integrated modelling of a borefield and a heat pump: A case study. Applied Thermal Engineering 61, 36-47.

Bijlage I Gespreksverslag interviews en lijst WKD installaties

I.1 Overzicht WKD installaties

Drinkwater-bedrijf	Project	ruw, rein of transportleiding	beschrijving	contactpersoon	Actief
WMD	Hoogeveen	rein	1 MW op productielocatie WMD; circuit naar school en verzorgingstehuis. Opwarming van 12 tot 17 ˚C in deelstroom en < 0,5 ˚C in uitgaande reinwater.	Henk Brink/Equa	Ja
WMD	Locatie dierentuin Emmen	rein	Noordbargeres. Dierentuin, theater, gemeentehuis en woonzorgcentrum. In ontwikkeling. Grote vermogens. Warmtelevering uit drinkwater.	Henk Brink	ja
Brabant Water	pilot Tilburg	hoofdleiding Ø110	Doel is het stabiliseren van temperatuurvariaties in het lokale drinkwaternet en tegelijkertijd wegnemen onbalans in WKO. In de zomer warmte winnen uit het drinkwater en in de winter warmte toevoegen aan het drinkwater.	Vincent de Laat	Ja
Brabant Water	pilot Eindhoven	ruw	Vergelijkbaar met concept ps Hoogeveen, maar op ruw water. T-toename af ps is beperkt tot 0,5 ˚C. Deelstroom ΔT is wel hoger. Data zijn beschikbaar.	Vincent de Laat	ja
Vitens	Veenendaal	ruw	TCA in ruw grondwater. Bijna 20% van het onbehandelde water wordt via een ringleiding omgeleid naar een warmtewisselaar op het terrein van Vitens. Verwarming Zwembad De Vallei, Koeling twee scholencomplexen CSV en ROC/A12. Dicht bij productielocatie. http://www.rvo.nl/initiatieven/energiezuiniggebouwd/csv-roc-en-zwembad	Louis Brussée	ja
Vitens	Cothen	ruw	TCA in ruw grondwater. Scholencomplex warmte- en koudelevering. Weinig data. Ruw water mag niet verder opwarmen dan 14 ˚C (info gebiedsdossier Cothen Provincie)	Louis Brussée	ja
Vitens	Culemborg)	rein	TCA in rwk. Levering van warmte aan woonwijk Lanxmeer, circa 2000 Gj/jaar. Warmtenet in eigen beheer van bewoners. Thermo Bello.nl	Louis Brussée	ja
Waternet	Bloedbank Sanquin	hoofdleiding	Koeling gebouw bloedbank Sanquin via opladen van WKO-installatie met koude uit drinkwater in de winter. De haalbaarheidsstudie is positief afgerond, en een Programma van Eisen en een Definitief Ontwerp zijn opgesteld.	Stefan Mol	In aanleg
Waternet	Plantage de Sniep, Diemen,	transportleiding Ø 800 mm	Opladen van een WKO van Eneco met zomerwarmte uit drinkwater tbv een woonwijk	Stefan Mol	In ontwerp
Waternet	Schiphol	WRK leiding (ruw water) Ø 1800 mm	Opladen van een ring van WKO's met winterkoude uit ruw water tbv bedrijfsgebouwen op Schiphol.	Stefan Mol	stopgezet

I.2 Gespreksverslagen

De volgende mensen zijn geïnterviewd

1. Louis Brussée (Vitens)
2. Henk Brink (WMD)
3. Stefan Mol (Waternet)
4. Eric van Griensven (Brabant Water)

Doel:

- Inventariseren van het procesverloop van projecten op het gebied van water en energie
- Verzamelen van gegevens over en beschrijven van werkende en geplande WKD-installaties
- Andere activiteiten op het gebied van water en energie

1. LOUIS BRUSSEE (VITENS)

5-11-2015 / Laura Snip, Frank Oesterholt, Martin Bloemendal

Bij Vitens zijn er drie WKD projecten: Cothen, Veenendaal en Culemborg. In onderstaande bullets zijn de belangrijkste eigenschappen/kenmerken weergegeven.

- Veenendaal; ruw water als bron, veel informatie beschikbaar omdat die al een tijdje wordt bemeten, qua omvang de grootste WKD bij Vitens,
- Cothen; ruw water als bron
- Culemborg; reinwater als bron

Voor Vitens is het aanleggen van een WKD geen belangrijk doel. Ze lopen hiermee ook niet te koop en zijn niet op zoek naar uitbreidingen. Vitens wil focussen op het een verantwoord waterverbruik door hun klanten. Bij de klanten moet een deel van het drinkwater verwarmd worden en dat daar willen ze ook bij helpen. Vitens wil duurzaamheid niet afkopen met groencertificaten. Het energieverbruik tijdens de productie wordt wel meegenomen, maar de energiewinning uit drinkwater niet. Het uitgangspunt bij een WKD-installatie is dat als het drinkwater in gevaar komt, dan stoppen ze ermee.

Vitens is (ondertussen) van mening dat een drinkwaterbedrijf niet de rol van energieleverancier kan oppakken omdat dat tot conflicten kan leiden. Daarom heeft Vitens de WKD van Culemborg organisatorisch gesplitst in een water en een energieleverancier, waar de exploitatie is overgedragen aan Thermo Bello. Hierdoor is het wettelijk goed gescheiden. De WKD installatie staat ook in een apart gebouw en hiervoor is aparte toegang nodig. De grootte van de energievraag van Thermo Bello beïnvloedt ook de energie die Vitens nodig heeft om de thermische energie aan Thermo Bello te leveren.

Het zou kunnen dat op basis van MVO de drinkwatersector in de toekomst meer wordt aangezet tot het ondersteunen van de circulaire economie. Nu wordt dat nog tegengehouden door de bureaucratie van het drinkwaterbedrijf in combinatie met onduidelijkheid van de gevolgen voor de klant. Het is lastig wie welke rol aan moet nemen in zulke projecten, omdat het buiten de standaard taken ligt.

Het project in Culemborg is gestimuleerd door de duurzame wijk die daar aanwezig is. Deze WKD is ook verkocht aan Thermo Bello. Gemeente Veenendaal wilde in eerste instantie een WKO aanleggen, maar dit kon niet door de grondwaterwinning in het gebied (grondwaterbeschermingsgebied). Hierdoor werd Vitens bij het project betrokken en is - bij

wijze van compromis - gekozen voor een WKD-systeem. Cothen heeft het afgekeken van gemeente Veenendaal, en heeft het sneller gerealiseerd. Vitens heeft voor een adviserende rol gekozen en werkt op die basis wel mee aan WKD-projecten, maar zal het niet zelf adverteren omdat het geen core business is. Het is bovendien niet overal toepasbaar en kan dus niet aan iedereen worden aangeboden, wat wel verwacht wordt van een maatschappelijk bedrijf. Kortom: commercieel gezien valt er veel uit te halen, maar Vitens is afwachtend.

Een project dat voortijdig gestopt is, is de aanleg van een WKD installatie in Almere. N.a.v. de haalbaarheidsstudie is gebleken dat het geleverde drinkwater naar de klanten kouder aangeleverd zou worden. Dit zou volgens de studie technisch gezien tot een kleine toename in gasverbruik leiden voor het verwarmen van het koude water. Het is niet doorgerekend wat de gevolgen zouden zijn als de warmte uit de WKD in mindering gebracht zou worden.

Het beleid van Vitens ten aanzien van WKD werd niet onderbouwd door de praktijk. Hierbij spelen blijkbaar slechte ervaringen uit het verleden een meer bepalende rol (zoals ervaring met WKO installatie van de Teuge). En vanuit die visie zijn de verschillende installaties als 1 behandeld.

WKD installatie proces Veenendaal

Aan de installatie in Veenendaal zit een zwembad welke verwarmd wordt en 1 school die gekoeld worden. De gemeente heeft de installatie laten aanleggen en is ook de eigenaar van de installatie. Het zwembad en de scholen hebben hun eigen pompen. BAM heeft de installatie in opdracht van de gemeente gebouwd en zou de eerste vier jaar monitoren en optimaliseren. Dit is echter niet gebeurd en de verwachting is dat er geen onderhoud aan de installatie is gepleegd.

Bij Veenendaal is de overeenkomst nooit getekend, dit is altijd bij een concept gebleven. Daarnaast is er geen terugkoppeling of evaluatie geweest, zodat van een goede overdracht naar de beheerder geen sprake is geweest. Dit zijn allemaal tekenen dat vanuit het enthousiasme bij de start van het project vervolgens het proces met onvoldoende zorgvuldigheid vorm is gegeven. De doelstelling van de WKD was een CO_2 reductie van 47% bij het zwembad, waarop ook de haalbaarheidsstudie was gemaakt. Deze reductie is door het zwembad nooit gehaald. Misschien zijn er wel gegevens beschikbaar hoeveel de CO_2 reductie bij het zwembad is door de WKD installatie. Er had een nulmeting plaats moeten vinden in het begin van het project om te weten wat er geoptimaliseerd kon worden en wat de daadwerkelijke besparing is. Er zou ook een renovatie bij het zwembad plaatsvinden en in hoeverre deze is meegenomen in de haalbaarheidsstudie en welk aandeel die zou hebben in de te verwachtten energiebesparing is niet bekend. Het zou dus kunnen dat de berekeningen van de studie niet kloppen met de situatie omdat niet bekend is of er uitgegaan is van het ontwerp of van de renovatie.

Bij Veenendaal is het maximale niet uit het project gehaald door een procesfactor. Het gevolg hiervan is dat niet bekend is wat er technologisch gezien verbeterd kan worden. Vanuit Vitens werd ook meegegeven dat de WKD installatie als een black box moest worden beschouwd, omdat het niet de core business is. Het terrein, de manschappen en de kosten van de aansluiting worden beschikbaar gesteld, maar verder gaan ze niet.

WKD installatie technisch Veenendaal

Er staat veel informatie in de haalbaarheidsstudie die nog nagestuurd wordt. De TSA staat op het ruwe water waarbij ongeveer 20 % van het water door de TSA wordt geleid naar de

ringleiding. Deze 20% is gekozen naar aanleiding van de haalbaarheidsstudie. Het water wordt met een temperatuur van 10 graden aangeleverd en een temperatuurverschil van 6 graden wordt als grens gehanteerd. Het water wordt meestal koeler teruggebracht (vanwege netto warmtevraag van het zwembad). De hoofdstroom mag niet meer dan 2 graden beïnvloed worden. Er zijn temperatuursensoren aanwezig en er is ook een meetrapportage geweest over de eenheden die door de scholen en het zwembad zijn afgenomen.

De energie van de circulatiepomp aan de primaire zijde van de warmtewisselaar wordt gemonitord. Ook wordt water bemonsterd wat uit de warmtewisselaar komt en zich mengt met de hoofdstroom om de waterkwaliteit te meten. De TSA is een dubbelwandige platenwisselaar die in een apart gebouw op het terrein van Vitens staat.

Doordat het zwembad veel warmte vraagt, is er een netto warmtevraag en wordt het ruwe water netto afgekoeld. Er is niet gemeten of gerekend aan de gevolgen voor het zuiveringsproces. De gebouwen zouden in principe ook onderling energie kunnen uitwisselen, maar dat gebeurt nu niet omdat zwembad en scholen parallel op het systeem zitten. Het zwembad gebruikt alles wat de scholen niet gebruiken. Er zit een restrictie op hoeveel de school mag gebruiken, maar de school kan het zelf regelen door de pomp harder te zetten. De doelstelling van 47 % CO_2-reductie wordt overigens niet bereikt, mede omdat er maar 18 uur per dag energie-uitwisseling plaatsvindt. De bronpompen op de locatie staan namelijk 's nachts uit. Hier ligt uiteraard een belangrijke kans voor verdere optimalisatie. Overigens is een kritische succesfactor dat een project vanuit het oorspronkelijk enthousiasme van alle partijen wordt gebouwd, maar dat vervolgens te weinig aandacht wordt besteed aan de overdracht van het project naar beheer. Hierdoor blijven optimalisatie van het systeem en een goede monitoring grotendeels achterwege. Ook de vastlegging van een duidelijke nulmeting wordt vaak vergeten.

De TSA bij Veenendaal is nooit open geweest. Het monitoren van de WKD installatie in Veenendaal kan, er is al veel informatie beschikbaar. De proces operator is Cees Boos.

WKD installatie Cothen

Bij de aanbesteding van de WKD installatie in Cothen had de gemeente een boeteclausule toegevoegd van 15 jaar zorgeloze installatie. Hier schreef niemand zich op in, dus die is er weer uitgehaald.

De installatie bestaat net als bij Veenendaal uit een dubbelwandige platenwisselaar en maakt gebruik van ruw anaeroob grondwater. De TSA bestaat uit RVS, maar vervolgens zijn er gietijzeren leidingen aan gekoppeld. Ook hier is gemeten aan de waterkwaliteit en het energieverbruik. Er zijn geen temperatuursensoren aanwezig. De afnemer van de thermische energie is een basisschool met een min of meer even grote warmte als koelvraag. De leiding ligt over een lengte van 2,2 km in de grond en de TSA staat bij Vitens. Het is gebaseerd op een aan/uit regeling waardoor in het begin probleem waren met het klimaat in het gebouw. Het is een lage temperatuur installatie die gebruik maakt van vloerverwarming en er zijn maar twee standen, weekend/week. Het is hierdoor een log systeem en het duurt te lang voordat het opwarmt, waardoor het niet meer uitgezet wordt.

Bij de installatie van Cothen ontstond een lek. Het moest door Vitens als een black box behandeld worden, dus het was niet duidelijk wat de oorzaak was. Omdat de gemeente het beheer niet goed uitvoerde, moest er iets gedaan worden. De kiemgetallen namen ook toe en dus werd de installatie aan de kant van Vitens uitgezet. De leverancier doet niet veel, maar vindt wel dat Vitens weer water moet leveren. Aan de schoolkant is de installatie wel

blijven draaien waarbij in feite de warmte uit de bodem wordt gehaald. Er zou nu gekeken moeten worden of de gasstanden wezenlijk verschillen met de situatie toen de kant bij Vitens nog draaide. Dit zou uitwijzen of er warmte uit het water van Vitens komt, of juist uit de grond. Bij Cothen wordt namelijk ook maar 12 uur productie gedraaid.

Bij Cothen is geen afspraak gemaakt over rendement van de installatie. Er is een huur/lease afgesproken voor de installatie waardoor de installateur de investering ergens anders terug moet verdienen. Nu werkt de installatie niet optimaal, maar omdat er geen nulmeting bekend is, is er geen goede vergelijking mogelijk.

De TSA in Cothen is ook nooit opengemaakt. Voordat het weer in gebruik genomen wordt, moet het eerst opengemaakt worden en schoongespoeld zijn door een erkend bedrijf zodat er een certificaat kan worden afgegeven. De filters van het apparaat zijn wel bekeken en daar zat niets in.

2. HENK BRINK, AULIA GALAMA-TIRTAMARINA (WMD)

2-09-2015/Frank Oesterholt, Laura Snip, Martin Bloemendal

Algemeen

Motivatie voor WMD om met energie bezig te houden is het verrijken van business. WMD zit in een regio met economische krimp waardoor de vraag naar drinkwater afneemt. WMD is van mening dat het met de kennis van infrastructuur, assetmanagement en dergelijke goed een energienetwerk kan beheren. WMD wil liever goede dingen doen, dan precies proberen uit te rekenen wat de precieze CO_2-footprint is. Er zijn daarom ook geen LCA-berekeningen gedaan, er is wel naar het financiële plaatje gekeken. Water en energie is wel een nieuw aandachtsveld waardoor er nog verschillende vragen liggen. Door ervaring en kennis uit te wisselen kunnen de drinkwaterbedrijven verder komen en ook door gebruik te maken van collectief onderzoek.

WMD is begonnen met WKO en WKD nadat Brabant water een meter buiten het grondwaterbeschermingsgebied van een winning van WMD een WKO wilde aanleggen en WMD dat niet kon tegenhouden. Hierna hebben ze de bedreiging naar kansen omgezet en gedacht als Brabant Water dit kan, dan kan WMD dat ook en op de plek welke zij willen. Hierna hebben de aandeelhouders een duurzaamheidsdoelstelling gezet waar WMD meerwaarde kan bieden. Daarnaast is het ook leuk voor de medewerkers. WMD heeft een dochterbedrijf opgericht Equa, die alles in beheer hebben. Dit is om de water- en energiedienst compleet gescheiden te houden.

Vanuit WMD wordt het belangrijk gevonden om het energieaspect mee te nemen omdat andere bedrijven deze kunnen aanbieden en dan ook het wateraspect zouden kunnen overnemen. Ook is het duurzaamheidsaspect tegenwoordig meer op energie dan water gericht. De combinatie van energie en water is voornamelijk haalbaar bij nieuwbouwconcepten aangezien daar een nieuwe markt zit.

Kritieke succesfactoren voor de projecten zijn de dekking vanuit de organisatie en goede management. Voornamelijk het project bij de dierentuin was complex en WMD heeft doorgezet en ambitie getoond wat cruciaal was. Daarnaast heb je iemand nodig die erin gelooft zodat er vertrouwen komt. Het WKD-systeem past bij WMD en is een unieke bron wat het opereren gemakkelijk maakt. Je kan in de omgeving iets bijzonders doen.

WMD heeft twee projecten lopen, een WKD in Hoogeveen die al operationeel is en een WKD-systeem in Emmen dat nog in gebruik genomen moet worden.

Planning en technische aspecten WKD Emmen

In Emmen wordt het WKD-systeem de komende maanden aangesloten. Niet alle gebruikers zitten nu al op het net. Er ligt een hoog en laag temperatuur warmtenet en er is een technische ruimte op het terrein van de dierentuin zelf waar de warmtewisselaar staat en het tussencircuit is aangesloten. Het laag T net moet in oktober/november draaien en is hoofdzakelijk bedoeld voor koeling. De warmtewisselaar staat in contact met de warmtewisselaar van het pompstation Noordbargeres wat de basis vormt van de WKD. De leidingen bestaan uit PVC/HDPE. De gebouwen zijn aangesloten op het tussencircuit en hebben zelf ook een warmtewisselaar. Het systeem bestaat dus uit drie verschillende warmtewisselaars. Vanuit veiligheidsoverwegingen is de warmtewisselaar bij het pompstation dubbelwandig en heeft het tussencircuit een lagere druk ten opzichte van de drinkwaterzijde. Er loopt nu ook een project om het nieuwe theater (dat in de buurt van de dierentuin staat) in juli/aug 2016 aan te sluiten op het warmtenet. Er is niet genoeg koude aanbod vanuit drinkwater en daarom zal er ook een WKO aangelegd worden. WML hanteert de volgende grenzen voor temperatuurverandering van het drinkwater: maximaal 0.5 graden opwarming in de zomer of 2 graden afkoeling in de winter. Deze begrenzing is niet wetenschappelijk onderbouwd en als blijkt dat het drinkwater veilig 1 graad opgewarmd mag worden (onderzoeksvraag!), zou er wel genoeg koude aanbod voor de dierentuin en het theater samen zijn.

Aangezien drinkwater geen distributiemiddel voor gezondheidsmiddelen mag zijn (fluoride discussie), verwacht Henk Brink/WMD ook niet dat het als transportmiddel voor energie mag worden gebruikt (n.a.v. idee Brabant Water). Echter koude wordt door WMD wel beschouwd als een duurzame bron. De warmtewisselaar op het pompstation zit op een bypass waar de temperatuursverhoging hoger is (5-6 graden), maar de verhoging in het reine water na opmenging is maar 0.5 graad. Dit wordt geregeld door te sturen met het debiet. Om veiligheidsredenen wil WMD het reinwater niet uit het pompstation leiden (naar een externe WW) en weer terughalen.

Vooralsnog is de planning om het tussencircuit met lage temperatuur in november in gebruik te nemen al zal het niet op vol vermogen draaien. In de zomer van 2016 zal de WKO er op worden aangesloten.

Proces opzetten WKD Emmen

Door de samenloop van verscheidende aspecten heeft WMD het initiatief genomen om een WKD installatie aan te leggen bij de dierentuin. De gemeente Emmen wilde het centrum uitbreiden maar zat klem door grondwaterbeschermingsgebieden en de dierentuin. Daarnaast werd verdroging in die periode ook een probleem en moest men meer naar grondwater overgaan. WMD ging toen water op maat leveren voor grootverbruikers, waar de dierentuin ook onder viel. Door het ruimtegebrek werd besloten dan grondwaterbeschermingsgebieden dubbele functies konden hebben (plan functiestapeling grondwaterbeschermingsgebieden). Dit opende mogelijkheden om de dierentuin te verhuizen naar een grondwaterbeschermingsgebied waardoor de gemeente het centrum kon uitbreiden. De dierentuin ontwikkelde plannen om meer met water te doen en had ook een duurzaamheidsambitie (klimaatneutraal zijn). Hier speelde WMD samen met het Waterschap op in door een plan voor compleet gesloten waterkring aan te bieden. Er was dus in alle opzichten sprake van een win-win situatie.

In het hele proces is het van belang dat WMD zich wil concentreren op duurzaamheidaspecten en energie. Het realiseren van deze business case was bestuurlijk gezien complex waarbij bijvoorbeeld ook de discussie over de rol van het drinkwaterbedrijf als monopolist is gevoerd. Equa heeft de business en contracten 100 % in beheer. Equa is een zelfstandig opererende dochteronderneming van NoordWater BV, een dochteronderneming van NV Waterleidingmaatschappij Drenthe. In NoordWater zijn alle commerciële en niet-drinkwater activiteiten van WMD ondergebracht, zodat deze volledig zijn gescheiden van de drinkwatervoorziening. Equa zorgt voor levering van energie vanuit een systeem in eigen beheer dat ze zelf hebben gefinancierd met als enige risico dat de dierentuin over 5 of 10 jaar stopt.

Daarom zijn ook stevige aansluitkosten (vast recht) gevraagd waardoor een stuk infrastructuur wordt terugverdiend. WMD denkt wel dat als de bestaande exploitant weggaat, er een nieuwe komt die zeer waarschijnlijk van dezelfde infrastructuur gebruik wil maken, dus het risico wordt als gering beschouwd.

Kritieke succesfactoren:

- Rugdekking vanuit de eigen organisatie
- Goed management in een complex project is essentieel met voldoende ambitie en doorzettingsvermogen
- Voldoende bestuurlijke draagkracht.
- Andere mindset en ondernemersgeest bij de medewerkers van het drinkwaterbedrijf.
- WKD als unieke bron waar je iets bijzonders mee kan.

Proces Hoogeveen

Hoogeveen verliep gemakkelijker dan de dierentuin doordat het een kleiner project was wat bestuurlijk gemakkelijker was. De gemeente ging de sportvelden op de schop zetten en had hierbij een hoge duurzaamheidsdoelstelling. Hiervoor werd een brainstormsessie gehouden waarbij in eerste instantie werd gedacht aan een WKO. Dit was niet mogelijk vanwege de aanwezigheid van een grondwaterbeschermingsgebied en daarom is uiteindelijk voor WKD gekozen.

Financiële constructie

WMD hanteert de term terugverdientijd niet. De looptijd van het contract is 20-25 jaar wat het acceptabel maakt voor meeste partijen. Rekening houdend met herinvesteringen en afschrijvingen wordt de winst/verliesrekening / cashflow inzichtelijk gemaakt die wel direct wat moet opleveren. WMD wil geen verlies draaien en een kloppend business model hebben. De WKD wordt betaald door vastrecht en niet door de hoeveelheid energie die geleverd is. Deze wordt ook niet achteraf gecheckt. Daarnaast staat de warmtepomp ook bij de klant en betaalt deze de elektriciteitsrekening van de warmtepomp. Hierdoor zit de prikkel bij de klant om zuinig met de energie om te gaan. De klant meet daarom zelf de besparing van de WKD installatie.

Nieuwe projecten

Henk Brink is van mening dat er in Nederland meer met water en energie kan dan nu gebeurt, maar voor een WKD-systeem heb je wel specifieke omstandigheden nodig. Er moet een afnemer dicht bij de bron zitten omdat er ander teveel verlies optreedt door transport. Er moet sprake zijn van nieuwbouw. Ook moet de bron een grote hoeveelheid water tot zijn beschikking hebben waardoor een pompstation het meest geschikt is. In Drenthe zijn er 12

pompstation, waarvan er 3 in aanmerking komen voor een WKD-installatie. De mogelijkheden van WKD zijn dus beperkt. In algemene zin bieden laag temperatuur warmtenetten in nieuwe woonwijken wel grote mogelijkheden naar de toekomst toe, zeker als overgestapt wordt naar een gasloze warmtevoorziening. Naast WKD's zullen vooral ook WKO's en andere bronnen van restwarmte hierbij een rol spelen. Drinkwaterbedrijven kunnen hier op inspelen omdat ze verstand hebben van collectieve systemen, infrastructuur, storingsdienst etc. Ook de lange looptijden van 30 - 40 jaar voor de exploitatie van warmtenetten past goed bij de nutsfunctie van een drinkwaterbedrijf.

Het dochterbedrijf Equa lift mee op de diensten die WMD heeft, maar daar krijgt WMD wel een vergoeding voor. Er zijn dan ook geen klachten geweest over oneerlijke concurrentie. De primaire focus ligt op de toegevoegde waarde waardoor WKO's minder goed passen bij WMD. Er zijn wel ontwikkelingen voor samenwerking met energiedistributiebedrijven. WMD wil door samenwerken met deze bedrijven het draagvlak vergroten, de risico's verminderen en de kennis vergroten. .

WKD verdieping - Hoogeveen

Hoogeveen is al operationeel en heeft qua nagroei risicovol water wat interessant is voor het geplande WKD verdiepingsonderzoek. In het water worden in de zomer hoge Aermonas concentraties gemeten in het distributienet wat komt door de oorsprong van het water (veen). Er moet wel rekening gehouden worden met de procesregeling van het systeem. Deze klopt nog niet helemaal waardoor er een laag rendement wordt behaald. Het debiet van de pomp wordt nog niet geregeld door de warmte/koudebehoefte.

Op de uitgaande leiding van de reinwaterkelder (dus vlak voor distributie) zit een bypass met warmtewisselaar op de drinkwaterleiding, Deze gaat - over een afstand van 1 km - naar een kleinere warmtewisselaar met warmtepomp die bij de afnemer staat. Vanuit de afnemer gaat het weer terug naar de TSA. Net als bij de dierentuin heeft het tussencircuit een lagere druk dan het hoofdcircuit voor de veiligheid. Er zit in het tussencircuit ook een watertoren voor de terugvoer, maar die werkt niet optimaal. Het debiet van het tussencircuit heeft nu een vaste waarde en is daardoor hoger dan noodzakelijk. Dit is overigens wel regelbaar (op basis van de ΔT over de WW bij de klant), maar hier is sprake van een softwareprobleem wat nog aandacht behoeft. Mogelijk leidt dit tot een lager rendement, maar dat hangt wel af van de temperaturen bij de warmtewisselaars. Er is een regeling die er voor zorgt dat de temperatuursverandering van het hoofdcircuit tussen de 2 graden afkoeling en 0.5 graad opwarming blijft.

Van beide circuits worden de temperatuur en stroomsnelheid gemeten en opgeslagen, dat geldt voor ΔT over warmtewisselaars in het primaire en secundaire circuit. Een meting van de temperatuur op de uitgaande leiding is er nog niet, maar de uitgaande temperatuur van de reinwaterkelder is wel bekend. Het is niet bekend of WMD al zelf monsters heeft genomen voor en na de warmtewisselaar in het primaire circuit.

De warmtewisselaar op de productielocatie is overigens sinds de start niet meer opengemaakt en er wordt geen onderhoud aan gedaan. In kader van het onderzoek zou het wel opengemaakt kunnen worden. Er staan twee warmtewisselaars in parallel waarvan er een ten behoeve van het onderzoek afgekoppeld en geopend zou kunnen worden, maar dan bij voorkeur wel buiten het verwarming- en koelseizoen.

3. STEFAN MOL (WATERNET)

2-09-2015/Laura Snip, Frank Oesterholt, Martin Bloemendal

Algemeen

Verschillende projecten lopen bij Waternet die gerelateerd zijn aan water en energie. Voor WKD zijn dat projecten bij Bloedbank Sanquin en Plantage Sniep die allebei in ontwikkeling zijn. Er liep ook een project bij Schiphol dat uiteindelijk niet is doorgegaan, maar dit project wordt opnieuw actueel.

Over het algemeen heeft Waternet zichzelf de doelstelling gesteld om klimaatneutraal te worden. Hiermee willen ze verder gaan dan alleen inkoop van groene stroom en proberen ze te compenseren in de eigen watercyclus. De directie heeft in principe de mogelijkheid geboden om (naast de optimalisatie van de eigen processen) ook “randprojecten” uit te voeren. Om de doelstelling ‘klimaatneutraal’ te behalen, is namelijk de overtuiging dat ook buiten de bedrijfsgrenzen gekeken moet worden. Het zou gewenst zijn om de doelstelling te halen bijvoorbeeld met energie uit de watercyclus aangevuld met de eigen productie van groene energie.
Hiervoor is een grote onderzoeksafdeling beschikbaar bij Waternet waar medewerkers veel flexibiliteit krijgen om initiatieven te nemen buiten de kerntaak. Vooral grote projecten met zonne- en windenergie en koude uit drinkwater dragen bij aan de klimaatneutraliteit.
Voor WKD installaties heeft Waternet een marktverkenning uit laten voeren om te kijken waar mogelijke klanten zitten. Hierna zijn ze rond gaan kijken op de plek zelf en hebben ze gebeld om te vragen of er een grote koude vraag is. Technologisch gezien is het installeren van een WKD iedere keer hetzelfde. Bij Schiphol was het nog makkelijker omdat het niet om drinkwater ging, maar ruw water. Bij Sanquin gaat het wel om drinkwater.
De bedoeling van Waternet is om bij hun primaire taken te blijven, dat wil zeggen geen energieleverancier te worden, en dus met partners het project op te zetten. Hierbij is Alliander een goede partner omdat zij kennis hebben van het opzetten en exploiteren van energienetten. Dan is een derde partner nodig die de levering van energie bij de afnemer regelt. Op deze manier worden de technische uitvoerbaarheid en de besluitvorming uiteindelijk eenvoudiger.

Waternet heeft datacenters uitgenodigd zich te vestigen op de drinkwaterlocaties. Datacenters zijn ideaal omdat ze kunnen koelen met water tot 30 ˚C. Dat betekent dat in de praktijk altijd koude geleverd kan worden. Op drinkwaterlocaties liggen meestal goede stroomvoorzieningen en glasvezelkabels. Door vanuit drinkwater koude te leveren, kan Waternet het drinkwater met een constantere () temperatuur distribueren. De gemeente zou dit wat consequenter mogen uitdragen zodat er meer uitgehaald kan worden.
Als voorbeeld had koude geleverd kunnen worden vanuit een ruwwaterleiding van het IJsselmeer aan het nieuwe gebouw van Google in Noord-Holland (overigens niet in het gebied van Waternet, maar van PWN). Deze bedrijven zijn waarschijnlijk niet op de hoogte van de mogelijkheid. Martin Bloemendal meldt dat veel WKO’s uit staan bij datacenters vanwege het betrouwbare imago van de ‘traditionele’ methodes voor koeling.

Voor het verhogen van de slagingskans is het van belang dat uitgangspunten goed besproken en vastgelegd worden, zoals hoeveelheid energie, kwaliteit koude, rentepercentages en evaluatietermijnen. Vooral afstemming over de kwaliteit van de energielevering en de bijbehorende temperatuurniveaus is van belang. Moderne koelwatersystemen draaien vaak op een hoger temperatuurniveau dan oudere systemen (6 ˚C). Omdat WKD concurreert met traditionele koelmachines, die 15 jaar meegaan, moet

voor een eerlijke beschouwing minstens 30 jaar vooruit worden gekeken. Een nieuwe EU-richtlijn gaat daar bij helpen (publicatie 130615 IM 'energie-audit', onderdeel van de EED). De energie audits bouwen zo veel mogelijk voort op een analyse van de levenscycluskosten, in plaats van simpele terugverdienperioden, om rekening te houden met lange-termijn-besparingen, residuele waarden van lange-termijn-investeringen en discontopercentages. Dit betekent dat op een gezonde manier gerekend moet worden aan projecten waarin leidingen of andere infrastructuren (met een lange levensduur) belangrijk zijn.
Kritieke succesfactor voor WKD-projecten is als iemand (in het management) van het waterbedrijf en iemand bij de afnemer enthousiast zijn en het vertrouwen durven te geven aan het project. Nu heeft Waternet ook het instrumentarium in handen om het proces goed te laten verlopen. Bijvoorbeeld welke stappen moeten gezet worden en hoe bereken je alles (TCO-methodiek). Daarnaast is hun rol duidelijk geworden, meer bij hun eigen taak en voor deeltaken partners zoals Alliander zoeken.
Ook heeft de ILT als wettelijk handhaver aangegeven op voorhand geen restricties op te leggen bijvoorbeeld ten aanzien van de temperatuur van het drinkwater (behoudens wat in de wet is vastgelegd). Waternet houdt zelf een begrenzing aan van maximaal 15 ˚C.

Per project

Bloedbank Sanquin

Het project van Sanquin is het meest ver in de ontwikkeling. Waarschijnlijk kan daar met meten begonnen worden in de winter van 2016. Er ligt al een drinkwaterleiding en de WKD zal aangesloten worden op een bestaande WKO. Het drinkwater mag in de winter door Sanquin opgewarmd worden tot 15 graden. Maximaal 95% van het drinkwater uit deze leiding zal door de warmtewisselaar gaan. Daarna gaat het water naar een reinwater kelder, waarop in totaal 4 leidingen leveren. In de winter zal voornamelijk rechtstreeks koude geleverd worden uit de drinkwaterleiding aan de processen van Sanquin, en wordt ook de WKO opgeladen met koude. In de zomer zal de WKO zal voor koeling zorgen. Mogelijk kan door onderzoek blijken dat het water nog verder op mag warmen dan 15 graden, dus daar staat Waternet wel voor open mits de veiligheid mag worden gerealiseerd. Een bijkomend gunstig effect kan dan zijn dat het water warmer wordt geleverd.

De motivatie voor dit project was dat Sanquin geen ruimte meer had om koelsystemen te plaatsen en dus een andere oplossing moest vinden. Men wilde graag dat deze oplossing duurzaam is. Waternet heeft hierbij wel het initiatief genomen. Met de WKO en koppeling met WKD kan er 2 tot 5 MW geleverd worden, afhankelijk van de temperatuur. Sanquin zal ook de WKO en WKD beheren en Waternet alleen de drinkwaterleiding. Er zijn geen andere partijen betrokken, maar mogelijk sluiten de buren ook aan omdat de drinkwaterleidingen dicht bij elkaar liggen en de WKD bij beide leidingen gebouwd wordt. Sanquin werkt ook vanuit een maatschappelijk oogpunt wat het een betrouwbare partner maakt. Daarnaast wordt er ook een open constructieve houding gehanteerd waarbij beiden totale inzicht hebben in elkaars boekhouding met betrekking tot het project. Ieder jaar zal dan bekeken worden wat het gekost of opgeleverd heeft en dat zal gedeeld worden.

Voor aanvang is een financiële vergelijking gemaakt van twee scenario's waarbij de koude vraag wel of niet door een WKD werd ingevuld.

Bij de installatie van Sanquin gaat het om drinkwater en daarom is er gebruik gemaakt van een dubbelwandige TSA. Hierbij is ook een overdruk gecreëerd zodat bij een water lek er geen water de drinkwaterleiding ingaat. Daarnaast zal bij een lek in de warmte wisselaar het water eruit lekken wat het zichtbaar maakt.

Schiphol

Schiphol wil toch weer starten met het project omdat er veel data centers zijn aangetrokken in het gebied. Het was gestopt vanwege vooral politieke redenen, maar als reden wordt de terugverdientijd gegeven. Ze hadden een afschrijftermijn gehanteerd van 10 jaar en dat is niet hanteerbaar voor het project. Nu komt er vanuit de EU een richtlijn waarbij langjarige rekenmodellen gebruikt moeten worden door grote bedrijven die voor 5 december een energie plan moeten uitvoeren (EU 130615 IN Energie Audit). Dit zou hebben voorkomen dat Schiphol het project nu afketste op de afschrijftermijn van 10 jaar.

Het zou geholpen hebben als vooraf de uitgangspunten vast gelegd waren. Dit houdt in hoeveel koude moet er geleverd worden en welke kwaliteit heeft dit? Wat zijn de rentepercentages en wat zijn de evaluatieperiodes. Hierbij moet gerekend worden met ten minste 30 jaar omdat koelsystemen een afschrijfperiode van 15 jaar hebben en je deze herinvestering dan mee kan nemen. Daarnaast werken WKO's beter hoe langer het gebruikt wordt.

Schiphol is een lastige partner, ook omdat er drie verschillende project managers zijn geweest. Daarnaast werd de koudevraag naar beneden gesteld van 275 TJ naar 50 TJ. Schiphol gaf ook aan zelf een WKO te slaan om in eigen koude behoefte te voorzien wat aangaf dat ze het niet helemaal begrepen. Daardoor zat er wat onbegrip en onwil bij en voelde Waternet zich niet serieus genomen.

Het was ook lastig om een LCA of financiële vergelijking te maken van de situatie omdat het verschillende gebouwen met eigen installaties en verschillende gebouweigenaren betreft. Hierdoor zijn er ook verschillende afschrijftijden van de koelsystemen waardoor er een transitie moet plaatsvinden naar een duurzaam koelsysteem. Hierbij wordt gekeken naar het einde van de afschrijftijden van de verschillende apparaten. Wanneer de afschrijftijd afloopt, wordt er een link gelegd met een WKO en stukje bij beetje realiseer je dan het gehele gebied (als het rijgen van kralen aan een ketting). Dit is een lastige situatie om een LCA of financieel plaatje aan te hangen. Dit gedeelte zou door Schiphol gerealiseerd worden.

Bij de herkansing betreft het vooral de Zuidkant van Schiphol waar veel datacenters zitten wat 3 km scheelt van het centrum van Schiphol.

Plantage de Sniep

De andere WKD installatie in ontwikkeling is gepland bij woonwijk Plantage de Sniep in Diemen. Hier is een hotspot in de drinkwater transportleiding met diameter 800 mm drinkwater transport leiding. Het water kan 22-23 graden in zomer worden wat waarschijnlijk komt door de ligging onder een asfalt weg. Er ligt al een technische kelder voor een WKO die aangesloten wordt op woningen. Door de bouw crisis is het project stil gelegd, maar vanuit Eneco wordt nu opnieuw een startsein gegeven. Echter het wordt kleiner dan oorspronkelijk bedacht om het rendabel te maken. Aangezien de technische ruimte er al is en de plek voor de warmtewisselaar is gereserveerd, kan direct met de bouw gestart worden. Eneco wil het graag volgend jaar draaiend hebben. Voor het monitoringsprogramma is het dus een interessante locatie .

WKD installatie zelf:
De temperatuur voor en na de warmtewisselaar worden gemonitord. Ook zijn er voor en na de warmtewisselaar monstername punten geïnstalleerd. Daarnaast zijn voor de veiligheid ook geleidingssensoren geïnstalleerd. Als er een lek is, valt het water eruit en dan is het

meteen zichtbaar. Bij De Sniep wordt ook verderop in het net de microbiologie gemonitord omdat dit een hotspot is.

Er zijn monitoringsmogelijkheden in de warmtewisselaar zelf. Om dit te onderzoeken zou de warmtewisselaar echter uit elkaar gehaald moeten worden wat weer een risico op infectie mee zou kunnen brengen.

Andere projecten:

Daarnaast loopt nog een project op het Museumplein waarbij musea een koudevraag hebben. In combinatie met de warmtevraag bij Zuiderbad zou dit kunnen worden gerealiseerd. Waternet heeft verschillende partners op het museumplein gezocht en gaat dit verder met Alliander uitwerken. Hierbij levert Waternet de koude uit de drinkwaterleiding of de gracht en beheert Alliander het open koude/warmte net.

Voor IJburg 2e fase wordt het Centrumeiland ontwikkeld dat klimaatneutraliteit als doelstelling heeft. Het eiland zal bestaan uit 1200 woningen en is 400 bij 600 meter. Hiervoor heeft Alliander een plan ingediend in samenwerking met Waternet gebaseerd op een nieuwe sanitatie en energie uit water. Voor de energie zal er een WKO aangelegd worden waarbij gezuiverd grijs water en oppervlaktewater de koude en warmte vraag aanvult. Hiervoor wordt een vier pijpen systeem gehanteerd, waarbij warm en koud tapwater de woning ingaat en ook weer verlaat. Voor het beheer van de WKD zal dan waarschijnlijk een aparte BV opgericht worden wat bij het eiland zal horen.

De gemeente wil graag keuzevrijheid aanbieden aan de toekomstige bewoners van Centrumeiland. De concepten die zijn ingediend zijn collectieve systemen en om de weerstand tegen het collectief weg te nemen, is berekend wat de concepten opleveren. Dit is gedaan met modellen die de TCO en de duurzaamheid over 30 jaar voorspellen. Hierop scoort het idee van Alliander en Waternet niet slecht. Daarnaast zouden de bewoners die willen aansluiten op het collectief bij de WKO kunnen bouwen en degene die dat niet willen daar buiten.

In Weesp wordt een nieuwe woonwijk gebouwd en is de gas infrastructuur aangelegd. De RWZI die daar staat moet worden gerenoveerd. Het doel is om biogas te produceren en te zuiveren (CO_2 hoeft er niet uit). Dit wordt dan met aardgas in het net gestopt. De woningen worden uitgerust met CV ketels van Atag die kunnen schakelen tussen aardgas en andere gassen. Hierdoor wordt de transitie van aardgas naar duurzaam gas bevorderd. Dit is vanuit Alliander geïnitieerd uit duurzaamheidsoverwegingen. Zij wisten van de moeilijkheden van Atag. Alliander heeft daarna Waternet bij het project betrokken. Voor Waternet is het financieel aantrekkelijk omdat het biogas niet helemaal opgeschoond hoeft te worden.

Tot slot heeft Waternet douche warmtewisselaars in een studentenhuis laten plaatsen waar ze ¾ jaar data van hebben die nog geanalyseerd moeten worden. Het is dus nog niet duidelijk wat het rendement van de warmtewisselaars op lange termin is en of de sensoren doen wat ze moeten doen.

4. ERIC VAN GRIENSVEN (BRABANT WATER)

21 januari 2016/Frank Oesterholt

BW heeft WKD-project in Eindhoven gerealiseerd. Dit was de eerste in NL. En daarnaast is er het voornemen om een pilot te starten in Tilburg. Hierbij is KWR intensief betrokken. De

focus tijdens het gesprek is op WKD-technologie in algemene zin en de installatie in Eindhoven.

Algemeen

Eric is hoofd sector zakelijke markt bij BW. De sector houdt zich bezig met projecten buiten de drinkwaterketen. Naast accountmanagement grootzakelijke markt (industrie) doet zijn sector veel op het gebeid van productontwikkeling voor BW en de dochters. Focusgebied is Water en Energie waaronder WKO, WKD en geothermie.

Eisen waaraan nieuwe producten binnen BW moeten voldoen: relatie met water + beantwoorden aan maatschappelijke behoefte (vanuit klantperspectief)

De reden om met WKD te beginnen was niet vanuit een eigen motivatie. Eigenlijk startte het al in de tijd van WNWB met een zekere ondernemersgeest binnen het drinkwaterbedrijf vooral richting industrie en nieuwe business en de toevallige vraag van de Gemeente Breda voor ondersteuning bij een WKO-project. Toen is het besef ontstaan dat binnen het drinkwaterbedrijf veel kennis en kunde aanwezig is op basis waarvan is besloten de WKO in Breda zelf op te pakken. Hydreco heeft nu 25 WKO-projecten van middelgroot tot groot.

Voor WKD geldt hetzelfde verhaal. In Eindhoven wilde een projectontwikkelaar voor een project duurzame energie aanbieden via WKO in een grondwaterbeschermingsgebied. Essent is het project opgestart en heeft de putten te ondiep aangelegd waardoor ze niet konden leveren wat was afgesproken. Essent heeft het project te koop aangeboden. BW is hier in 2008 ingestapt met een technische uitdaging om vanuit eigen bron warmte en koude te leveren. Dit is ook het project waarbij uiteindelijk met de inspectie en RIVM overeenstemming is bereikt over het uitgangspunt van maximaal + 0,5 ˚C voor het uitgaande water.

Eric geeft aan dat over de gevolgen voor het drinkwater (qua temperatuur) heel erg lang intern is gediscussieerd. Die discussie heeft ongeveer driekwart jaar in het bedrijf rondgezongen voordat de beslissing tot die 0,5 ˚C is genomen en heeft daardoor geleid tot heel hoge initiatiekosten. Uiteindelijk bleek de ingaande temperatuur van de grondstof sowieso al te variëren tussen 10 en 12,6 ˚C door de putschakelingen.
Het risicodenken dat inherent in de genen zit bij een drinkwaterbedrijf is enerzijds een groot voordeel bij WKD-projecten, maar kan ook een blokkade opleveren als niemand uiteindelijk de beslissing neemt om voor een kans te gaan.

Kritisch aspect bij WKD-projecten (of andere energieprojecten) is daarom dat je leert denken vanuit kansen en niet vanuit risico's zoals we dat in de hele drinkwaterketen gewend zijn (ook KWR!). Dit betekent niet dat je de risico's moet veronachtzamen.

WKD wordt nu beschouwd als een technologie binnen het productfolio. Daarbij zijn 2 elementen van belang: enerzijds energie afzetten vanuit het drinkwaternet en anderzijds het regelen van de temperatuur in het drinkwaternet. In hun visie wordt het drinkwaternet in de toekomst een transportmiddel voor die energie waarvoor het niet loont om een apart net te gaan aanleggen.

Planning en technische aspecten WKD Eindhoven

Bij het project in Eindhoven zijn naast BW, eindgebruikers (als eigenaren van 6 kantoorgebouwen, 1 niet gerealiseerd), bevoegd gezag (Gemeente Eindhoven), de inspectie

(ILT) en aannemers betrokken. De Gemeente had de duurzaamheid van de gebouwen getoetst en als onvoldoende gekwalificeerd. De businesscase was in beginsel niet goed door de slechte contracten van Essent die zijn overgenomen. Uiteindelijk is extra financiering gevonden vanuit de Provincie vanuit een potje duurzame ontwikkeling waar ze bij de Provincie geen project voor konden vinden. Doel was om als onderdeel daarvan de Fontys Hogeschool bij het project te laten aansluiten. Uiteindelijk is dat overigens niet gelukt door miscommunicatie met de Gemeente.

Belangrijke les is geweest dat het moeilijk is om bij WKD-projecten economisch goed te ondernemen. Dat komt vooral omdat een hoge investering en lage exploitatielasten kenmerkend zijn voor WKD-projecten. Dit betekent dat als je in de eerste jaren onvoldoende dekking hebt voor je project, dan komt je er nooit goed meer uit.

Wat waren succesfactoren? De basiskennis van water binnen het bedrijf en vanuit de business gezien, het feit dat bepaalde mensen beslissingen durfden te nemen.

Wat waren faalfactoren? Trage besluitvorming rondom de economische aspecten is een risico. Dit gaat vaak gepaard met het onterechte verwijt dat het technisch niet haalbaar is.
Een technische hobbel was dat de onderkant van temperatuur niet werd gehaald voor de koeling van de gebouwen (eis was < 12 ˚C). Hierover ontstond discussie tussen Hydreco en BW, waarbij Hydreco BW vroeg om garantie af te geven op die ondergrens. BW was dat echter niet van plan. Uiteindelijk zijn de barricades verlaten en is gezamenlijk nagedacht over oplossingen. Toen bleek het relatief eenvoudig om in de zomer de putten op een zodanige manier te schakelen dat de vereiste ondergrens werd gehaald. Gedurende de rest van het jaar was het niet zo relevant.

Conclusie op basis van dit voorbeeld is dat een goede en tijdige communicatie waarbij de juiste vragen worden gesteld een belangrijke kritieke succesfactor is.

Essent ging destijds uit van een TVT van 10 jaar. Dat is niet gehaald. Belangrijk bij het vaststellen van de haalbaarheid van een project zijn de aannames. In dit project is bijvoorbeeld uitgegaan van een jaarlijkse stijging van de energieprijs met 5 - 8 %. Dat heeft in werkelijk anders uitgepakt.

De slagingskans van een WKD-project neemt toe zodra er meer koude wordt gevraagd dan warmte. Warmte is moeilijker te verduurzamen. Een project zoals de Sanquin bloedbank van Waternet in Amsterdam is bijvoorbeeld zeer gunstig. Hierbij hoeft vrijwel uitsluitend koude te worden geleverd. Daar komt dan wel een punt bij dat ook van invloed is op de slagingskans namelijk de garantie die moet worden afgegeven. In hetzelfde voorbeeld van die bloedbank is een zekere variatie in temperatuur in de koelcellen in de praktijk niet acceptabel. Daarom zal deze klant strikte garanties afgeven, veel strikter dan bijvoorbeeld een eigenaar van een schoolgebouw waar een graad afwijking nog wel acceptabel is. Het risico dat zo ontstaat (voor Waternet) kan relatief eenvoudig worden uit onderhandeld bijvoorbeeld doordat Sanquin zelf een back-up voorziening in stand houdt (redundantie/flexibiliteit). Dit is ook meteen een advies bij de aanleg van dit soort projecten. Zorg voor back-up systemen.
Conclusie: beste slagingskans geldt voor een WKD met een laagrisicoprofiel waarbij voornamelijk koude geleverd moet worden.

BW ziet in het eigen voorzieningsgebied de mogelijkheid voor ongeveer 20 WKD projecten vergelijkbaar met die in Eindhoven. Een dergelijke brede toepassing is niet eenvoudig en niet zonder zorgen. (Niets is zo makkelijk als drinkwater leveren). Houd bij WKD rekening met

onzekerheden vooral m.b.t. de ontwikkelingen in de energiebranche, onzekerheden m.b.t. risico's voor de drinkwatervoorziening. Wat betreft dat laatste is een aanpassing in het risico denken als drinkwaterbedrijf essentieel.

De effecten van de WKD in Eindhoven zijn niet separaat gemonitord. Ook niet de effecten op de zuivering. De temperatuur is wel gedurende een half jaar gemonitord. Op basis daarvan is het inzicht ontstaan dat putschakelingen al zorgen voor een range in de temperatuur die groter is dan 0,5 ˚C.

Er is geen LCA-afweging gemaakt. Volgens Eric is er wel een eenvoudige maatstaaf, namelijk de businesscase. Hoge investeringskosten correspondeert veelal met een brede inzet van grondstoffen, en hoge exploitatiekosten corresponderen met het maken van veel kilometers.

Hydreco is warmteleverancier. Dat zijn ze op basis van de ruimte die bestaande regelgeving biedt.

Bijlage II Berekening TCO

In deze bijlage is de opbouw van het TCO Excel reken programma beschreven en onderbouwd.

Investeringen

De investeringen moeten worden gespecificeerd op twee tabbladen. De eerste groep gegevens die moeten worden ingevoerd, betreffen de afschrijftermijnen en de evaluatieperiode waarover de TCO moet worden berekend. Er kunnen vier verschillende afschrijftermijnen worden ingevuld voor verschillende onderdelen van de installatie. Op deze manier kan onderscheid gemaakt worden tussen civiele constructies, elektrotechniek, werktuigbouwkundige werken of onderdelen die op korte termijn worden afgeschreven. Figuur 0-1 toont het voorbeeld en de gebruikte standaardwaarden.

Algemeen		
Levensduur installatie	50	jaar
Afschrijftermijn 1 (civiel)	50	jaar
Afschrijftermijn 2 (WTB)	20	jaar
Afschrijftermijn 3 (elektra)	10	jaar
Afschrijftermijn 4 (kort)	5	jaar
Startjaar (Jaar 0)	2015	
Eindjaar	2065	

FIGUUR 0-1. INVOERVELD VOOR AFSCHRIJF- EN EVALUATIETERMIJNEN (TABBLAD "BASISGEGEVENS").

Van belang zijn ook de gebruikte rentes op de leningen (Figuur 0-2). Alle leningen (vreemd vermogen) worden annuïtair afgeschreven. Naast vreemd vermogen is het mogelijk om ook eigen vermogen in te brengen in de spreadsheet. Voor het eigen vermogen wordt gerekend met een percentage dat compenseert voor de gederfde rente op eigen vermogen.

Financiering	
Inbreng eigen vermogen	€ -
Rente op eigen vermogen	2.00%
Rente op vreemd vermogen	6.00%

FIGUUR 0-2. INVOERVELD RENTES OP EIGEN EN VREEMD VERMOGEN. OOK WORDT HIER HET BEDRAG VAN HET INGEBRACHTE EIGEN VERMOGEN GESPECIFICEERD (TABBLAD "BASISGEGEVENS").

Op het tabblad "Stichtingskosten" kunnen vervolgens de werkelijke investeringkosten en voorbereidingskosten worden ingevoerd (Figuur 0-3). Op dit blad zijn vier invoervelden te vinden, die gekoppeld zijn aan de vier verschillende afschrijftermijnen. Verder kan worden aangegeven of een investering na de afschrijftermijn opnieuw moet worden gedaan, bijvoorbeeld voor vervangende onderdelen. Na afloop van elke afschrijftermijn wordt dan opnieuw het bedrag van de investering opgenomen, waarbij het bedrag geïndexeerd wordt met de algemene index.

Voorbereidingskosten worden ook bij de stichtingskosten meegeteld en komen terecht in jaar 0 (

Voorbereidingskosten	Kunnen, afhankelijk van situatie, ook gefinancierd worden				
Omschrijving	**Aantal**	**Eenheid**	**Prijs per eenheid**		**Totaal**
design & Engineering woningen	1	1	€ 2,880.00		€ 2,880.00
design & Engineering utiliteit	1	1	€ 39,450.00		€ 39,450.00
					€ -
					€ -
					€ -
					€ -
					€ -
Totaal					**€ 42,330.00**

Figuur 0-4). Op de stichtingskosten wordt niet afgeschreven. Hier kunnen bijvoorbeeld kosten voor adviseurs of kosten voor vergunningaanvragen worden vermeld.

Investeringskosten					
Omschrijving	**Aantal**	**Eenheid**	**Prijs per eenheid**	**Afschrijftermijn**	**Totaal**
CV's Woningen	192	-	€ 1,500.00	10	€ 288,000.00
CV's utiliteit	8	-	€ 8,000.00	10	€ 64,000.00
Koel machines Utiliteit	8	-	€ 57,750.00	5	€ 462,000.00
aanluitingen gas	192	-	€ 725.00	50	€ 139,200.00
aanluitingen gas	8		€ 1,400.00	50	€ 11,200.00
					€ -
					€ -
Totaal					**€ 964,400.00**

FIGUUR 0-3. INVOERVELD INVESTERINGSKOSTEN (TABBLAD “STICHTINGSKOSTEN”).

Voorbereidingskosten	Kunnen, afhankelijk van situatie, ook gefinancierd worden				
Omschrijving	**Aantal**	**Eenheid**	**Prijs per eenheid**		**Totaal**
design & Engineering woningen	1	1	€ 2,880.00		€ 2,880.00
design & Engineering utiliteit	1	1	€ 39,450.00		€ 39,450.00
					€ -
					€ -
					€ -
					€ -
					€ -
Totaal					**€ 42,330.00**

FIGUUR 0-4. INVOERVELD VOOR VOORBEREIDINGSKOSTEN (TABBLAD “STICHTINGSKOSTEN”).

Bedrijfsvoeringskosten

Bedrijfsvoeringskosten en kostenbesparingen kunnen worden gespecificeerd in tabblad “bedrijfsvoeringskosten”. Bij bedrijfsvoering kan het jaarlijkse materiaalverbruik, energieverbruik en waterverbruik en de kosten per eenheid worden opgegeven (elektriciteits-

gas en waterprijs worden ingevoerd op tabblad “basisgegevens”)

Bedrijfvoering					
Omschrijving	**Aantal**	**Eenheid**	**Prijs per eenheid**	**Cyclus**	**Totaal**
Gas woningen	174000	m3	€ 0.65	1	€ 113,100.00
Gas utiliteit	198000	m3	€ 0.65	1	€ 128,700.00
electra Utiliteit	209000	kwh	€ 0.10	1	€ 20,900.00
				1	€ -
				1	€ -
				1	€ -
				1	€ -
Totaal					**€ 262,700.00**

(

Figuur 0-5). De spreadsheet berekent vervolgens over alle jaren van de evaluatieperiode de geïndexeerde kosten uit. Ook eventuele kostenbesparingen kunnen op deze manier worden ingevoerd.

Bedrijfvoering					
Omschrijving	**Aantal**	**Eenheid**	**Prijs per eenheid**	**Cyclus**	**Totaal**
Gas woningen	174000	m3	€ 0.65	1	€ 113,100.00
Gas utiliteit	198000	m3	€ 0.65	1	€ 128,700.00
electra Utiliteit	209000	kwh	€ 0.10	1	€ 20,900.00
				1	€ -
				1	€ -
				1	€ -
				1	€ -
Totaal					**€ 262,700.00**

FIGUUR 0-5. INVOERVELD BEDRIJFSVOERINGSKOSTEN (TABBLAD “BEDRIJFSVOERING”).

Onderhoud

Onderhoud kan worden ingevoerd op het tabblad “Onderhoud”. Dit tabblad bevat een invoerveld voor periodiek onderhoud

(

Periodiek onderhoud					
Omschrijving	**Aantal**	**Eenheid**	**Prijs per eenheid**	**Cyclus**	**Totaal**
onderhoud Woningen	192	1	€ 111.25	2	€ 21,360.00
onderhoud utiliteit	1	1	€ 26,860.00	1	€ 26,860.00
				1	€ -
				1	€ -
				1	€ -
				1	€ -
				1	€ -
Totaal					**€ 37,540.00**

Figuur 0-6) en een voor incidenteel onderhoud. Dat laatste is natuurlijk in een ontwerptraject niet te voorspellen, maar kan gebruikt worden om de TCO voor een bestaande installatie actueel bij te houden.

Bijzonder aan het periodiek onderhoud is dat ook de cyclus moet worden ingevoerd. Indien de ingevulde waarde voor de cyclus hoger is dan 1, dan wordt de kosten voor de betreffende

onderhoudsregel met een langere tussenperiodes ingevuld. Bijvoorbeeld als de cyclus op 3 staat, vind het onderhoud plaats in de jaren 1, 4, 7 enz.

Naast onderhoudsmaterialen kan ook werktijd worden ingevoerd. De specificatie van de uurkosten is gekoppeld aan de functies in tabblad "basisgegevens" (Figuur 0-7). Hier kunnen verschillende functies worden gespecificeerd met verschillende uurtarieven. In het tabblad "Onderhoud" kunnen die vervolgens met een rolmenu worden geselecteerd.

Periodiek onderhoud					
Omschrijving	**Aantal**	**Eenheid**	**Prijs per eenheid**	**Cyclus**	**Totaal**
onderhoud Woningen	192	1	€ 111.25	2	€ 21,360.00
onderhoud utiliteit	1	1	€ 26,860.00	1	€ 26,860.00
				1	€ -
				1	€ -
				1	€ -
				1	€ -
				1	€ -
Totaal					**€ 37,540.00**

FIGUUR 0-6. INVOERVELD VOOR PERIODIEK ONDERHOUD (TABBLAD "ONDERHOUD").

Water- en Energieprijs		
Gas consument	€ 0.65	/m^3
Elektriciteit	€ 0.20	/kWh
Water	€ 1.75	/m^3
Gas groot verbruik	€ 0.20	/m^3
Financiering		
Inbreng eigen vermogen	€ -	
Rente op eigen vermogen	2.00%	
Rente op vreemd vermogen	6.50%	
Tarieven Menskracht		
Ontwerp	€ 120	/uur
Voorbereiding financiering	€ 80	/uur
Vergunningen	€ 100	/uur
Aanleg/bouw	€ 80	/uur
Oplevering	€ 80	/uur
Bedrijfsvoering en Onderhoud	€ 80	/uur
Beheer	€ 80	/uur

FIGUUR 0-7. INVOERVELD VOOR TARIEVEN VOOR MENSKRACHT (TABBLAD "BASISGEGEVENS").

Toegepaste kentallen

CO2 gas	1.78	kg CO_2/m^3
CO2 electrisch	0.46	kg CO_2/kWh
Warmtecapaciteit water	4.18	kJ/kg/C
heat capacity Water	4180000	J/m^3/K
heat capacity aquifer (water-sand combined)	2830000	J/m^3/K
Warmtepomp	200	€/kW
Koelmachine-E (water)	130	€/kW
CV ketel-gas	60	€/kW
Droge koeler	80	€/kW
gelaagd buffervat	5000	€/kW
TSA	50	€/kW
Energie-inhoud gas	31.65	MJ/m^3

Tapwater bereiding woningen	10	kWh/m^2 BVO
Tapwater bereiding kantoren	1.5	kWh/m^2 BVO
Opbrengst zonnecollectoren (warmte)	3	MWh/st.
Kosten zonnecollectoren	400	€/kW
COP_{CV}	0.95	-
COP_{KM}	3	-
Leidingen all-in (incl graven/material etc)	###	€/m

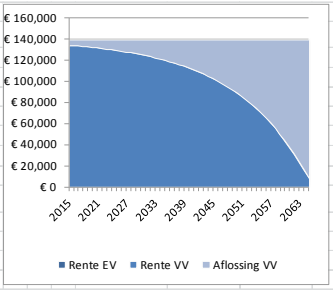
Overzicht

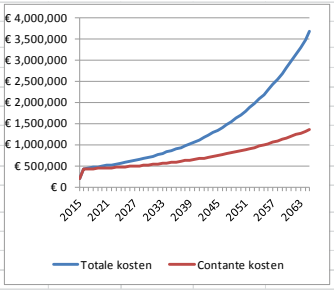
In het tabblad "Overzicht" worden vervolgens alle berekeningen samengebracht en wordt de TCO berekend.

Thermobello

Totalen

Voorbereidingskosten	€	205,650
Kapitaalkosten	€	6,983,249
Onderhoudskosten	€	8,870,814
Bedrijfsvoeringskosten	€	54,475,900
Totaal	€	70,535,614
TCO	€	**37,146,636**

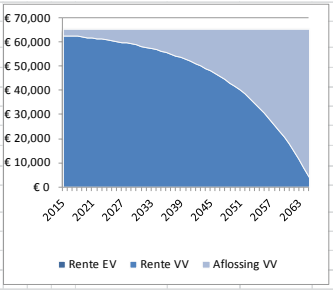


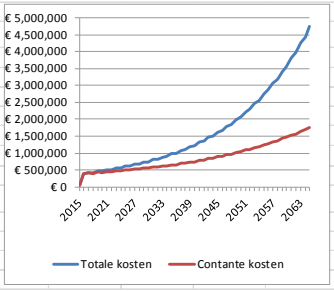


Conventioneel

Totalen

Voorbereidingskosten	€	42,330
Kapitaalkosten	€	3,274,809
Onderhoudskosten	€	3,247,735
Bedrijfsvoeringskosten	€	78,021,542
Totaal	€	84,586,417
TCO	€	**43,511,498**

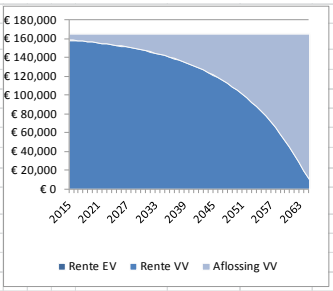


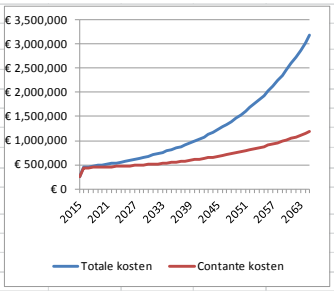


WKO

Totalen

Voorbereidingskosten	€	243,650
Kapitaalkosten	€	8,273,614
Onderhoudskosten	€	10,509,963
Bedrijfsvoeringskosten	€	44,964,699
Totaal	€	63,991,926
TCO	€	**34,159,787**





Bijlage III Resultaten microbiologie Culemborg

Water voor en na spoelen (9 augustus 2016 – 27 september 2016) en voor en na de warmtewisselaar (12 december 2016 – 14 februari 2017

		9-aug-16		12-sep-16		27-sep-16		12-dec-16		9-jan-17		14-feb-17	
		Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
Temperatuur	˚C	-	13,3	13,7	13,1	13,4	9,9	12,7	6,6	12,7	6,8	12,4	6,6
Aeromonas	cfu/100ml	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
ATP	pg/ml	-	2,1	24	4,5	2,7	2	2,2	1,9	3,8	2,8	2,6	2,7
ATP SD	pg/ml	-	0,4	1,6	1,5	0	0,7	0,44	0,59	0,15	0,59	0,3	0,15
Ammonium-NH_4	mg/l	-	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	-	-
Legionella spp.	cfu/100 ml	-	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
P. aeruginosa	cfu/100 ml	-	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<10	<0,9	<0,9	<0,9
Koloniegetal, 22˚C	cfu/ml	-	18	2300	460	<1	1	140	17	3	2	7	1
L. pneumophila	kopieën/l	-	<50	<90	<100	<80	<70	<50	<50	<60	<40	<50	<50
P. aeruginosa	kopieën/l	-	<80	<150	<160	<140	<120	<80	<80	<100	<70	<80	<80
A. fumigatus	kopieën/l	-	<80	<150	<160	<140	<120	<80	<80	<100	<70	7800	<80
S. maltophilia	kopieën/l	-	<390	140000	16000	<700	<620	<390	<380	<480	<350	<410	<400
Acanthamoebe	kopieën/l	-	<390	<750	<820	<700	<620	<390	<380	<480	<350	<410	<400

Bijlage IV Resultaten microbiologie Hoogeveen

Water voor en na de warmtewisselaar

		18-jul-16		8-aug-16		12-sep-16		11-okt-16		12-dec-16		9-jan-17		13-feb-17	
		Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na	Voor	Na
Temperatuur	**˚C**	12,6	14,2	12,3	14,4	11,8	15,4	11,4	11,4	11,1	10	9	8,3	10	8,1
Aeromonas	**cfu/100 ml**	<1	<1	8	42	80	220	9	16	18	9	18	37	2	2
ATP	**ng/l**	3,6	3,9	4	3,3	13	4,5	3,1	2,4	3,2	2,8	4,3	2,7	2,8	3,9
ATP SD	**ng/l**	0,1	0,6	0,1	0,1	0,4	0,6	0,44	0,3	0,15	0,15	0	0,74	0,89	0,3
Ammonium-NH_4	**mg/l**	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0,02	0,08	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0	0
Legionella spp.	**cfu/100 ml**	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
P. aeruginosa	**cfu/100 ml**	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	14	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<1	<1	<1	<1
Koloniegetal, 22˚C	**cfu/ml**	110	850	150	130	4300	79	49	9	110	15	32	32	96	22
L. pneumophila	**kopieën/l**	<40	<40	<40	<40	<110	<100	<60	<60	<50	<40	<50	<50	<50	<40
P. aeruginosa	**kopieën/l**	<70	<70	<70	<70	510	<160	<110	<100	<80	<70	<80	<80	<80	<70
A. fumigatus	**kopieën/l**	<70	<70	<70	<70	<180	<160	<110	<100	<80	<70	<80	<80	<80	<70
S. maltophilia	**kopieën/l**	<370	<350	<360	<370	300000	<800	<530	<520	<420	<370	<410	<420	<410	<370
Acanthamoebe	**kopieën/l**	<370	<350	<360	<370	1000	<800	<530	<520	<420	<370	<410	<420	<410	<370

Biofilm in de warmtewisselaar

Gezien in de stroomrichting		**Plaat 10**		**Plaat 145**		**Plaat 295**		**Leiding**
		Boven (kouder)	Onder (warmer)	Boven (kouder)	Onder (warmer)	Boven (warmer)	Onder (kouder)	Afvoerend
Aeromonas	cfu/cm²	38	41	140	1,50E+03	86	60	330
ATP	pg/cm²	2,90E+04	1,70E+04	1,80E+04	2,20E+04	2,30E+04	1,30E+04	4,20E+04
ATP, SD	pg/cm²	3,30E+03	1,40E+03	1,80E+03	2,70E+03	1,00E+03	33	510
Ammonium-NH_4	µg/cm²	0,47	0,53	0,44	0,56	0,4	0,54	N.B.
Legionella spp.	cfu/cm²	<9	<9	<9	<9	<9	<9	<38
Koloniegetal, 22˚C	cfu/cm²	2,00E+03	1,40E+03	2,00E+03	1,80E+03	1,80E+03	3,20E+03	1,80E+04
P. aeruginosa	cfu/cm²	<0,33	<0,33	<0,33	<0,33	<0,33	<0,33	<1,3
L. pneumophila	kopieën/l	<20	<20	<20	<20	N.B.	<20	<260
P. aeruginosa	kopieën/l	<40	<30	<30	<40	N.B.	<30	<440
A. fumigatus	kopieën/l	<40	<30	<30	<40	N.B.	<30	<440
S. maltophilia	kopieën/l	260	170	1700	350	N.B.	1900	4700
Acanthamoebe	kopieën/l	<180	<150	<140	<180	N.B.	<150	<2,2E+03

Analyses uitgevoerd door WLN op het water voor en na de warmtewisselaar

		Primaire zijde	
		Water ingaand	Water uitgaand
pH (berekend)	pH		
Temperatuur	˚C		
EGV	mS/m		
TOC	mg/l		
Silicium	mg/l	12	12
Calcium	mg/l	48	47
Koper	µg/l		
Mangaan	mg/l	<0,002	<0,002
Ijzer	mg/l	<0,01	<0,01
Zink	µg/l		
Coli	kve/100ml	<1	<1
E. coli	kve/100ml	<1	<1
Flowcytometrie:			
Levende cellen	cellen/ml	214600	206500
Dode cellen	cellen/ml	36500	22100
HNA*	cellen/ml	61300	60500
LNA**	cellen/ml	153300	146000
* high nucleic acid, 'actieve' levende bacteriën			
** low nucleic acid, 'inactieve' levende bacteriën			

Chemische analyses uitgevoerd door WLN op de biofilm in de warmtewisselaar

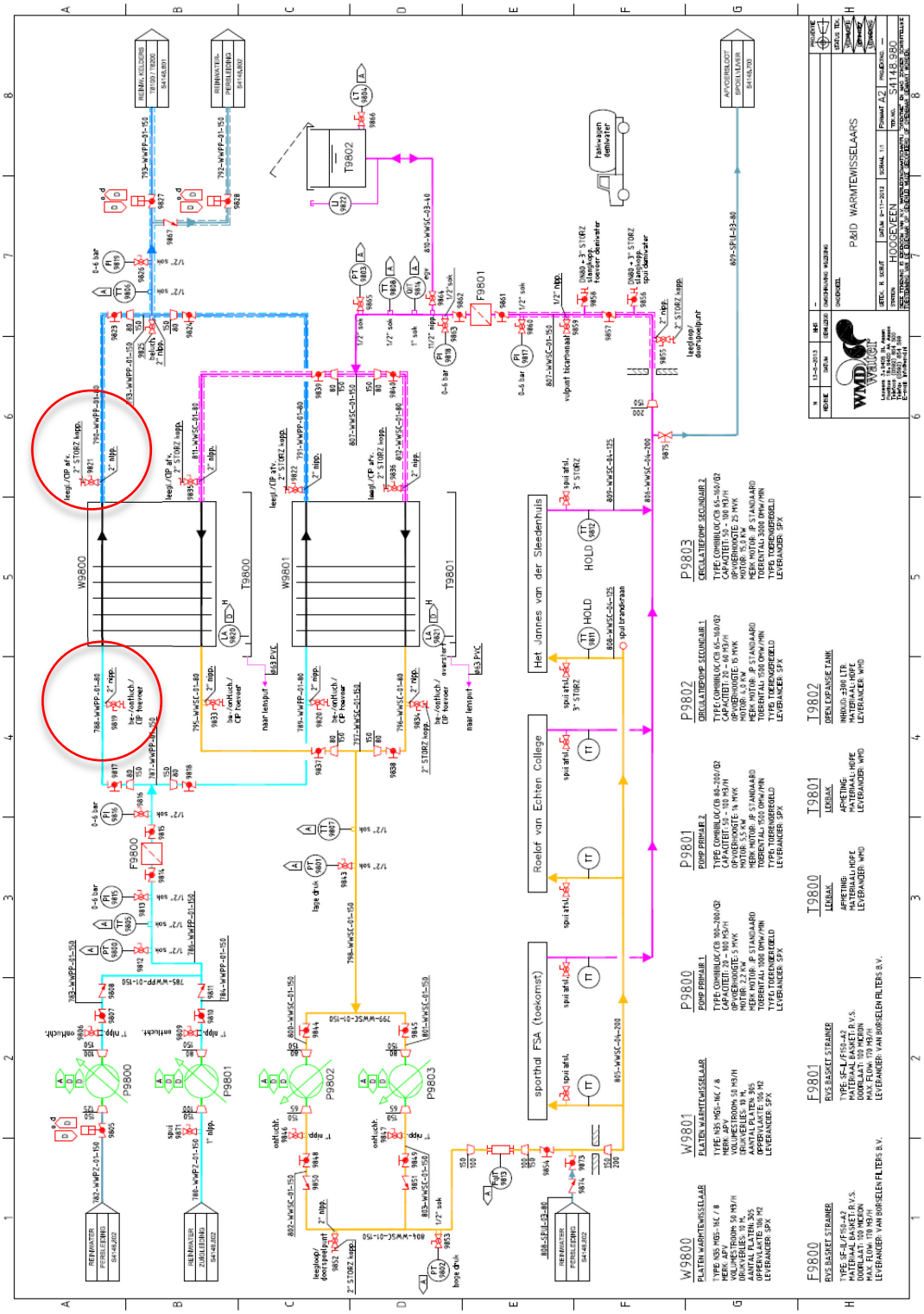
Omschrijving	Silicium	Calcium	Koper	Mangaan	IJzer	Zink	Zwavel
	mg/kg*	mg/kg*	ug/kg*	mg/kg*	mg/kg*	ug/kg*	mg/l
Swab TSA plaat 10 primaire zijde boven	380	6300	3600	540	8300	6700	<1000
Swab TSA plaat 10 primaire zijde onder	330	700	3800	570	9100	7100	<1000
Swab TSA plaat 160 primaire zijde boven	550	6600	4000	580	8500	6800	<1000
Swab TSA plaat 160 primaire zijde onder	550	5700	3700	430	7400	5700	<1000
Swab TSA plaat 295 primaire zijde boven	390	7700	3900	580	9900	7500	<1000
Swab TSA plaat 295 primaire zijde onder	410	7200	3600	470	9400	7000	<1000

Coliformen en E. coli bepaling door WLN op de biofilm in de warmtewisselaar

Omschrijving	Coliformen (MPN/colilert)	E. coli (MPN/colilert)
	kve/100ml	kve/100ml
Swab TSA plaat 10 primaire zijde boven	5	<1

Swab TSA plaat 10 primaire zijde onder	<1	<1
Swab TSA plaat 160 primaire zijde boven	<1	<1
Swab TSA plaat 160 primaire zijde onder	4	<1
Swab TSA plaat 295 primaire zijde boven	4	<1
Swab TSA plaat 295 primaire zijde onder	1	<1

Bijlage V P&ID Warmtewisselaars Hoogeveen



FIGUUR 0-8. PI&D VAN DE WARMTEWISSELAAR BIJ HOOGEVEEN. DE MONSTERKRANEN WAARUIT HET WATERMONSTER VOOR MICROBIOLOGISCHE ANALYSE ZIJN GENOMEN, ZIJN OMCIRKELD.

Bijlage VI Toelichting omrekenen naar functionele eenheid

In de methodebeschrijving is aangeven dat een functionele eenheid van "het realiseren van klimaatbeheersing van 192 woningen en 8 bedrijfspanden en de bereiding van warm tapwater" per jaar voor een wijk is gehanteerd. Het is dus noodzakelijk te corrigeren voor de verwachte levensduur van elk aparte component in de benodigde infrastructuur. Echter, het is ook noodzakelijk te corrigeren voor de verschillen in dimensies tussen de praktijksituatie (in Tabel 0-1 kolom praktijk) en de gegevens zoals die in EcoInvent 3.0 ter beschikking zijn (in Tabel 0-1 kolom EcoInvent 3.0). De correctiefactor is een ratio tussen de kosten voor een apparaat met het vermogen zoals in de praktijk ten opzichte van het vermogen zoals deze in het proces is beschreven van EcoInvent 3.0. Deze kosten worden bepaald met een Y=AX+B formule, waarbij de waarden A en B afkomstig zijn uit de ontwerpsystematiek/tool voor bodemenergiesystemen van het Rijksvastgoedbedrijf (Rijksgebouwendienst, 2010).

TABEL 0-1 CORRECTIE BEREKENING OM PROCESSEN VAN EEN DIMENSIE ZOALS BESCHIKBAAR IN DE DATABASE (ECOINVENT 3.0) OM TE ZETTEN NAAR DE DIMENSIE ZOALS IN DE PRAKTIJK TOEGEPAST (GEWENST) ZODAT DE PROCESSEN CONFORM DE FUNCTIOENLE EENHEID (FU) UITGEDRUKT KUNNEN WORDEN.

Scenario	Proces	aantal	Levensduur (jaar)	Praktijk	EcoInvent 3.0	Correctie-factor	in FU
Scenario 0	CV ketel 3,0 kW	192 stuks	10	3,0	2,8	1,07	20,5
	CV ketel 101 kW	8 stuks	10	101 kW	2 kW	2,15	1,71 stuks
	Gasleiding	4.000 m	50	-	-	-	80 m
	Buffertank	2 stuks	25	2m³	0,6m³	1,67	0,53 stuk
	Droge koeler 56 kW	3 stuks	10	56 kW	100 kW	1,13	0,25 stuk
	Droge koeler 28 kW	5 stuks	10	28 kW	100 kW	1,13	0,34 stuk
Scenario 1	TSA 590 kW	1 stuk	10	-	-	-	0,1 stuk
	TSA 150 kW	1 stuk	25	-	-	-	0,04 stuk
	Buffertank	1 stuk	25	50 m³	0,6 m³	6,58	0,26 stuk
	Droge koeler	4 stuks	10	37,5 kW	100 kW	0,74	0,30 stuk
	CV ketel 250 kW	2 stuks	10	250 kW	2 kW	2,56	0,51 stuk
	Warmtenet leiding	4.000 m	50	-	-	-	80 m
	Warmtepomp	2 stuks	10	375 kW	160 kW	1,88	0,28 stuk
	Zonnecollectoren	73 stuks	20	-	-	-	3,67 stuks

Bijlage VII Milieu-impact naar impact categorie

In Tabel 0-2 staat de milieu-impact per impact category uitgewerkt voor scenario 0 en scenario 1. Deze gegevens zijn niet omgerekend naar ecopunten.

TABEL 0-2 GEGEVENS VAN SCENARIO 0 EN 1 PER IMPACT CATEGORY (ENDPOINT)

Impact category	Unit	Scenario 0 (conventioneel)	Scenario 1 (WKD)
Climate change Human Health	DALY	7,01E-01	1,85E+00
Ozone depletion	DALY	1,62E-04	1,01E-04
Human toxicity	DALY	3,61E+00	3,78E+00
Photochemical oxidant formation	DALY	2,02E-05	3,35E-05
Particulate matter formation	DALY	6,97E-02	1,06E-01
Ionising radiation	DALY	3,36E-04	7,57E-04
Climate change Ecosystems	species.yr	3,73E-03	9,85E-03
Terrestrial acidification	species.yr	9,52E-06	1,43E-05
Freshwater eutrophication	species.yr	3,46E-06	4,22E-06
Terrestrial ecotoxicity	species.yr	3,81E-05	5,19E-05
Freshwater ecotoxicity	species.yr	2,41E-06	3,15E-06
Marine ecotoxicity	species.yr	6,24E-04	7,53E-04
Agricultural land occupation	species.yr	9,82E-05	2,88E-04
Urban land occupation	species.yr	3,15E-05	4,78E-05
Natural land transformation	species.yr	1,95E-03	2,12E-03
Metal depletion	$	3,51E+03	5,07E+03
Fossil depletion	$	6,87E+04	3,57E+04

Bijlage VIII LCA WKO-systeem

Een goed alternatief voor scenario 1 (toepassing WKD) is de toepassing van een WKO-systeem. Ten behoeve van de LCA van dit alternatief is een grove inschatting van de infrastructuur en verbruik van energie en gas gemaakt. Het verbruik in energie en gas nam af zoals beschreven in Tabel 0-7. Het WKO-systeem is gebouwd zoals beschreven in Tabel 0-3. Voor het gehele WKO-systeem is een levensduur van 50 jaar aangenomen, daarom telt in de gekozen functionele eenheid maar 0,02 stuk WKO mee (Tabel 0-4). Ook in het geval van het WKO-systeem waren enkele correcties noodzakelijk om de processen zoals die beschikbaar zijn in EcoInvent 3.0 te kunnen relateren aan de gewenste processen. Voor de HDPE buizen is dit naar rato van de diameter uitgevoerd zoals beschreven in Tabel 0-5. Voor de onderwaterpompen daarentegen is gekozen voor een ratio die overeenkomt met de verschillen in kosten conform de droge koelers, en deze berekening is samengevat in Tabel 0-6 . Voor een deel is dezelfde infrastructuur nodig als voor het WKD-systeem: namelijk de warmtewisselaar (590P), solar collector systeem, warmtepomp, leidingsysteem en tank, deze zijn berekend conform scenario 1.

TABEL 0-7 AANPASSINGEN VAN SCENARIO 1, ZODAT HET GEKOPPELD IS AAN EEN WKO-SYSTEEM.

WKO-systeem	**0,02 stuks**[1]
Energieverbruik	690 MWh
Gasverbruik	14.000 m^3

[1] zoals beschreven in Tabel 0-1.

TABEL 0-8 KENGETALLEN VOOR HET AANLEGGEN VAN EEN WKO-SYSTEEM MET TWEE BRONNEN; DE GEBRUIKTE AANNAMEN STAAN ERBOVEN BESCHREVEN.

Proces	**Uitgangspunt**	**Achterliggende aannamen**		
Dieselverbruik voor boren van 2 bronnen	64,896 kg			
		Diesel verbruik	0,78 L/m	Aanname op basis van Lindholm 2011
		Diepte boring (2x)	50 m	Op basis van globale bodemopbouw t.p.v. Culemborg (boringen van TNO)
		Dichtheid diesel	0,832 kg/L	aanname
Grind storen in boorgat	96.000 kg			
		Grind per bron	3m^3	Op basis van aangenomen diepte en boordiameter van 800mm
		Soortelijk gewicht grind	1.600 kg/m^3	Engineering toolbox.com
HDPE buis (300mm)	200 m			Zie Tabel 0-9
		Lengte buis	100 m	
		Aantal buizen	2	
Transport boorinstelling	3.000 tkm			
		Gewicht installatie	30 ton	Aanname

		afstand	100 km	Aanname
Transport afvoer grond	900 tkm			
		volume grond ter afvoer	25m³	Op basis van aangenomen diepte en boordiameter van 800mm
		Soortelijk gewicht grond	1.800 kg/m³	Engineering toolbox.com
		Afstand grond afvoer	20 km	Aanname
Extra leiding aansluiting naar TSA	150 m			
Onderwaterpompen 5kW	2 stuks			Zie Tabel 0-10
		Afschrijftermijn	10 jaar	

TABEL 0-9 CORRECTIE OM DE HDPE BUIZEN (BRONFILTER EN FILTERBUISTE RELATEREN AAN HET PROCES IN ECOINVENT3.0 (DIAMTER 200MM).

Gewenste diameter (mm)	Correctie ratio t.o.v. Ecoivent 3.0	Gewenste lengte (m)	Uitgedrukt per WKO
300	1,5	150	150

TABEL 0-10 CORRECTIE OM ONDERWATERPOMPEN TE RELATEREN AAN ECOINVENT 3.0 DATABASE.

Proces	aantal	Levensduur (jaar)	Praktijk	EcoInvent 3.0	Correctie-factor	in FU
Onderwaterpomp 5 kW	2 stuks	10	5 kW	40 W	4,445	4,445 stuk[1]

[1] De onderwaterkoeler heeft een levensduur van 10 jaar. Er is echter gerekend met een levensduur van 50 jaar voor het gehele WKO-systeem, daarvoor is gecorrigeerd.