



Inventarisatie van *Aeromonas* en koloniegetal 22°C in drinkwater en relaties met fysisch/chemische parameters

BTO 2011.001
Januari 2011

Inventarisatie van *Aeromonas* en koloniegetal 22°C in drinkwater en relaties met fysisch/chemische parameters

BTO 2011.001
Januari 2011

© 2010 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.

Colofon

Titel

Inventarisatie van *Aeromonas* en koloniegetal 22°C in drinkwater en relaties met fysisch/chemische parameters.

Projectnummer

B111707

Onderzoeksprogramma

Microbiologie

Projectmanager

Niels Dammers

Opdrachtgever

BTO

Kwaliteitsborger

Dick van der Kooij

Auteur(s)

Paul van der Wielen & Dick van der Kooij

Verzonden aan

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar

Voorwoord

Het BTO-project 'Landelijke inventarisatie nagroei' is uitgevoerd als onderdeel van het thematische project 'Biologische stabiliteit' en is begeleid door de themabegeleidingsgroep biologische stabiliteit waarin de volgende personen van de waterleidingbedrijven zitting hebben:

Geo Bakker - Vitens
Gerhard Wubbels - WLN
Trudy Suylen - Evides
Marco Dignum - Waternet
Gert Reijnen - WML
Aleksandra Magic - HWL

Stephan van de Wetering - Brabant Water
Jan Cromphout - VMW
Ed van der Mark - Dunea
Koen Huysman - Pidpa
Peter Schaap - PWN

Naast het begeleiden van het project, hebben deze personen zorg gedragen voor het aanleveren van gegevens van diverse parameters die zijn gemeten in het ruwwater, reinwater en drinkwater in het leidingnet van een groot aantal Nederlandse en Vlaamse pompstations. We bedanken de mensen voor deze hulp.

Samenvatting

Introductie

Het koloniegetal van *Aeromonas* bij 30° en het koloniegetal van bacteriën die bij 22°C op glucosegistextractagar kunnen groeien (KG22) zijn wettelijke parameters die periodiek worden bepaald in het drinkwater. Een landelijk overzicht van de waarden voor *Aeromonas* en KG22 ontbreekt echter, waardoor geen goed beeld bestaat over de landelijke problematiek met beide parameters. Ook blijft onduidelijk welke fysisch/chemische factoren een rol spelen bij de aantallen *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde drinkwater. In dit rapport worden de Nederlandse en Vlaamse pompstations ingedeeld naar aantallen KG22 en *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater. De gegevens over de Nederlandse pompstations zijn uit de REWAB-database gehaald en de gegevens over de Vlaamse locaties zijn toegestuurd door Pidpa en VMW. Met de indeling wordt een beeld gekregen over de problemen met deze wettelijke parameters bij de waterleidingbedrijven die deelnemen aan het gezamenlijke bedrijfstakonderzoek. Daarnaast is met behulp van statistische methoden onderzocht welke factoren van invloed zijn op *Aeromonas*- en KG22-aantallen in het distributiesysteem van een aantal Nederlandse pompstations. De gegevens die voor deze analyses zijn gebruikt, werden door de drinkwaterbedrijven toegestuurd.

Landelijke inventarisatie *Aeromonas* en KG22

In de periode 2004 t/m 2007 werd de wettelijke eis van *Aeromonas* (< 1000 kve 100 ml^{-1}) in 16 van 176 Nederlandse voorzieningsgebieden overschreden. In het voorzieningsgebied van Andijk, Bergen, Amsterdam en Heemskerk werden meer dan 10 overschrijdingen van de wettelijke eis waargenomen. Het 95-percentiel van het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* in drinkwater in het distributiesysteem van 176 Nederlandse voorzieningsgebieden was 125 kve 100 ml^{-1} . In drinkwater in het distributiesysteem van Vlieland, Andijk, Spannenburg, Terschelling, Zoelen, Ceintuurbaan, Noordbergum, Oldeholtspade en Kolff was het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* hoger dan 125 kve 100 ml^{-1} . Het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* in het distributiesysteem van sommige grondwaterpompstations is minder betrouwbaar, omdat weinig monsters zijn geanalyseerd of de monsters zijn genomen in één seizoen (bv winter). Hierdoor kunnen in het voorzieningsgebied van sommige grondwaterpompstations overschrijdingen van de wettelijke *Aeromonas*-eis zijn gemist. De grondwaterbedrijven hebben dit aspect onderkend en hun bemonsteringsprogramma voor 2010 aangepast.

In de periode 2004 t/m 2007 werd de wettelijke norm voor KG22 (geometrisch jaargemiddelde < 100 kve ml^{-1}) in geen van de voorzieningsgebieden overschreden. Het 95-percentiel van het geometrisch gemiddelde van KG22 in gedistribueerd drinkwater van 176 Nederlandse voorzieningsgebieden was 11,3 kve ml^{-1} . Het geometrisch gemiddelde van KG22 in het gedistribueerde drinkwater van voorzieningsgebied Terschelling, 'Drenthe-Zuidwest', Baanhoek, Schoten, Spannenburg, Andijk, Breehei, Brasschaat, Nietap, Grobbendonk, Witharen, Rumst, Essen en Hoogstraten was hoger dan 11,3 kve ml^{-1} . Daarnaast bleek dat het geometrisch gemiddelde van KG22 in distributiesystemen die worden gevoed met oppervlaktewater significant hoger was dan in distributiesystemen die worden gevoed met grondwater ($p < 0,01$).

Op basis van het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas*, het percentage *Aeromonas*-overschrijdingen en het geometrisch gemiddelde van KG22 in het gedistribueerde drinkwater zijn de voorzieningsgebieden gerangschikt. De rangschikking laat zien dat de

distributiesystemen van enkele grondwaterpompstations (Spannenburg, Nuland, Witharen, Noordbergum, Halsteren, Zoelen, Zutphenseweg en Veghel) en oppervlaktewaterpompstations (Andijk, Weesperkarspel en Bergen) relatief hoge aantallen *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde drinkwater hebben. Op deze locaties kan de mate van nagroei worden verbeterd door de waterbehandeling en/of distributie te optimaliseren. Momenteel vinden op een aantal van deze locaties projecten plaats om de biologische stabiliteit van het water te verbeteren. De rangschikking geeft bruikbare informatie over locaties waar de aantallen *Aeromonas* en KG22 in gedistribueerd drinkwater hoog zijn. Ondanks deze bruikbare informatie is het goed te realiseren dat de gegevens in de REWAB-database niet altijd betrouwbaar zijn. Zo wordt het drinkwater in een aantal voorzieningsgebieden geleverd door twee of meerdere pompstations, dat het beeld kan vertroebelen. Ook zijn de gegevens in REWAB mogelijk vervuild met data van herhalingsmonsters. Daarnaast geven *Aeromonas*- en KG22-aantallen onvolledige informatie over de biomassa en mate van nagroei in het distributiesysteem. Eerder uitgevoerd BTO-onderzoek heeft laten zien dat ATP een betere parameter is voor de hoeveelheid actieve biomassa. Het is daarom aanbevelingswaardig om, naast *Aeromonas* en KG22, ook het ATP-gehalte van het water in het distributiesysteem routinematig te bepalen.

Tevens bleek uit de analyse van de REWAB-gegevens dat de meeste waterleidingbedrijven het geometrisch jaargemiddelde van KG22 in het gedistribueerde drinkwater rapporteren. Enkele waterleidingbedrijven rapporteren echter het rekenkundig jaargemiddelde van KG22. Aangezien in het Waterleidingbesluit staat dat het geometrisch jaargemiddelde van KG22 dient te worden gerapporteerd, wordt aanbevolen dat alle waterleidingbedrijven het geometrisch jaargemiddelde van KG22 in het gedistribueerde drinkwater rapporteren naar REWAB.

Relatie tussen *Aeromonas*/KG22 en chemisch/fysische parameters

Met behulp van statistische regressiemethoden is achterhaald of bepaalde fysisch/chemische factoren in het gedistribueerde drinkwater, reinwater en ruwwater een relatie hebben met het geometrisch gemiddelde of het 95-percentiel van *Aeromonas* of KG22 in het gedistribueerde drinkwater. Sommige regressiemodellen verklaren een hoog percentage van de variantie van *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde drinkwater, maar geen van de verkregen modellen verklaart 100% van de variantie. Dit betekent dat andere niet-onderzochte parameters (bv factoren in de zuivering of distributiesysteem) ook van invloed zijn op *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde drinkwater. Tevens is het mogelijk dat bij sommige pompstations de gegevensset is vervuild met data van herhalingsmonsters. Desondanks geven de verkregen meervoudige regressiemodellen duidelijkheid over enkele fysisch/chemische parameters in het water die de aantallen *Aeromonas* en KG22 beïnvloeden.

In de meeste regressieanalyses heeft de TOC-concentratie van het ruwwater of gedistribueerde drinkwater een significante lineaire relatie met *Aeromonas* en KG22 van het drinkwater in het distributiesysteem. Een hogere TOC-concentratie van het ruwwater of gedistribueerde drinkwater resulteert hierbij tot hogere aantallen *Aeromonas* en KG22. Mogelijk dat een hogere TOC-concentratie in ruwwater leidt tot meer biomassavorming in de zuivering en tot hogere AOC-concentraties in het reinwater. Beide aspecten versterken de groei van *Aeromonas* en heterotrofe bacteriën (KG22) in het distributiesysteem. Verlaging van het TOC-gehalte van het drinkwater kan daarom mogelijk resulteren in lagere aantallen *Aeromonas* en KG22 in het distributiesysteem. Wat het effect is van verlaging van TOC in de zuivering (door ionenwisseling) op de biologische stabiliteit van het rein- en gedistribueerde drinkwater wordt verder onderzocht binnen het BTO-thema 'Biologische Stabiliteit'.

De meeste regressieanalyses voor *Aeromonas* laten zien dat gietijzer in het leidingnet gerelateerd is aan *Aeromonas* in drinkwater uit het distributiesysteem; meer gietijzer resulteert in hogere *Aeromonas*-aantallen in het drinkwater. Onderzoek heeft eerder aangetoond dat door corrosie van gietijzeren leidingen meer biomassa wordt gevormd. Een deel van de biomassa wordt waarschijnlijk door *Aeromonas* afgebroken in het distributiesysteem. Het vergt aanvullend onderzoek om de precieze relatie tussen gietijzer en *Aeromonas* op te helderen.

Andere fysisch/chemische parameters die het geometrisch gemiddelde of 95-percentiel van *Aeromonas* of KG22 in het gedistribueerde drinkwater bereid met grondwater beïnvloeden, zijn de calciumconcentratie van het gedistribueerde drinkwater, de pH van het gedistribueerde drinkwater of reinwater en de ammoniumconcentratie van het ruwwater. Bij de oppervlaktewaterlocaties hebben het 95-percentiel van de temperatuur in het gedistribueerde drinkwater, de ijzerconcentratie van het gedistribueerde drinkwater en de mangaanconcentratie van het ruwwater een relatie met *Aeromonas* en KG22.

Groepering grondwaterpompstations

Een clusteranalyse is uitgevoerd op de waarden van een aantal chemische parameters (methaan, ammonium, TOC, ijzer en mangaan) van het ruwwater van 38 grondwaterpompstations, zodat pompstations met dezelfde ruwwatersamenstelling worden gegroepeerd. De gegevens van *Aeromonas* en KG22 van het drinkwater in het distributiesysteem van gegroepeerde pompstations zijn daarna vergeleken, om vast te stellen of sommige grondwaterpompstations op basis van hun ruwwatersamenstelling lagere aantallen *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde drinkwater zouden moeten kunnen hebben. De 38 grondwaterpompstations vormen 9 verschillende groepen die bestaat uit twee of meer grondwaterpompstations. Alleen ps Spannenburg en ps Veghel groeperen niet bij de overige pompstations en hebben dus een unieke ruwwatersamenstelling.

De pompstations Witharen, Zuidwolde, Noordbergum, Oldeholtgade en St. Jans klooster groeperen bij elkaar, waarbij ps Oldeholtgade lagere aantallen *Aeromonas* en KG22 heeft in het gedistribueerde drinkwater. Mogelijk is het toepassen van ionenwisseling in de zuivering van ps Oldeholtgade de oorzaak voor dit verschil. Bij de gegroepeerde pompstations Hoogeveen, Nietap, Halsteren en Breehei zijn de aantallen *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde drinkwater van ps Halsteren hoger dan bij de drie andere pompstations. Welke factoren dit verschil veroorzaken is onduidelijk omdat de zuivering, jaarproductie en leidingmateriaal van ps Halsteren niet afwijken van de drie andere pompstations. Van de gegroepeerde pompstations Assen, Vlieland, Zutphenseweg en Ceintuurbaan heeft ps Assen lagere aantallen *Aeromonas* en KG22 in het voorzieningsgebied. Ps Assen is het enige pompstation van de groep waar de beluchting plaatsvindt voor de filters die, in tegenstelling tot filters van de andere drie pompstations, zijn gevuld met zand en antraciet. Mogelijk dat deze verschillen de lagere aantallen *Aeromonas* en KG22 in het voorzieningsgebied van ps Assen verklaren. De clusteranalyse groepeerd ook de pompstations Zoelen, Hanik, Tilburg, Haaren en Schijndel bij elkaar. De aantallen KG22 en *Aeromonas* in het distributiesysteem van ps Zoelen zijn echter hoger dan in de distributiesystemen van de vier andere pompstations. De zuivering bij ps Zoelen bestaat uit een enkele beluchting/filtratie. De andere pompstations passen dubbele beluchting/filtratie toe in de zuivering. Dit verschil in de zuivering veroorzaakt waarschijnlijk de hogere aantallen *Aeromonas* en KG22 in het distributiesysteem van ps Zoelen.

Groepering van de pompstations naar ruwwatersamenstelling is bruikbaar om informatie te krijgen over mogelijke optimalisatie van de zuivering bij sommige grondwaterpompstations. Er wordt aanbevolen om echter ook de bedrijfsvoering van de zuivering en distributie te vergelijken bij enkele van de hierboven genoemde pompstations. De resultaten van dit extra

onderzoek en de clusteranalyse kunnen vervolgens worden gebruikt om aanbevelingen te definiëren over de optimalisatie van zuivering en/of distributiesysteem bij de hierboven genoemde pompstations, zodat de aantallen *Aeromonas* en KG22 in het distributiesysteem zullen dalen. Deze aanvullende inventarisaties vallen buiten de focus van dit rapport en worden bij voorkeur door proces- en distributietechnologen uitgevoerd.

Inhoud

Voorwoord	1
Samenvatting	3
Inhoud	7
1 Introductie	9
1.1 Microbiële groei in drinkwater	9
1.2 Afbreekbare stoffen in grondwaterbehandeling	9
1.3 Afbreekbare stoffen in de oppervlaktewaterbehandeling	9
1.4 Probleemstelling en doel	10
2 Gegevens en analyses	11
2.1 Rangschikking voorzieningsgebieden op basis van REWAB-gegevens	11
2.1.1 REWAB-gegevens	11
2.1.2 Gegevens van Vlaamse bedrijven Pidpa en VMW	11
2.1.3 Rangschikking voorzieningsgebieden	11
2.2 Relatie tussen KG22/ <i>Aeromonas</i> en fysisch/chemische parameters met gegevens van specifieke productielocaties	12
2.2.1 Gegevens van specifieke productielocaties	12
2.2.2 Enkelvoudige correlatieanalyse	12
2.2.3 Meervoudige regressieanalyse	13
2.2.4 Canonieke regressieanalyse	14
2.3 Clusteranalyse	15
3 Landelijke inventarisatie KG22 en <i>Aeromonas</i>	17
3.1 Koloniegetal van bacteriën op glucosegistextractagar bij 22°C (KG22)	17
3.2 Koloniegetal van <i>Aeromonas</i> bij 30°C	18
3.2.1 Rekenkundig gemiddelde <i>Aeromonas</i>	18
3.2.2 Overschrijding wettelijke eis <i>Aeromonas</i>	20
3.3 Rangschikking pompstations	21
3.4 Discussie	23
3.4.1 KG22 en <i>Aeromonas</i>	23
3.4.2 Rangschikking pompstations	25
4 Relatie tussen KG22/<i>Aeromonas</i> en chemisch/fysische parameters	29
4.1 Enkelvoudige correlaties	29
4.1.1 Relatie tussen microbiologische parameters	29
4.1.2 Relatie tussen microbiologische parameters in het gedistribueerde drinkwater en fysisch/chemische parameters	31
4.2 Meervoudige regressieanalyse	33
4.2.1 KG22 in gedistribueerd drinkwater dat is bereid met grondwater	34
4.2.2 KG22 in gedistribueerd drinkwater dat is bereid met oppervlaktewater	34

4.2.3	Aeromonas in gedistribueerd drinkwater dat is bereid met grondwater	36
4.2.4	Aeromonas in gedistribueerd drinkwater dat is bereid met oppervlaktewater	37
4.3	Canonieke regressieanalyse	38
4.4	Discussie	40
4.4.1	Relatie tussen KG22 en Aeromonas in reinwater en gedistribueerd drinkwater	40
4.4.2	Relatie tussen KG22/Aeromonas gedistribueerd drinkwater en chemisch/fysische parameters	41
4.4.3	Implementatie van de resultaten	45
5	Groepering grondwaterpompstations	47
5.1	Clusteranalyse ruwwatersamenstelling grondwaterpompstations	47
5.1.1	Groep één: Witharen, Zuidwolde, Noordbergum, Oldeholtpade en St. Jansklooster	47
5.1.2	Groep twee: Nuland en Kolff	49
5.1.3	Groep vier: Hoogeveen, Nietap, Halsteren en Breehei	50
5.1.4	Groep vijf: 't Klooster en Laarderhoogt	51
5.1.5	Groep zes: Assen, Vlieland, Zutphenseweg en Ceintuurbaan	51
5.1.6	Groep zeven: Zoelen, Hanik, Tilburg, Haaren en Schijndel	53
5.1.7	Pompstations van groepen drie, acht en negen	54
6	Conclusies en aanbevelingen	55
6.1	<i>Conclusies</i>	55
6.1.1	Omvang probleem KG22 en Aeromonas	55
6.1.2	Regressieanalyses	55
6.1.3	Ruwwaterkwaliteit grondwater en zuiveringsschema's	56
6.2	Aanbevelingen	56
6.2.1	Praktijk	56
6.2.2	Onderzoek	57
7	Referenties	59
I	Bijlage I	61
II	Bijlage II	67

1 Introductie

1.1 Microbiële groei in drinkwater

Om te voorkómen dat consumenten besmet raken met pathogene micro-organismen via het drinkwater, controleren de waterleidingbedrijven of het drinkwater na de bereiding en tijdens distributie voldoet aan de wettelijke eisen voor gedefinieerde microbiologische parameters. Het onderzoek naar de aanwezigheid van bacteriën van fecale herkomst staat daarbij centraal. Daarnaast wordt ook het koloniegetal van bacteriën die bij 22°C op glucosegistextractagar kunnen groeien (KG22) en het koloniegetal van *Aeromonas* bij 30°C periodiek bepaald in het water. Beide groepen bacteriën kunnen zich vermeerderen wanneer afbreekbare stoffen aanwezig zijn in het water; deze microbiële groei wordt ook wel nagroei genoemd. Nagroei in het distributienet kan de volgende nadelige effecten hebben: (1) groei van opportunistische ziekteverwekkende bacteriën zoals *Legionella pneumophila*, enkele *Mycobacterium*-soorten, *Pseudomonas aeruginosa* of ziekteverwekkende schimmels; (2) groei van ongewervelde dieren op microbiële biomassa kan leiden tot consumentenklachten; (3) microbiële activiteit en biomassa kunnen de troebelheid, kleur, smaak en geur van het water beïnvloeden en leiden tot consumentenklachten; (4) microbiële processen kunnen corrosie van leidingmateriaal versnellen; (5) vermeerdering van bacteriën die behoren tot de coligroep, KG22 en *Aeromonas* waardoor niet meer wordt voldaan aan de wettelijke eis. Ter beperking van nagroei van micro-organismen in het gedistribueerde drinkwater streven de waterleidingbedrijven in Nederland naar een vergaande verwijdering van organische en anorganische afbreekbare stoffen uit het water.

1.2 Afbreekbare stoffen in grondwaterbehandeling

Grondwater en oppervlaktewater kunnen verschillende afbreekbare stoffen voor bacteriën bevatten. Voor grondwater zijn organische verbindingen, methaan en ammonium de belangrijkste afbreekbare stoffen. De redoxstatus van het grondwater is van invloed op de aanwezigheid van afbreekbare stoffen. Sterk gereduceerd grondwater kan ammonium, methaan en sulfide bevatten, terwijl deze stoffen in oxisch grondwater afwezig zijn. Ammonium wordt met zuurstof omgezet tot nitraat door nitrificerende micro-organismen; methaan wordt met zuurstof door methanotrofe bacteriën omgezet tot koolstofdioxide. Uiteindelijk leidt de bacteriële omzetting van ammonium en methaan tot de vorming van biomassa waarbij nitrificerende bacteriën en een deel van de methanotrofe bacteriën CO₂ vastleggen in biomassa. Omdat methaan een energierijkere stof is dan ammonium en de CO₂-fixatie door nitrificerende bacteriën veel energie kost, is de biomassaopbrengst per mg methaan ongeveer 10 keer hoger dan per mg ammonium.

In de zuivering wordt methaan voor het grootste gedeelte fysisch verwijderd door beluchting. De restconcentratie methaan wordt in de filters door methanotrofe bacteriën omgezet. Ammonium en afbreekbaar organisch materiaal worden niet verwijderd in de beluchting en deze stoffen worden door micro-organismen omgezet in de snelfilters van de grondwaterbehandeling. Dit leidt uiteindelijk tot de vorming van biomassa en dus organisch materiaal dat voor een gedeelte weer kan worden afgebroken door micro-organismen of het kan worden opgenomen door ongewervelde dieren in de zuivering of distributiesysteem.

1.3 Afbreekbare stoffen in de oppervlaktewaterbehandeling

Oppervlaktewater is over het algemeen oxisch en bevat daardoor voornamelijk organische verbindingen als (moeilijk) afbreekbare stof. Omdat oppervlaktewater meer milieuvreemde

verbindingen en ongewenste micro-organismen bevat dan grondwater, bevatten veel oppervlaktewaterbehandelingen oxidatieve en desinfecteerprocessen zoals ozonisatie, UV of nadosering met chloordioxide, die deze ongewenste chemische verbindingen en fecale ziekteverwekkende micro-organismen verwijderen. Een bijwerking van deze processen is echter dat moeilijk afbreekbaar organisch materiaal wordt omgezet tot gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal, dat verhoogde groei van micro-organismen in het water veroorzaakt. Daarom volgt bij de meeste oppervlaktewaterbehandelingen actief koolfiltratie of langzame zandfiltratie op oxidatieprocessen, waardoor het gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal door micro-organismen in de zuivering wordt omgezet. Deze omzetting leidt uiteindelijk tot vorming van biomassa dat voor een gedeelte zal uitspoelen naar het reinwater. Deze biomassa wordt vervolgens afgebroken door micro-organismen of opgenomen door dierlijke organismen in het distributiesysteem.

1.4 Probleemstelling en doel

Tijdens de BTO-workshop 'Biologische Stabiliteit' van eind 2007 bleek uit de gepresenteerde informatie dat verschillende waterleidingbedrijven problemen hebben met groei van micro-organismen en dierlijke organismen in het distributienet. De omvang van de problematiek en op welke locaties problemen met groei van micro-organismen optreden, zijn echter onduidelijk. De wettelijke parameters voor nagroei die waterleidingbedrijven regulier bepalen (KG22 en *Aeromonas*), zijn opgenomen in REWAB en worden verwerkt door het RIVM, die jaarlijkse overzichten publiceert van alle wettelijke parameters. Tot nu toe zijn deze gegevens echter niet gebruikt om de omvang van de problematiek met groei van heterotrofe bacteriën die behoren tot het KG22 en *Aeromonas* in het distributiesysteem te achterhalen en op welke locaties overschrijdingen van de wettelijke eis van KG22 en *Aeromonas* plaatsvinden.

De waterleidingbedrijven bepalen ook periodiek een serie fysisch/chemische parameters in het ruwwater, reinwater en gedistribueerde water. Een aantal van deze parameters beïnvloeden mogelijk direct of indirect de groei van *Aeromonas* en heterotrofe bacteriën die behoren tot het KG22 in het distributiesysteem. Dit aspect is tot dusver niet in detail in landelijk verband onderzocht. Daarom zijn de routinematig verkregen parameters ook gebruikt om gemeenschappelijke factoren in het ruwwater, de zuivering en/of distributienet te identificeren die de groei verhogen van *Aeromonas* en heterotrofe bacteriën (KG22) in het gedistribueerde drinkwater. De resultaten van deze analyses kunnen worden gebruikt voor een meer gerichte aanpak om bij pompstations met ongewenste aantallen *Aeromonas* en KG22 de kwaliteit van het drinkwater te verbeteren.

De doelstellingen van de studie beschreven in dit rapport zijn:

- De omvang achterhalen van de problematiek met groei van *Aeromonas* en heterotrofe bacteriën die behoren tot het KG22 in het distributiesysteem en locaties identificeren waar de aantallen *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde water relatief hoog zijn. Deze aspecten worden bepaald door de Nederlandse en Vlaamse pompstations, die zijn aangesloten bij het gezamenlijke bedrijfstakonderzoek, in te delen naar aantallen *Aeromonas* en KG22 van het drinkwater in het distributiesysteem;
- Met behulp van enkelvoudige, meervoudige en canonieke regressieanalyse achterhalen welke fysisch/chemische factoren van invloed zijn op *Aeromonas*- en KG22-aantallen in het distributiesysteem;
- Grondwaterpompstations groeperen naar concentraties van meerdere chemische ruwwaterparameters en achterhalen welke factoren een mogelijk rol spelen bij groei van *Aeromonas* en heterotrofe bacteriën die behoren tot het KG22 in de betreffende distributiesystemen.

2 Gegevens en analyses

2.1 Rangschikking voorzieningsgebieden op basis van REWAB-gegevens

2.1.1 REWAB-gegevens

Ieder jaar verzamelen de waterleidingbedrijven per productielocatie/voorzieningsgebied gegevens over microbiologische en chemische parameters van het ruwwater, reinwater en van drinkwater in het distributiesysteem door monsters aan de kraan te nemen (gedistribueerd drinkwater). Per parameter wordt jaarlijks het gemiddelde voor iedere parameter uitgerekend en dit gemiddelde wordt samen met het minimum en maximum voor de betreffende parameter ingevoerd in de landelijke database REWAB. Daarnaast wordt ook het aantal overschrijdingen van de wettelijke eisen voor parameters die volgens het waterleidingbesluit moeten worden gemeten in REWAB ingevoerd.

Voor de landelijke inventarisatie zijn van 176 voorzieningsgebieden (Bijlage I) REWAB-gegevens van enkele microbiologische parameters over de jaren 2004 tot en met 2007 gebruikt. Het gaat hierbij om de parameters KG22 en *Aeromonas* bij 30°C die in het reinwater en gedistribueerde drinkwater zijn bepaald. Van deze twee parameters is het gemiddelde (KG22: geometrisch gemiddelde; *Aeromonas*: rekenkundig gemiddelde), de minimumwaarde, de maximum waarde en het aantal wettelijke overschrijdingen uit de REWAB-database gebruikt.

2.1.2 Gegevens van Vlaamse bedrijven Pidpa en VMW

Naast de gegevens van 176 Nederlandse voorzieningsgebieden zijn ook gegevens gebruikt van Vlaamse voorzieningsgebieden die eigendom zijn van Pidpa (13 locaties) of VMW (5 locaties)(Bijlage I). Voor de locaties van Pidpa en VMW zijn gegevens van dezelfde parameters gebruikt als voor de Nederlandse pompstations. Een uitzondering hierop is *Aeromonas* in het reinwater en gedistribueerde drinkwater. Deze parameter wordt in Vlaanderen niet of sporadisch (enkele watertorens in het voorzieningsgebied) gemeten.

2.1.3 Rangschikking voorzieningsgebieden

Om de 176 Nederlandse voorzieningsgebieden te rangschikken naar KG22 en *Aeromonas* in het leidingnet werd per voorzieningsgebied een score toegekend voor KG22, *Aeromonas* en de wettelijke overschrijdingen van *Aeromonas* in drinkwater in het distributiesysteem. Voor de microbiologische parameter KG22 werd het geometrische gemiddelden per voorzieningsgebied gebruikt over de periode 2004 tot en met 2007, terwijl voor *Aeromonas* het rekenkundig gemiddelde over deze periode werd gebruikt. Voor de wettelijke overschrijding van *Aeromonas* werd het percentage *Aeromonas*-overschrijdingen in de periode 2004 tot en met 2007 gebruikt. Vervolgens werd het geometrisch gemiddelden van KG22, het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* en het percentages wettelijke *Aeromonas*-overschrijdingen van drinkwater in het distributiesysteem van alle geanalyseerde voorzieningsgebieden gebruikt om het 50-, 75-, 90- en 95-percentiel uit te rekenen en werden scores toegekend per klasse zoals beschreven in Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Toekenning van scores aan de klassen gebaseerd op de percentielswaarden

<i>Klassen</i>	<i>Score</i>
$x \leq 50\text{-percentiel}$	0
$50\text{-percentiel} \leq x \leq 75\text{-percentiel}$	1
$75\text{-percentiel} \leq x \leq 90\text{-percentiel}$	2
$90\text{-percentiel} \leq x \leq 95\text{-percentiel}$	3
$x > 95\text{-percentiel}$	4

Deze benadering leidde tot drie scores (KG22, *Aeromonas*, wettelijke *Aeromonas*-overschrijdingen) die per voorzieningsgebied bij elkaar werden opgeteld. Deze totaalscore werd vervolgens gebruikt om de voorzieningsgebieden te rangschikken.

In Vlaanderen is *Aeromonas* geen wettelijke parameter, waardoor deze parameter in de periode 2004 tot en met 2007 niet is gemeten in het gedistribueerde drinkwater. Hierdoor werd voor de 18 Vlaamse bedrijven alleen een score berekend voor het geometrisch gemiddelde van KG22. Deze score is vervolgens vergeleken met de KG22-score van de Nederlandse waterleidingbedrijven, hoewel de twee landen verschillende agarmedia gebruiken om de aantallen KG22 te bepalen. In Nederland wordt het koloniegetal op glucosegistextractagar bepaald, terwijl in België plate count agar wordt gebruikt. In Nederland werd voor het jaar 2000 ook plate count agar gebruikt en de overgang naar glucosegistextractagar heeft niet geleid tot andere aantallen KG22. Beide agarmedia hebben dan ook een vergelijkbare samenstelling; ook de incubatietijd en temperatuur is hetzelfde.

2.2 Relatie tussen KG22/*Aeromonas* en fysisch/chemische parameters met gegevens van specifieke productielocaties

2.2.1 Gegevens van specifieke productielocaties

De analyse van de REWAB-gegevens leidde tot een rangschikking van 176 voorzieningsgebieden in Nederland. Op basis van deze rangschikking werden 50 productielocaties (Bijlage II) geselecteerd die een hoge, gemiddelde en lage score hadden in de rangschikking. Van deze 50 productielocaties hebben de waterleidingbedrijven meetwaarden van een aantal parameters (Tabel 2.2) over de jaren 2006, 2007 en 2008 verzameld en naar KWR gestuurd. Vervolgens werd voor iedere parameter het gemiddelde (chemisch/fysische parameter), geometrisch gemiddelde (microbiologische parameters) en het 95-percentiel uitgerekend.

Tabel 2.2 Parameters van het ruwwater, reinwater en drinkwater in het distributiesysteem (gedistribueerd drinkwater) van 50 productielocaties over de jaren 2006, 2007 en 2008.

Ruwwater	Reinwater	Gedistribueerd drinkwater
Methaan	KG22	KG22
Ammonium	<i>Aeromonas</i> 30°C	<i>Aeromonas</i> 30°C
DOC/TOC	DOC/TOC	DOC/TOC
IJzer	IJzer	IJzer
Mangaan	Mangaan	Mangaan
Temperatuur	Temperatuur	Temperatuur
	Zuurgraad	Zuurgraad
	Calcium	Calcium

Tevens werden van de productielocaties ook de behandelingsprocessen in de zuivering, het aantal uren dat de zuivering per dag in bedrijf is, de jaarproductie en het percentage gietijzer, PVC en asbestcement in het leidingnet verzameld en toegestuurd.

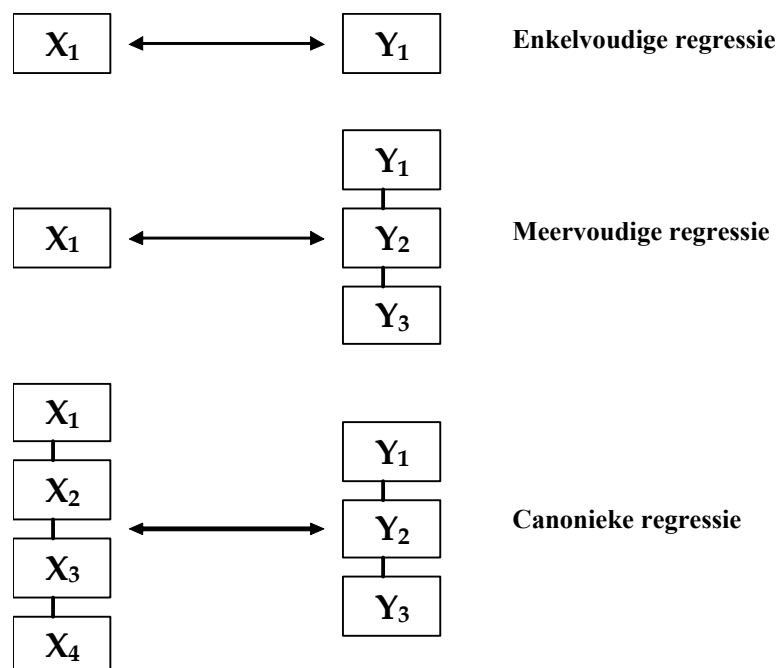
2.2.2 Enkelvoudige correlatieanalyse

De enkelvoudige relatie tussen het geometrisch gemiddelde of 95-percentiel van *Aeromonas* of KG22 van het gedistribueerde drinkwater (periode 2006 t/m 2008) en het gemiddelde of 95-percentiel van de verschillende microbiologische of chemische/fysische parameters (periode 2006 t/m 2008) werd bepaald met enkelvoudige correlatieanalyses (Figuur 2.1). Deze correlatieanalyses bestonden uit het bepalen van de Pearson correlatiecoëfficiënt. Een voorwaarde voor het bepalen van de Pearson correlatiecoëfficiënt is dat de gegevens van iedere parameter zo veel mogelijk voldoet aan de normale kansverdeling. Daarom is met de

Kolgomorov-Smirnov test ($p > 0,01$) bepaald welke parameters voldoen aan de normale verdeling. De volgende gegevens bleken niet normaal verdeeld: geometrisch gemiddelde en 95-percentiel van *Aeromonas* en KG22 in drinkwater in het distributiesysteem en het reinwater, het gemiddelde en 95-percentiel van TOC, ijzer en mangaan in het ruwwater, het percentage gietijzer in het leidingnet en de jaarproductie. Van deze parameters is vervolgens de logaritmische waarde berekend. Deze logaritmische waarden waren wel normaal verdeeld volgens de Kolgomorov-Smirnov test. De berekende correlaties werden vervolgens beschouwd als significant en voldoende verklarend als het significantieniveau (p -waarde) $< 0,05$ en het kwadraat van de correlatiecoëfficiënt (R^2) $> 0,5$ was.

2.2.3 Meervoudige regressieanalyse

De relatie tussen het geometrisch gemiddelde of 95-percentiel van *Aeromonas* of het geometrisch gemiddelde of 95-percentiel van KG22 van het gedistribueerde drinkwater (periode 2006 t/m 2008) en het gemiddelde of 95-percentiel van meerdere chemische/fysische parameters (periode 2006 t/m 2008) werd bepaald met meervoudige regressiemodellen (Figuur 2.1). Voor het ontwikkelen van de meervoudige regressiemodellen werden verschillende fysisch/chemische parameters als onafhankelijke variabelen ingevoerd in de lineaire regressieanalyse van PASW statistics 18.0. Hiervoor werden de normaal verdeelde gegevens gebruikt zoals vermeld in paragraaf 2.2.2. Vervolgens verwijderde het statistische computerprogramma stapsgewijs steeds een variabele waarvan het significantieniveau van de geschatte modelcoëfficiënt het verst boven het vooraf ingestelde significantieniveau van 0,05 lag ('terugwaartse modelontwikkeling'). Deze stapsgewijze procedure werd herhaald totdat de overgebleven parameters in het meervoudige regressiemodel een significantieniveau hadden onder de grenswaarde van 0,05. De regressieanalyses werden apart uitgevoerd voor de grondwater- en oppervlaktewaterlocaties. De analyses van de grondwaterlocaties waren gebaseerd op 38 of 25 waarnemingen; regressieanalyses van de oppervlaktewaterlocaties waren gebaseerd op 12 waarnemingen.



Figuur 2.1. De eigenschappen van de verschillende regressieanalyses

Op deze manier werden meervoudige regressiemodellen verkregen met een aantal significante, verklarende fysisch/chemische parameters. Naast de significantie van elke verklarende parameter in het model, werden ook de R^2 van het totale model en de partiële correlatiecoëfficiënt en tolerantie van elke afzonderlijke parameter berekend. De R^2 van het totale model geeft informatie over het percentage variantie dat van de microbiologische variabele (geometrisch gemiddelde *Aeromonas*, 95-percentiel *Aeromonas*, geometrisch gemiddelde KG22 of 95-percentiel KG22 van het gedistribueerde drinkwater) wordt verklaard met de fysisch/chemische parameters in het model. Een R^2 van 0,6 betekent dat 60% van de variantie in de microbiologische parameter door de variabelen in het model wordt verklaard. De partiële correlatiecoëfficiënt van elke afzonderlijke parameter beschrijft de mate van invloed van de afzonderlijke parameter in het regressiemodel. De waarde van de partiële correlatiecoëfficiënt kan variëren tussen de 0 en 1. Des te dichter de partiële correlatiecoëfficiënt van een afzonderlijke parameter bij 1 komt, des te invloedrijker deze parameter is in het meervoudige regressiemodel. De tolerantie laat zien of twee verklarende parameters onderling een sterke correlatie hebben (colineariteit). Een sterke onderlinge correlatie tussen twee verklarende parameters resulteert in een minder betrouwbaar meervoudig regressiemodel. De tolerantiewaarden kunnen variëren tussen de 0 en 1. Des te dichter de tolerantie bij 1 ligt, des te lager de colineariteit. Wanneer de tolerantie van de verklarende parameters in het ontwikkelde meervoudig regressiemodel onder de 0,4 uitkwam, werden de onderling sterk gecorreleerde parameters in het model vervangen door samengestelde of gecorrigeerde variabelen. Samengestelde variabelen zijn variabelen waarbij de onderling sterk gecorreleerde parameters met elkaar werden vermenigvuldigd. Een gecorrigeerde variabele is een variabele die is gecorrigeerd voor een andere parameter waarmee deze sterk is gecorreleerd.

2.2.4 Canonieke regressieanalyse

Voor de grondwaterlocaties werd ook een canonieke regressieanalyse uitgevoerd. Hierbij wordt de relatie tussen de gezamenlijke microbiologische parameters in het gedistribueerde drinkwater en de fysisch/chemische parameters onderzocht (Figuur 2.1). De canonieke regressieanalyse geeft informatie over fysisch/chemische factoren in het water die een relatie hebben op de vier microbiologische parameters gezamenlijk. In tabel 2.3 zijn de microbiologische en fysisch/chemische parameters weergegeven die zijn gebruikt in de canonieke regressieanalyse. Deze parameters zijn gekozen op basis van hun invloed in het canonieke model. Bij vergelijkbare parameters is de parameter met de meeste invloed in het canonieke model gekozen. Zo bleek bijvoorbeeld dat de gemiddelde TOC-concentratie van het ruwwater een grotere invloed in het canonieke regressiemodel heeft dan de gemiddelde TOC-concentratie van het reinwater of gedistribueerde drinkwater. Hierdoor is de TOC-concentratie van het ruwwater als parameter in het canonieke regressiemodel gebruikt. Doordat er minder waarnemingen zijn van het percentage gietijzer in het distributienet werd de canonieke regressieanalyse uitgevoerd met gegevens van 25 grondwaterpompstations waarbij deze informatie wel beschikbaar was. Daarnaast werden de normaal verdeelde gegevens gebruikt zoals vermeld in paragraaf 2.2.2. De canonieke regressieanalyse werd uitgevoerd met de MANOVA syntax voor PASW Statistics 18.0. De uitkomsten van deze analyse geven aan of de microbiologische parameters significant zijn gerelateerd met de fysisch/chemische parameters, de verklarende variantie (R^2) tussen beide datasets en de correlatiecoëfficiënten voor elke afzonderlijke parameter in het canonieke regressiemodel.

Bij alle drie de regressieanalyses is rekening gehouden met uitbijters. Uitbijters zijn gedefinieerd als waarden die meer dan drie keer de standaarddeviatie afwijken van het gemiddelde. Over het algemeen bleken de verschillende parameters geen uitbijters te hebben.

Tabel 2.3 Microbiologische en chemisch/fysische parameters die zijn gebruikt in de canonieke regressieanalyse.

<i>Microbiologische parameters gedistribueerd drinkwater</i>	<i>Fysisch/chemische parameters</i>
Geometrisch gemiddelde KG22	Jaarproductie
95-percentiel KG22	Gemiddeld ijzer ruwwater
Geometrisch gemiddelde <i>Aeromonas</i>	Gemiddeld TOC ruwwater
95-percentiel <i>Aeromonas</i>	Gemiddelde pH reinwater
	Gemiddeld methaan ruwwater
	Gemiddeld ammonium ruwwater
	95-percentiel temperatuur gedistribueerd drinkwater
	% Gietijzer distributienet

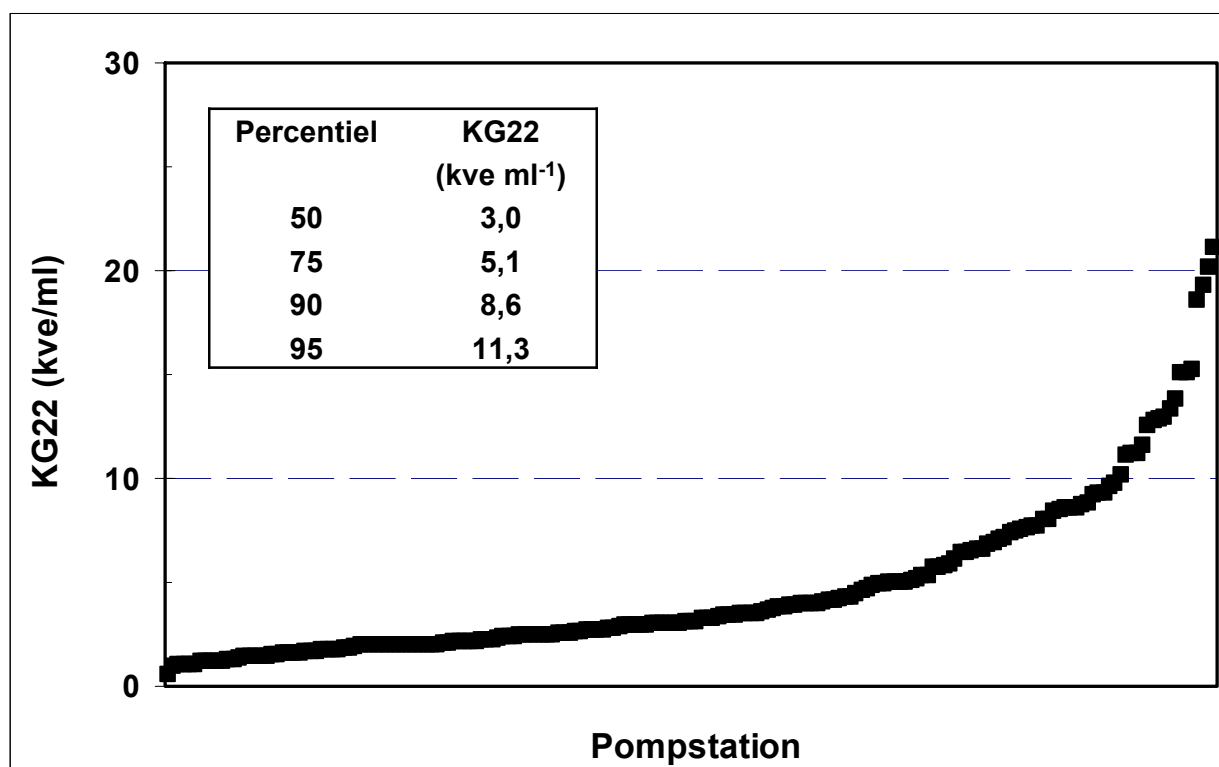
2.3 Clusteranalyse

De 38 geselecteerde grondwaterpompstations werden gegroepeerd naar ruwwatersamenstelling. Om deze groepering uit te kunnen voeren zijn de ruwwatergegevens van methaan, ammonium, TOC, ijzer en mangaan over de periode 2006 tot en met 2008 per pompstation gemiddeld. Deze parameters hebben echter verschillende concentratieranges (zo loopt de methaanconcentratie van 0 tot 42 mg/l en de mangaanconcentratie van 0 tot 0,61 mg/l), waardoor de groepering voor het overgrote deel wordt bepaald door de parameter met de grootste range (methaan). Daarom is voor deze concentratieverschillen gecorrigeerd door de gemiddelde concentraties per parameter te transformeren naar Z-genormaliseerde waarden. Door deze transformatie is de range van iedere ruwwaterparameter gelijk, zodat elke parameter evenveel invloed heeft in de groepering. Vervolgens is met PASW Statistics 18.0 een hiërarchische clusteranalyse uitgevoerd, waarbij Euclidische afstanden tussen de waarden zijn uitgerekend door de 'within groups' clustermethode te gebruiken. Op basis van de op deze manier verkregen dendrogram zijn clusters (groepen) aan pompstations toegewezen. Deze groepering is vervolgens gebruikt om te achterhalen of bepaalde processen in de zuivering of factoren in het leidingnet kunnen verklaren waarom pompstations die tot dezelfde groep behoren (en dus een vergelijkbare ruwwatersamenstelling hebben), verschillen in de aantallen KG22 en *Aeromonas* in het leidingnet.

3 Landelijke inventarisatie KG22 en *Aeromonas*

3.1 Koloniegetal van bacteriën op glucosegistextractagar bij 22°C (KG22)

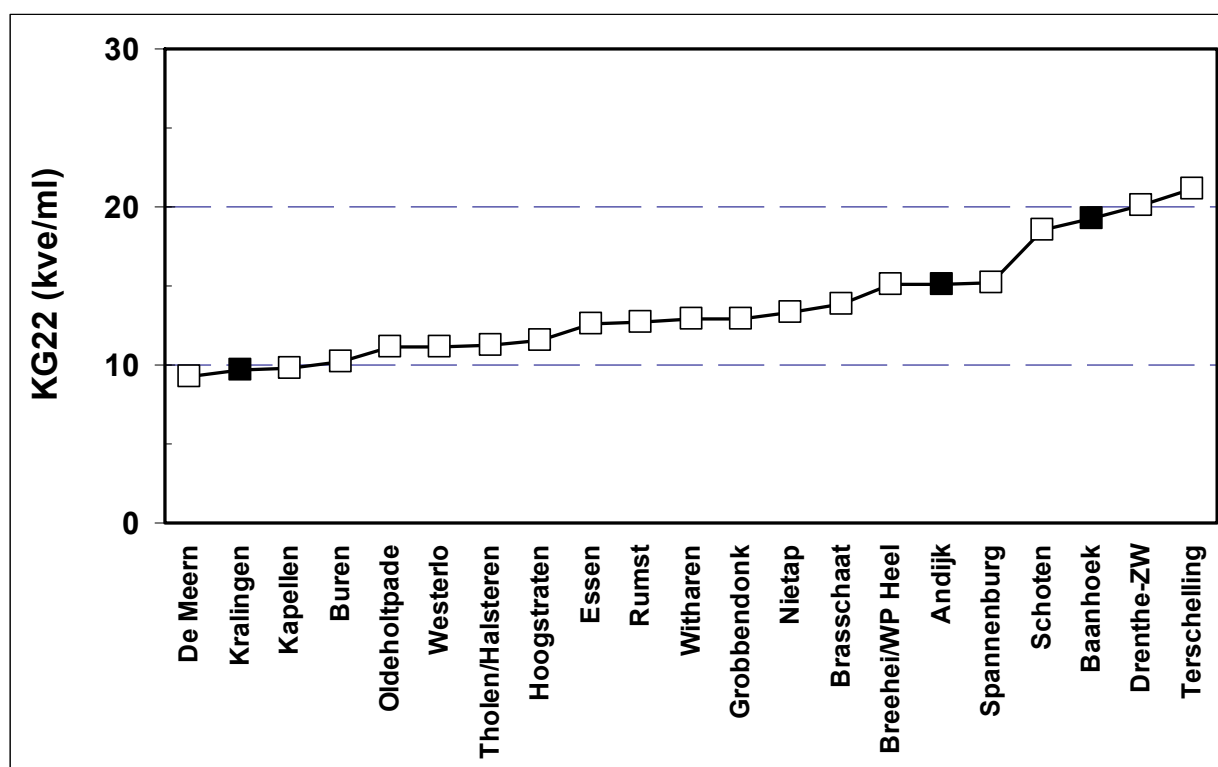
Het KG22 wordt door de waterleidingbedrijven bepaald in het reine water en in drinkwater in het distributiesysteem. De wettelijke eis van KG22 is dat het geometrisch jaargemiddelde onder de 100 kve ml⁻¹ moet zijn. Uit de analyse van de REWAB-gegevens en gegevens van Pidpa en VWM over de periode 2004 t/m 2007 blijkt dat deze eis in het distributienet van de onderzochte Nederlandse en Vlaamse pompstations nergens wordt overschreden.



Figuur 3.1 Het geometrisch gemiddelde van KG22 over de periode 2004-2007 in Nederlandse en Vlaamse voorzieningsgebieden en het 50-, 75-, 90- en 95-percentiel berekend met de KG22 geometrisch gemiddelden van alle Nederlandse voorzieningsgebieden (met uitzondering van Oasen).

In Figuur 3.1 is het geometrisch gemiddelde van KG22 over de periode 2004 – 2007 van de geanalyseerde Nederlandse en Vlaamse voorzieningsgebieden weergegeven. Tevens zijn de berekende 50-, 75-, 90- en 95-percentielen weergegeven. Uit de berekeningen volgt dat het 95-percentiel van de geometrisch gemiddelden van KG22 11,3 kve ml⁻¹ is, ver onder de wettelijke eis van 100 kve ml⁻¹. De voorzieningsgebieden met een geometrisch gemiddelde van KG22 boven het 95-percentiel zijn Terschelling (21,1 kve ml⁻¹), 'Drenthe-Zuidwest' (20,1 kve ml⁻¹), Baanhoek (19,3 kve ml⁻¹), Schoten (18,6 kve ml⁻¹), Spanenburg (15,2 kve ml⁻¹), Andijk (15,1 kve ml⁻¹), Breehei (15,1 kve ml⁻¹), Brasschaat (13,8 kve ml⁻¹), Nietap (13,4 kve ml⁻¹), Grobbendonk (12,9 kve ml⁻¹), Witharen (12,9 kve ml⁻¹), Rumst (12,7 kve ml⁻¹), Essen (12,6 kve ml⁻¹) en Hoogstraten (11,6 kve ml⁻¹)(Figuur 3.2). Het valt op dat twaalf van deze veertien voorzieningsgebieden worden gevoed met water dat is bereid met grondwater. Het verschil tussen KG22 in voorzieningsgebieden met drinkwater bereid met oppervlaktewater en

grondwater is ook statistisch getoetst. De resultaten van deze statistische toets laten zien dat het geometrisch gemiddelde van KG22 in het gedistribueerde drinkwater van de oppervlaktewaterlocaties significant hoger is dan in het gedistribueerde drinkwater van de grondwaterlocaties ($p < 0,01$; t-toets). Mogelijke verklaringen hiervoor zijn: (i) het totaal aantal micro-organismen in beide drinkwatertypen is gelijk, maar de populatiesamenstelling is verschillend. Drinkwater bereid met oppervlaktewater bevat daardoor meer bacteriesoorten die in staat zijn te groeien op het glucosegistextractagar bij 22°C. (ii) Drinkwater bereid met oppervlaktewater bevat meer voedingsstoffen voor micro-organismen. (iii) De hogere temperatuur van het drinkwater bereid met oppervlaktewater in de zomer zorgt voor hogere KG22-aantallen. In Bijlage I is het geometrisch gemiddelde van KG22 in het voorzieningsgebied van alle Nederlandse (behalve pompstations van Oasen) en Vlaamse (alleen pompstations van Pidpa en VMW) pompstations weergegeven.

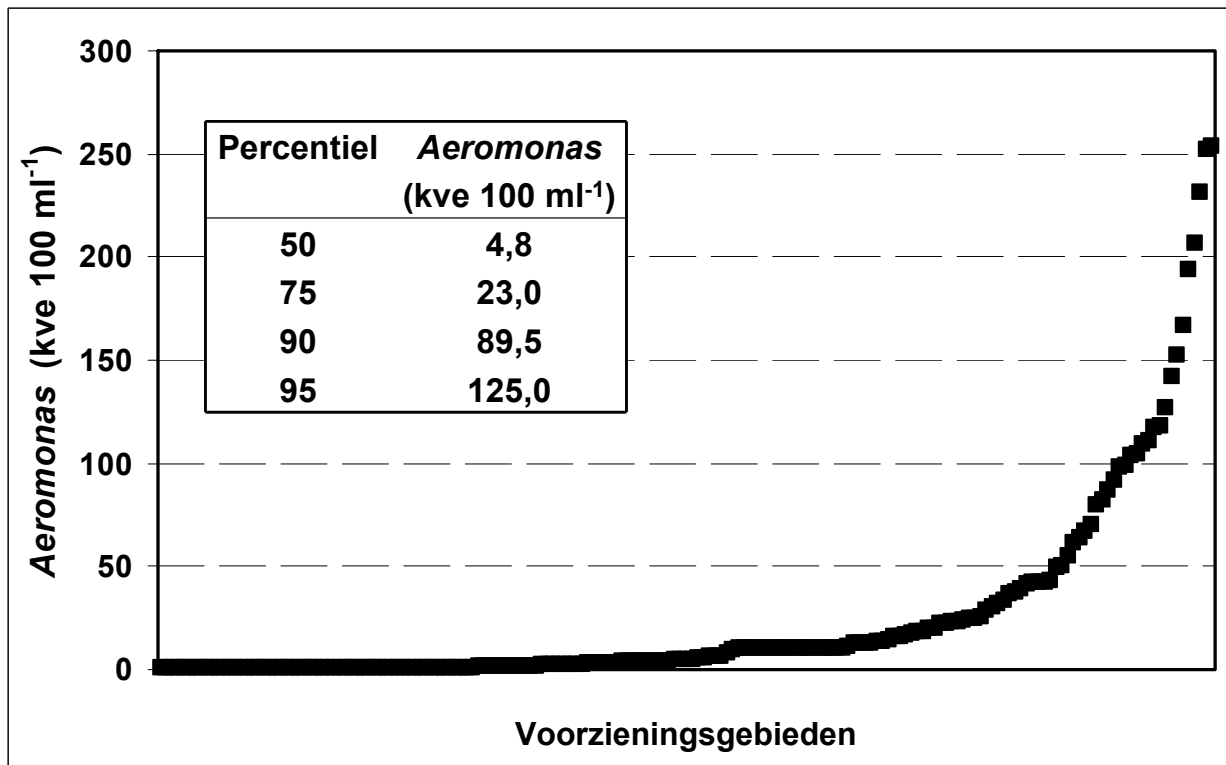


Figuur 3.2 Voorzieningsgebieden in Nederland waar het geometrisch gemiddelde (periode 2004-2007) van KG22 hoger was dan het 90-percentiel (8,6 kve 100 ml⁻¹). Dichte symbolen representeren oppervlaktewaterlocaties, open symbolen representeren grondwaterlocaties.

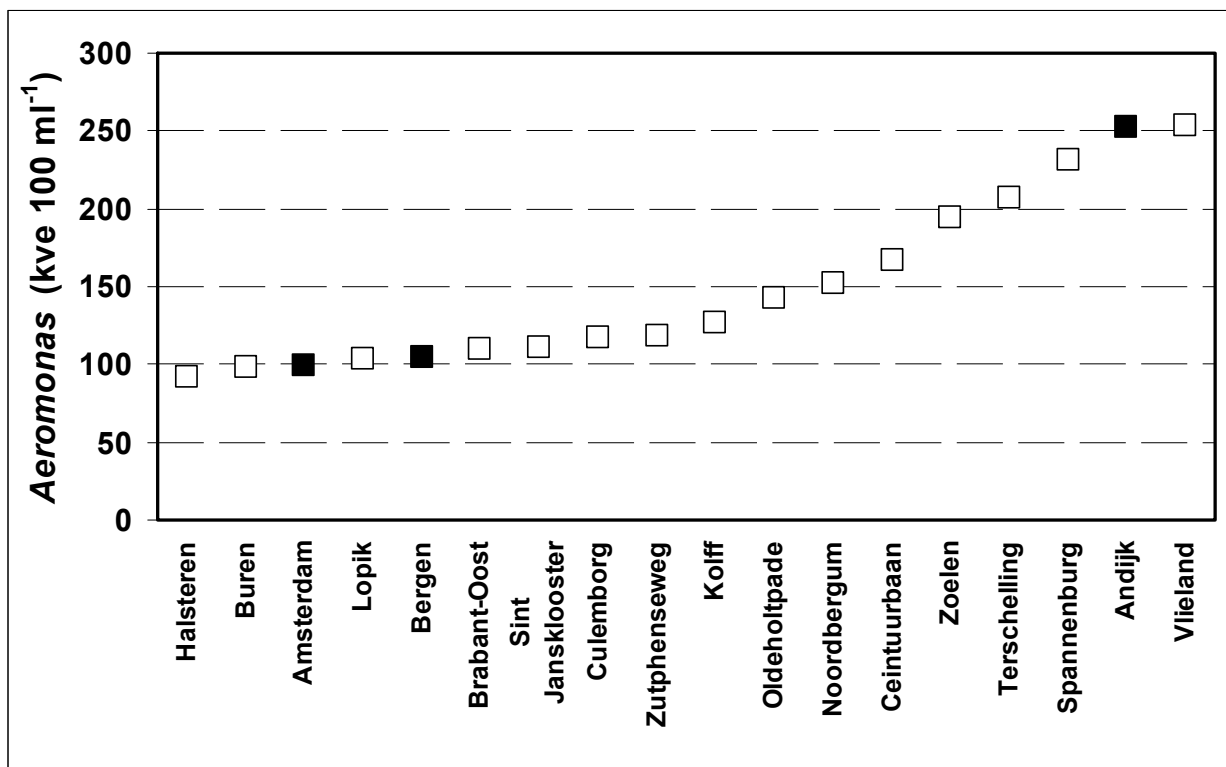
3.2 Koloniegetal van *Aeromonas* bij 30°C

3.2.1 Rekenkundig gemiddelde *Aeromonas*

In Figuur 3.3 is het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* over de periode 2004 – 2007 in het voorzieningsgebied bij de verschillende Nederlandse pompstations weergegeven. Het 95-percentiel van het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* is 125 kve 100 ml⁻¹ en in de volgende voorzieningsgebieden was het rekenkundig gemiddelde hoger dan 125 kve 100 ml⁻¹: Vlieland (254 kve 100 ml⁻¹), Andijk (252 kve 100 ml⁻¹), Spannenburg (232 kve 100 ml⁻¹), Terschelling (207 kve 100 ml⁻¹), Zoelen (194 kve 100 ml⁻¹), Ceintuurbaan (167 kve 100 ml⁻¹), Noordbergum (153 kve 100 ml⁻¹), Oldeholtgade (142 kve 100 ml⁻¹) en Kolff (127 kve 100 ml⁻¹)

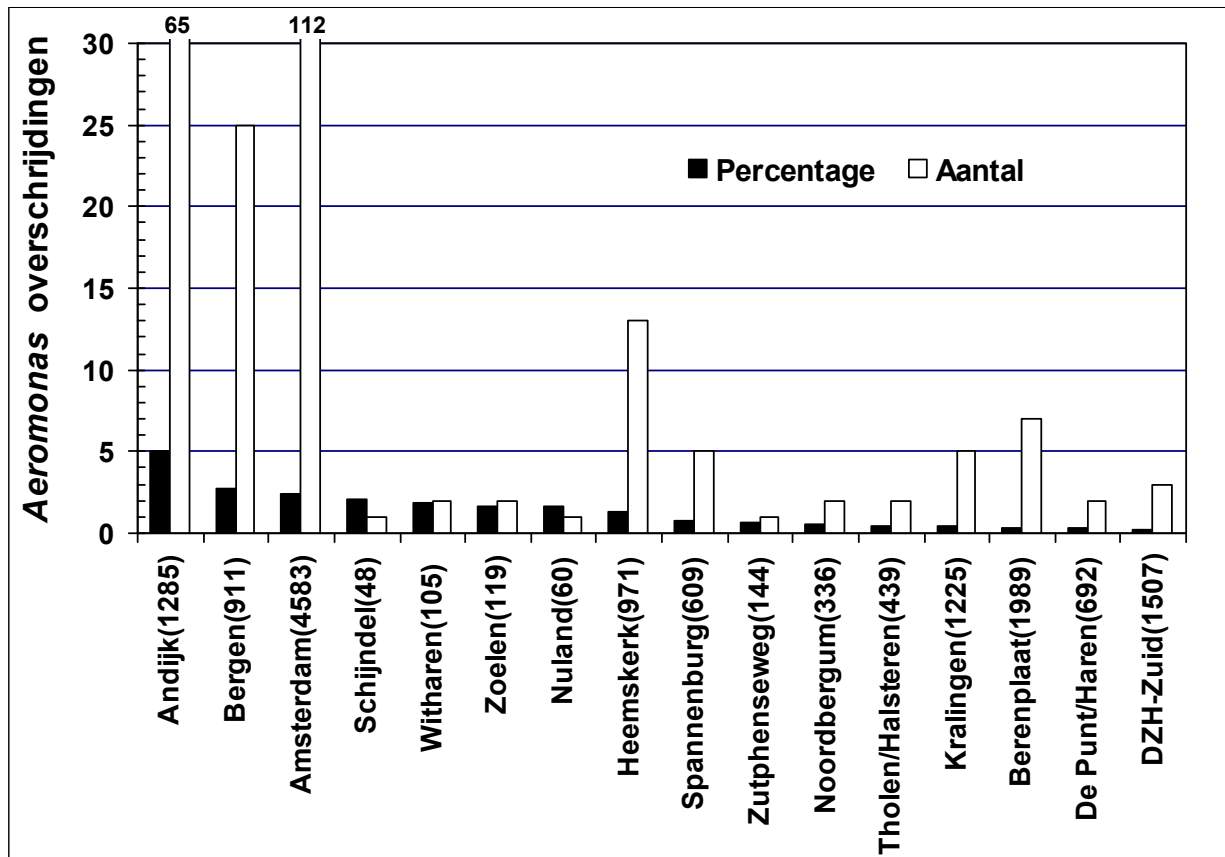


Figuur 3.3 Het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* bij 30°C over de periode 2004-2007 in Nederlandse voorzieningsgebieden en het 50-, 75-, 90- en 95-percentiel berekend met de *Aeromonas* rekenkundig gemiddelden van alle Nederlandse voorzieningsgebieden (met uitzondering van Oasen).



Figuur 3.4 Voorzieningsgebieden in Nederland waar het rekenkundig gemiddelde (periode 2004-2007) van *Aeromonas* hoger was dan het 90-percentiel (89,5 kve 100 ml⁻¹). Dichte symbolen representeren oppervlaktewaterlocaties, open symbolen representeren grondwaterlocaties.

(Figuur 3.4). Acht van deze negen voorzieningsgebieden worden gevoed met drinkwater bereid met grondwater. Ondanks deze waarneming is het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater van de grondwaterlocaties significant lager dan in het gedistribueerde drinkwater van de oppervlaktewaterlocaties ($p < 0,01$; t-toets). In Bijlage I is het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* in het voorzieningsgebied van alle Nederlandse (behalve pompstations van Oasen) pompstations weergegeven. Tevens is het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* in het voorzieningsgebied van de Vlaamse pompstations van Pidpa weergegeven. Dit rekenkundig gemiddelde is echter gebaseerd op watermonsters van watertorens in de voorzieningsgebieden.



Figuur 3.5 Overschrijdingen van de wettelijke eis van *Aeromonas* (1000 kve 100 ml⁻¹) in een aantal Nederlandse voorzieningsgebieden in de periode 2004 t/m 2007. Het getal tussen de haakjes achter de naam van ieder voorzieningsgebied is het aantal *Aeromonas*-metingen dat in de periode is uitgevoerd.

3.2.2 Overschrijding wettelijke eis *Aeromonas*

Het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* over de periode 2004 t/m 2007 geeft informatie over de voorzieningsgebieden waar de *Aeromonas*-aantallen gedurende deze periode hoog waren. De parameter geeft echter geen informatie over het overschrijden van de wettelijke eis, die optreedt bij een overschrijding van de maximumwaarde van 1000 kve 100 ml⁻¹. De REWAB-gegevens bevatten ook informatie over het aantal keren dat *Aeromonas* is gemeten en het aantal keer dat de wettelijke eis van *Aeromonas* is overschreden in drinkwater in het distributiesysteem. In Figuur 3.5 zijn de voorzieningsgebieden weergegeven waar in de periode 2004 t/m 2007 overschrijding(en) van de wettelijke eis van *Aeromonas* zijn waargenomen. Uit deze figuur blijkt dat de voorzieningsgebieden met de meeste overschrijdingen, niet de voorzieningsgebieden zijn met de hoogste rekenkundige

gemiddelden van *Aeromonas*. Dit verschil wordt onder andere veroorzaakt doordat voorzieningsgebieden met relatief veel overschrijdingen, relatief hoge *Aeromonas*-aantallen in de zomer hebben, maar relatief lage aantallen in de winter. Hierdoor heeft het rekenkundig jaargemiddelde van *Aeromonas* in deze voorzieningsgebieden niet de hoogste waarde. Het aantal overschrijdingen van de wettelijke eis van *Aeromonas* is het hoogst bij Amsterdam, Andijk, Bergen en Heemskerk, voorzieningsgebieden die worden gevoed met drinkwater dat is bereid met oppervlaktewater. Naast het aantal overschrijdingen is ook het percentage uitgerekend van het aantal *Aeromonas*-overschrijdingen ten opzichte van het aantal keren dat *Aeromonas* in het voorzieningsgebied is bepaald. Percentueel gezien zijn de meeste *Aeromonas*-overschrijdingen waargenomen in Andijk, Bergen en Amsterdam, maar ook voorzieningsgebieden die worden gevoed met drinkwater dat is bereid met grondwater (Schijndel, Witharen, Zoelen en Nuland) laten een hoog percentage *Aeromonas*-overschrijdingen zien (Figuur 3.5).

3.3 Rangschikking pompstations

Onderzocht is of de aantallen KG22 en *Aeromonas* in het reinwater een relatie hadden met de aantallen KG22 en *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater. Er werd geen direct sterk lineair verband aangetroffen tussen aantallen KG22 en *Aeromonas* in reinwater en in het gedistribueerde drinkwater van één pompstation. Daarom is de rangschikking van de pompstations gebaseerd op het geometrisch gemiddelde van KG22, het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* en het percentage *Aeromonas*-overschrijdingen in drinkwater in het distributiesysteem.

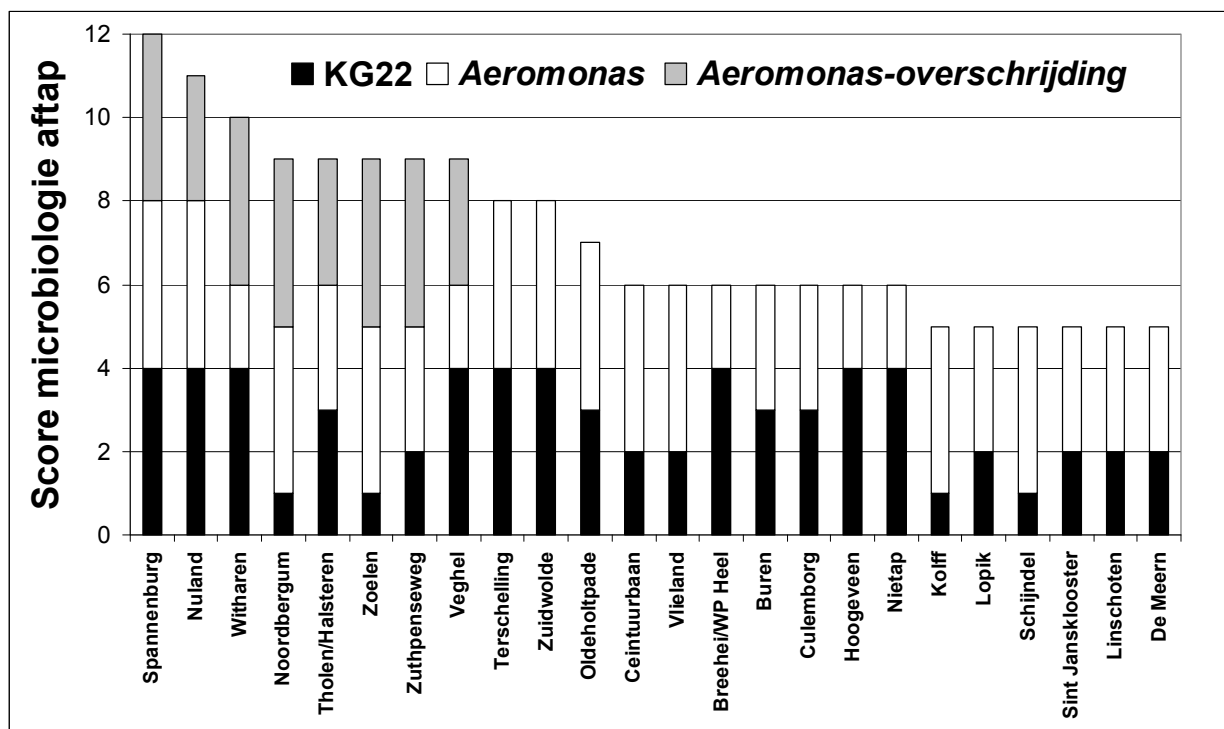
Tabel 3.1 De klassenindeling en bijbehorende score voor het geometrisch gemiddelde van KG22, het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* en het percentage overschrijdingen wettelijke eis van *Aeromonas* gebaseerd op gegevens van 176 voorzieningsgebieden.

Klasse	Percentielrange	KG22 (kve ml ⁻¹)	<i>Aeromonas</i> (kve 100 ml ⁻¹)	% overschrijdingen eis <i>Aeromonas</i>	Score
1	X < 50	X < 3,0	X < 4,8	X = 0	0
2	50 < X < 75	3,0 < X < 5,1	4,8 < X < 23,0	NVT	1
3	75 < X < 90	5,1 < X < 8,6	23,0 < X < 89,5	NVT	2
4	90 < X < 95	8,6 < X < 11,3	89,5 < X < 125	0 < X < 0,49	3
5	X > 95	X > 11,3	X > 125	X > 0,49	4

De pompstations zijn gerangschikt door klassen te definiëren voor het geometrisch gemiddelde van KG22, het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* en het percentage wettelijke overschrijding van *Aeromonas* in het voorzieningsgebied in de periode 2004 – 2007. Deze klassen zijn gebaseerd op het 50-, 75-, 90- en 95-percentiel. Vervolgens werden aan de verschillende klassen een score 0, 1, 2, 3 of 4 toegekend. De klassenindeling en bijbehorende score voor de drie microbiologische parameters zijn weergegeven in Tabel 3.1.

De scores van de drie verschillende microbiologische parameters zijn vervolgens per voorzieningsgebied opgeteld. De totale score is gebruikt om de voorzieningsgebieden van de verschillende Nederlandse pompstations te rangschikken. De rangschikking van de voorzieningsgebieden van de grondwaterpompstations is weergegeven in Tabel I.1 van Bijlage I, maar de voorzieningsgebieden met de hoogste scores (≥ 5) zijn ook weergegeven in Figuur 3.6. Het voorzieningsgebied van ps Spannenburg heeft met twaalf de maximale score, iets hoger dan de score elf voor het voorzieningsgebied van ps Nuland. Het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas*, het geometrisch gemiddelde van KG22 en het percentage *Aeromonas*-overschrijdingen zijn voor het voorzieningsgebied van ps Spannenburg boven het

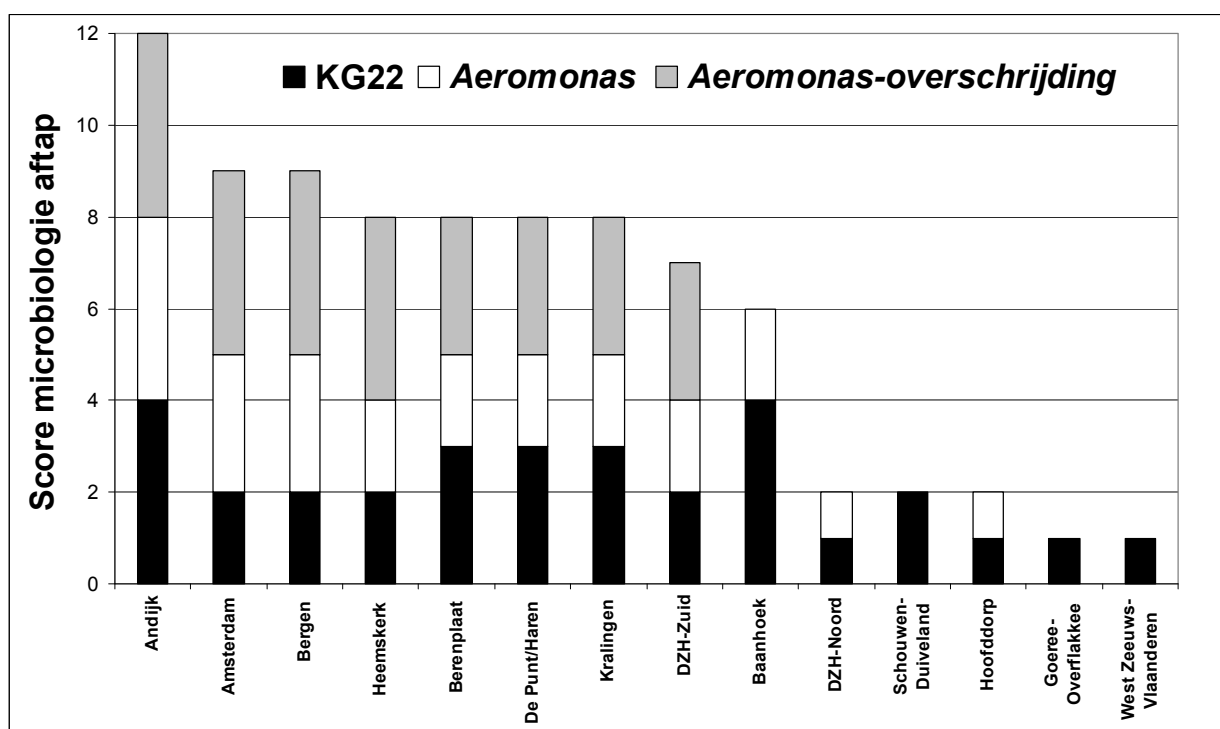
landelijke 95-percentiel. Voor Nuland ligt het geometrisch gemiddelde van KG22 en het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* in het distributienet hoger dan het landelijke 95-percentiel. Het percentage overschrijdingen van *Aeromonas* in het voorzieningsgebied van ps Nuland ligt tussen het landelijke 90- en 95-percentiel. Het voorzieningsgebied van Witharen heeft voor het geometrisch gemiddelde van KG22 en het percentage *Aeromonas*-overschrijdingen de maximale score van 4, terwijl het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* tussen het 75- en 90-percentiel is. De totale score voor Witharen komt hierdoor uit op tien. De voorzieningsgebieden van ps Noordbergum, Zutphenseweg, Zoelen, Halsteren en Veghel hebben een score van negen. Het percentage overschrijdingen van *Aeromonas* in het voorzieningsgebied is bij deze pompstations, behalve voor ps Halsteren en Veghel, hoger dan het landelijke 95-percentiel. Het geometrisch gemiddelde van KG22 (ps Noordbergum, ps Zutphenseweg, ps Zoelen) of het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* (ps Veghel) is echter lager dan het landelijke 90-percentiel. In het voorzieningsgebied van ps Terschelling en ps Zuidwolde is het geometrisch gemiddelde van KG22 en het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* in het leidingwater hoger dan het landelijke 95-percentiel. Overschrijdingen van de wettelijke eis van *Aeromonas* in het voorzieningsgebied van deze pompstations zijn echter niet waargenomen, waardoor de totale score van deze pompstations op acht uitkomt.



Figuur 3.6 Rangschikking van de grondwaterpompstations naar score voor microbiologische parameters (KG22, *Aeromonas* en percentage overschrijdingen wettelijke eis van *Aeromonas*) in het voorzieningsgebied.

In Figuur 3.7 is de rangschikking weergegeven van de Nederlandse productielocaties waar oppervlaktewater als grondstof voor de drinkwaterbereiding wordt gebruikt. Voor de drie microbiologische parameters was de waarde in het voorzieningsgebied van ps Andijk hoger dan het landelijke 95-percentiel, waardoor het pompstation de maximale score van twaalf heeft. Het voorzieningsgebied van ps Bergen en Amsterdam hebben een score van negen. Het percentage wettelijke overschrijdingen van *Aeromonas* waren in beide voorzieningsgebieden hoger dan het landelijke 95-percentiel. Het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* in het voorzieningsgebied van ps Bergen en Amsterdam daarentegen ligt tussen het landelijke 90- en

95-percentiel en het geometrisch gemiddelde van KG22 is lager dan het 90-percentiel. Overigens wordt het voorzieningsgebied van Amsterdam gevoed door het water van ps Weesperkarspel en ps Leiduin. Het is bekend dat de nagroeiproblemen in het voorzieningsgebied van Amsterdam vooral optreden in het deel dat wordt gevoed met het water van ps Weesperkarspel. Wanneer het voorzieningsgebied van Amsterdam zou worden gesplitst in het voorzieningsgebied van ps Weesperkarspel en ps Leiduin, dan zou het voorzieningsgebied van ps Weesperkarspel vermoedelijk een hogere score dan negen hebben. Na ps Bergen en Amsterdam volgen de voorzieningsgebieden van ps Heemskerk, Berenplaat, De Punt/Haren en Kralingen met een score van acht. Deze voorzieningsgebieden hebben een geometrisch gemiddelde van KG22, dat tussen het landelijke 90- en 95-percentiel is (Berenplaat, De Punt/Haren en Kralingen) of lager dan het 90-percentiel (Heemskerk). Het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* is onder het 90-percentiel voor alle vier de voorzieningsgebieden en het percentage wettelijke overschrijdingen van *Aeromonas* in het voorzieningsgebied is hoger dan het landelijke 95-percentiel (Heemskerk) of het 90-percentiel (Berenplaat, De Punt/Haren en Kralingen).



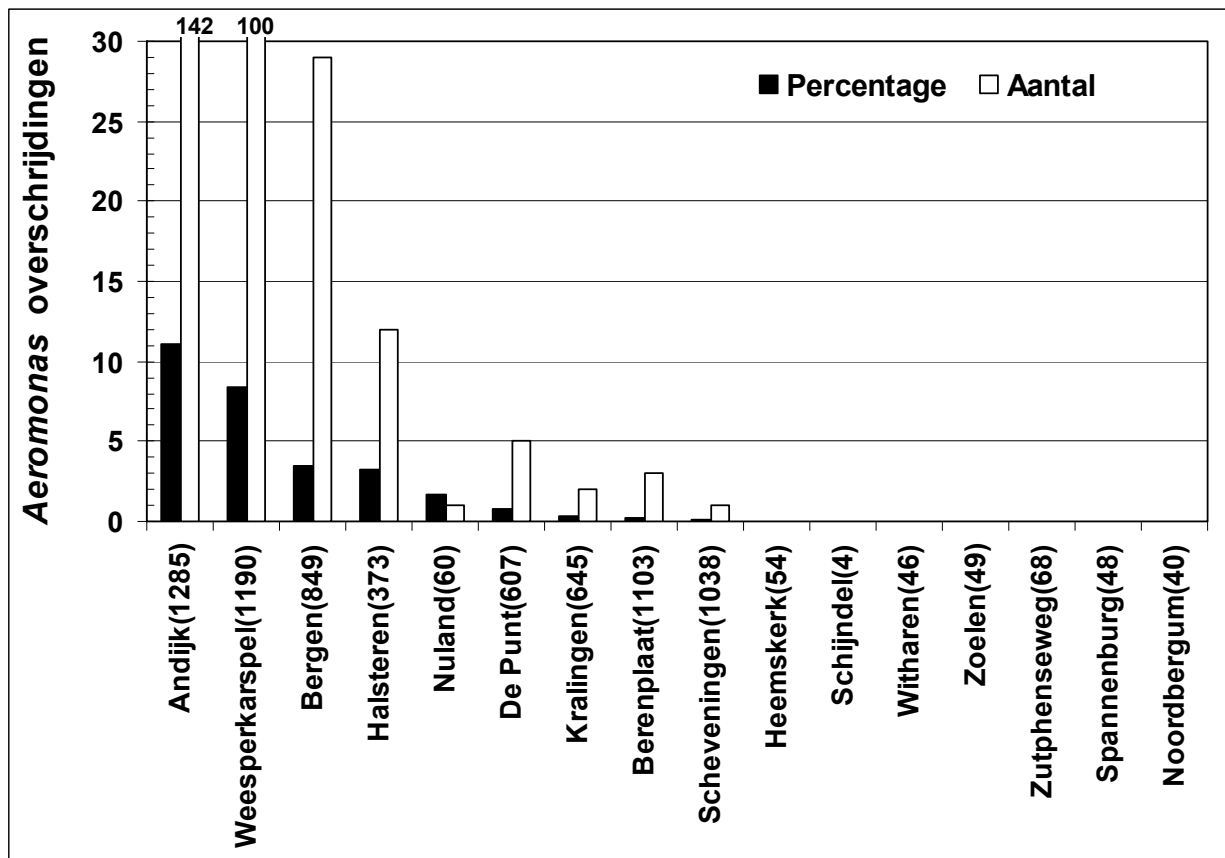
Figuur 3.7 Rangschikking van de oppervlaktewaterpompstations naar score voor microbiologische parameters (KG22, *Aeromonas* en percentage overschrijdingen wettelijke eis van *Aeromonas*) in het voorzieningsgebied.

3.4 Discussie

3.4.1 KG22 en *Aeromonas*

De wettelijke eis van KG22 is in de periode 2004 t/m 2007 in geen van de onderzochte Nederlandse voorzieningsgebieden overschreden. In 16 van de 176 voorzieningsgebieden (9,1%) in Nederland is de wettelijke eis van *Aeromonas* overschreden in de periode 2004 t/m 2007. In acht van de zestien voorzieningsgebieden is de wettelijke eis in de periode 2004 t/m 2007 meer dan twee keer overschreden.

Tevens is een aantal Vlaamse locaties meegenomen in het onderzoek en ook op die locaties werd de Nederlandse wettelijke eis van KG22 niet overschreden. In de voorzieningsgebieden van VMW wordt een restgehalte van chloor in het gedistribueerde drinkwater gemeten. De desinfecterende werking van deze restconcentratie chloor is een mogelijke reden voor de lage aantallen KG22 in het voorzieningsgebied van deze VMW-locaties. In de voorzieningsgebieden van Pidpa wordt geen restgehalte van chloor in het drinkwater gemeten, maar het geometrisch gemiddelde van KG22 is altijd onder de 20 kve ml⁻¹. Waarschijnlijk is de biologische stabiliteit van het geproduceerde drinkwater op de Pidpa-locaties van dien aard, dat substantiële groei van micro-organismen die worden bepaald met KG22, niet optreedt. Wel is het geometrisch gemiddelde van KG22 in de voorzieningsgebieden van enkele Pidpa-pompstations (Schoten, Brasschaat, Grobbendonk, Rumst, Essen en Hoogstraten) hoger dan het 95-percentiel van het geometrisch gemiddelde van KG22 in de Nederlandse voorzieningsgebieden (Figuur 3.2). De Vlaamse waterleidingbedrijven Pidpa en VMW meten in 2010 ook *Aeromonas*-aantallen in watermonsters genomen in de voorzieningsgebieden van hun productielocaties, zodat ze deze aantallen kunnen vergelijken met de aantallen die in Nederland worden gemeten.



Figuur 3.8 Overschrijdingen van de wettelijke eis van *Aeromonas* (1000 kve 100 ml⁻¹) in een aantal Nederlandse voorzieningsgebieden in de periode 2006 t/m 2008. Het getal tussen de haakjes achter de naam van ieder voorzieningsgebied is het aantal *Aeromonas*-metingen dat in de periode is uitgevoerd.

Bij 16 Nederlandse voorzieningsgebieden werden in de periode 2004 t/m 2007 één of meerdere overschrijdingen van de wettelijke eis van *Aeromonas* waargenomen. In de REWAB database is alleen het aantal overschrijdingen van *Aeromonas* opgenomen. De precieze *Aeromonas*-aantallen van deze overschrijdingen worden niet gemeld. Daarom werden de resultaten van iedere

Aeromonas-meting in de 16 voorzieningsgebieden over de periode 2006 t/m 2008 opgevraagd en het aantal wettelijke overschrijdingen van de eis is wederom per voorzieningsgebied uitgezet (Figuur 3.8). Uit deze figuur blijkt dat, in tegenstelling tot de periode 2004 t/m 2007, bij 7 van de 16 voorzieningsgebieden geen overschrijding van de wettelijke eis werd waargenomen in de periode 2006 t/m 2008. Bij deze zeven voorzieningsgebieden hebben de overschrijdingen blijkbaar plaatsgevonden in 2004 of 2005. Zeven van de negen voorzieningsgebieden waar in 2006 t/m 2008 een overschrijding werd waargenomen, zijn voorzieningsgebieden die worden gevoed met drinkwater dat is bereid met oppervlaktewater. De resultaten laten dus zien dat de grootste problemen met groei van *Aeromonas* optreden in voorzieningsgebieden die worden gevoed met drinkwater bereid met oppervlaktewater. In voorzieningsgebieden die worden gevoed met drinkwater bereid met grondwater lijken sinds 2006 vrijwel geen overschrijdingen te zijn van de wettelijke eis van *Aeromonas*.

Bij deze conclusies worden enkele kanttelingen geplaatst. Het aantal *Aeromonas*-metingen in de voorzieningsgebieden die worden gevoed met drinkwater bereid met grondwater is namelijk laag en meestal slechts 5% van het aantal metingen in voorzieningsgebieden met drinkwater bereid met oppervlaktewater (Figuur 3.5 en 3.8). Bij enkele voorzieningsgebieden die worden gevoed met drinkwater bereid met grondwater, worden slechts in een korte periode van het jaar monsters geanalyseerd op *Aeromonas*. De aantallen *Aeromonas* in het voorzieningsgebied zijn echter seizoensgebonden, met de laagste aantallen in de winterperiode (Baggelaar et al., 1992). Wanneer alleen wordt gemeten in de winterperiode is de kans op overschrijding van de wettelijke eis van *Aeromonas* zeer klein en het geometrisch jaargemiddelde van de *Aeromonas*-aantallen laag. Een lage meetfrequentie en/of metingen in één bepaald seizoen zorgen ervoor dat het percentage overschrijdingen van de wettelijke eis van *Aeromonas* in de voorzieningsgebieden van grondwaterpompstations onbetrouwbaarder is dan in de voorzieningsgebieden van oppervlaktewaterpompstations, hoewel de meetfrequentie in alle gevallen voldoet aan de wettelijk gestelde eisen. Enkele waterleidingbedrijven hebben besloten om in 2009 en 2010 de monsterfrequentie te verhogen in het voorzieningsgebied van een aantal grondwaterpompstations met een hoog geometrisch jaargemiddelde van *Aeromonas*. Ook werden bij deze monsters 10 in plaats van 100 ml volume ingezet, zodat kan worden bepaald wanneer de wettelijke eis wordt overschreden. Door deze intensievere bemonstering en aanpassing van het monstervolume wordt vaker een overschrijding van de wettelijke eis van *Aeromonas* waargenomen (mondeling communicatie Geo Bakker), waardoor het percentage overschrijdingen in een jaar nauwkeuriger wordt.

Tevens wordt momenteel het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* gerapporteerd in REWAB. Het rekenkundig gemiddelde is echter gevoelig voor monsters met hoge aantallen *Aeromonas*, waardoor het rekenkundig gemiddelde in sommige gevallen een vertekende hoge waarde geeft. Dit vertekend beeld treedt vooral op in voorzieningsgebieden waar weinig monsters op *Aeromonas* zijn geanalyseerd en waar hoge aantallen *Aeromonas* in één van de monsters is waargenomen. Het zou daarom beter zijn om het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* te rapporteren in de REWAB database.

3.4.2 Rangschikking pompstations

Over het algemeen zijn de aantallen KG22 en *Aeromonas* laag in de distributiegebieden van de Nederlandse drinkwaterproductielocaties. Desondanks zijn er enkele voorzieningsgebieden waar de waarden van het geometrisch gemiddelde van KG22 en het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* relatief hoog zijn en waar overschrijdingen van de wettelijke eis van *Aeromonas* zijn gemeten. De locaties met deze problematiek komen naar voren in de rangschikking van de voorzieningsgebieden. Deze rangschikking is opgesteld door de voorzieningsgebieden in te delen naar klassen op basis van het percentage wettelijke overschrijdingen *Aeromonas*, het

geometrisch gemiddelde van KG22 en het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas*, scores toe te kennen aan de verschillende klassen en per voorzieningsgebied de scores bij elkaar op te tellen. De rangschikking laat zien dat voorzieningsgebieden van grondwater- en oppervlaktewaterlocaties hoge scores hebben en daarmee relatief hoge aantallen KG22 en *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater. Waarschijnlijk kan op deze locaties de mate van nagroei worden verbeterd door de waterbehandeling en/of distributie te optimaliseren. Binnen het thematische BTO-project 'Biologische Stabiliteit' wordt daarom onderzoek uitgevoerd in het distributiesysteem en/of zuivering van ps Nuland, ps St. Jans klooster, ps Zuidwolde en ps Halsteren. Daarnaast voeren waterleidingbedrijven zelf ook projecten uit op onder andere de locaties Spannenburg, Weesperkarspel, Andijk, Berenplaat en Kralingen.

De rangschikking van de voorzieningsgebieden geeft alleen een globaal beeld van de mate van nagroei in het distributiesysteem van de verschillende pompstations, omdat de rangschikking is gebaseerd op de wettelijke parameters KG22 en *Aeromonas*. Het is onwaarschijnlijk dat deze twee wettelijke parameters voldoende informatie geven over de nagroeiproblematiek, aangezien er geen goede relatie is tussen deze twee parameters en de hoeveelheid actieve biomassa (ATP) in het distributiesysteem (van der Wielen & van der Kooij 2009). Uit de jaarlijkse overzichten van de REWAB-gegevens die het RIVM opstelt, blijkt dat de voorzieningsgebieden waar overschrijdingen van de wettelijke eis van KG22 en/of *Aeromonas* optreden niet altijd overeenkomen met de voorzieningsgebieden waar overschrijdingen van de wettelijke eis van *Legionella* worden waargenomen. De parameters KG22 en *Aeromonas* lijken dan ook geen goede indicatoren te zijn om de mate van groei van ziekteverwekkende micro-organismen (zoals *Legionella pneumophila* en ziekteverwekkende *Mycobacterium* of schimmels) in het drinkwater te voorspellen.

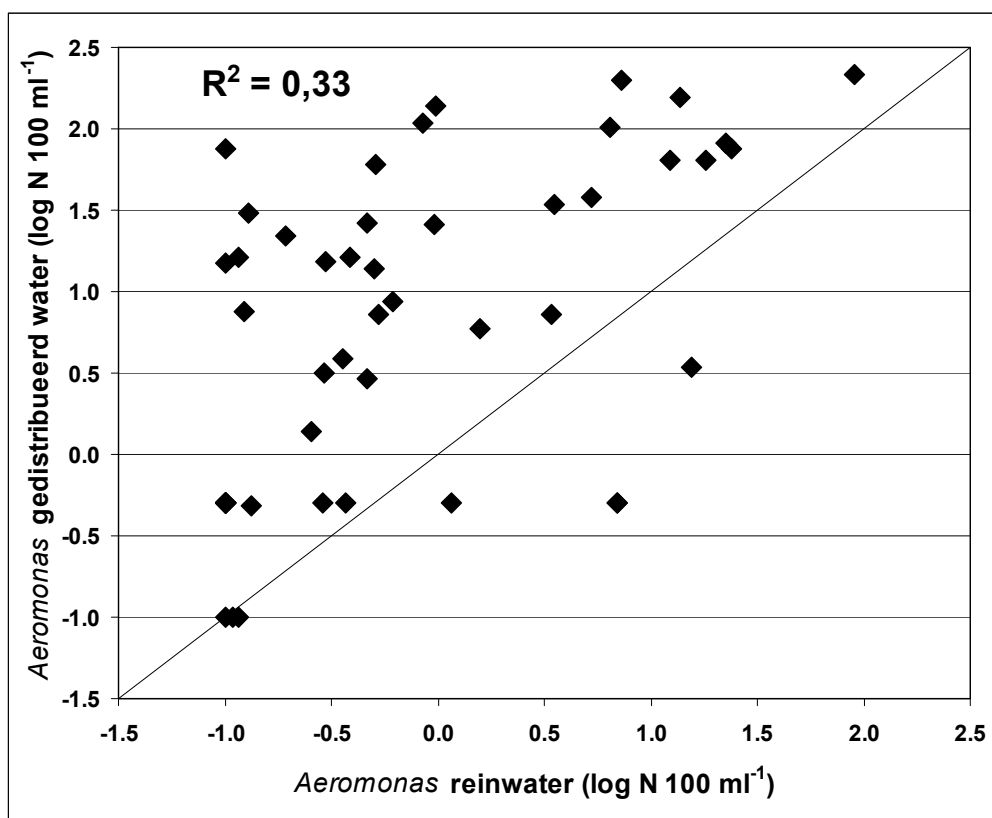
Eén van de tekortkomingen van KG22 is dat slechts een klein percentage (< 1%) van de aanwezige bacteriesoorten in drinkwater worden gekweekt met KG22. Tevens zijn er aanwijzingen dat ook een deel van de *Aeromonas*-soorten niet worden gekweekt op het selectieve agarmedium voor *Aeromonas*. Verschuivingen in populatiesamenstelling van *Aeromonas* zonder dat het totaal aantal *Aeromonas*-bacteriën af- of toeneemt, leiden daardoor mogelijk tot hogere of lagere aantallen kolonievormende eenheden van *Aeromonas*. Hetzelfde geldt voor verschuivingen in de bacteriepopulatie en veranderingen in de aantallen kolonievormende eenheden van KG22. Eerdere studies, waaronder een recent BTO-onderzoek (van der Wielen & van der Kooij, 2009) hebben laten zien dat het ATP-gehalte in het gedistribueerde drinkwater een betere maat is voor de hoeveelheid micro-organismen in het drinkwater dan de aantallen KG22 en *Aeromonas*. Het is daarom aan te bevelen om naast de wettelijke parameters KG22 en *Aeromonas* ook het ATP-gehalte te meten in het gedistribueerde drinkwater, zodat een vollediger beeld wordt verkregen van de mate van nagroei in het distributiesysteem. Ook blijft onduidelijk of *Aeromonas* en KG22 goede indicatoren zijn voor de aantallen dierlijke organismen in het distributiesysteem. Bij sommige pompstations (ps Spannenburg en ps Andijk) is waargenomen dat herhaalde overschrijdingen van de wettelijke eis van *Aeromonas* in het distributiesysteem overeenkomen met relatief hoge aantallen dierlijke organismen in het distributiesysteem. Het vergt echter aanvullend onderzoek om de relatie tussen biomassa, *Aeromonas* en dierlijke organismen in het distributiesysteem te achterhalen.

Tijdens het project werd duidelijk dat niet alle waterleidingbedrijven het geometrisch gemiddelde van KG22 in de REWAB database rapporteren. Deze bedrijven rapporteren in plaats daarvan het rekenkundig gemiddelde. Omdat in het Waterleidingbesluit is opgenomen dat het geometrisch jaargemiddelde van KG22 in gedistribueerd drinkwater moet worden gerapporteerd, wordt aanbevolen dat alle bedrijven het geometrisch gemiddelde van KG22 rapporteren in de REWAB database.

In paragraaf 3.4.1 is beschreven dat voor sommige voorzieningsgebieden geldt dat het rekenkundig gemiddelde van *Aeromonas* onbetrouwbaar is omdat monsters slechts in bepaalde periode van het jaar zijn gemeten (bv zomer of winter) of omdat relatief weinig monsters in een jaar zijn geanalyseerd. Door te meten in één seizoen of door de lage monsterfrequentie missen sommige grondwaterbedrijven overschrijdingen in het voorzieningsgebied, waardoor het overschrijdingspercentage te laag wordt geschat. Bij andere grondwaterlocaties kan het overschrijdingspercentage juist te hoog zijn, doordat bij een lage meetfrequentie één overschrijding in het voorzieningsgebied leidt tot een hoog percentage overschrijdingen van de wettelijke eis. Met het gebruik van betrouwbaardere gegevens van *Aeromonas* in het voorzieningsgebied van sommige grondwaterpompstations, zouden pompstations, die nu een lage rangschikking hebben, mogelijk hoger eindigen. Overigens zullen de pompstations die nu een hoge rangschikking hebben, met gebruik van betrouwbaardere *Aeromonas*-gegevens de hoge rangschikking waarschijnlijk behouden.

4 Relatie tussen KG22/*Aeromonas* en chemisch/fysische parameters

Om te achterhalen welke chemische en/of fysische parameters in het ruwwater, reinwater en gedistribueerde drinkwater van invloed zijn op de aantallen KG22 en *Aeromonas* van het drinkwater in het distributiesysteem, zijn van 50 productielocaties de meetwaarden van een aantal chemische, fysische en microbiologische parameters opgevraagd over de periode 2006 t/m 2008. Deze 50 productielocaties zijn geselecteerd op basis van de rangschikking beschreven in Hoofdstuk 3 en hebben scores die over de gehele rangschikking zijn verdeeld. In bijlage II zijn de productielocaties met de score in de rangschikking weergegeven. Met de gegevens zijn enkelvoudige correlatieanalyses, meervoudige regressieanalyses en een canonieke regressieanalyse uitgevoerd. De resultaten van deze analyses worden in de eerstvolgende paragrafen besproken, terwijl de betekenis van de relaties wordt besproken in paragraaf 4.5.



Figuur 4.1 De relatie tussen het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* van het reinwater en van het drinkwater in het distributiesysteem (gedistribueerd drinkwater). De rechte lijn geeft de 1 op 1 lijn weer tussen *Aeromonas* in reinwater en het gedistribueerde drinkwater.

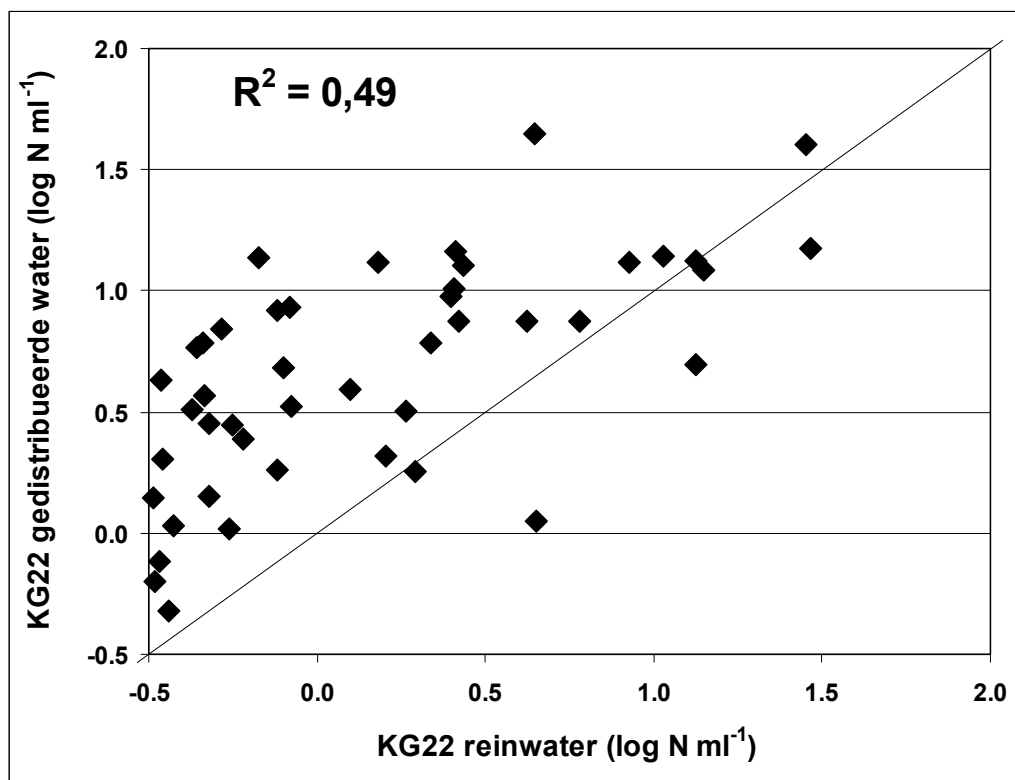
4.1 Enkelvoudige correlaties

4.1.1 Relatie tussen microbiologische parameters

De correlatie tussen het loggetransformeerde geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* in reinwater en gedistribueerde drinkwater van de verschillende pompstations is uitgerekend (Figuur 4.1). Hoewel de correlatie significant is ($p < 0,01$), is het verband tussen *Aeromonas* in

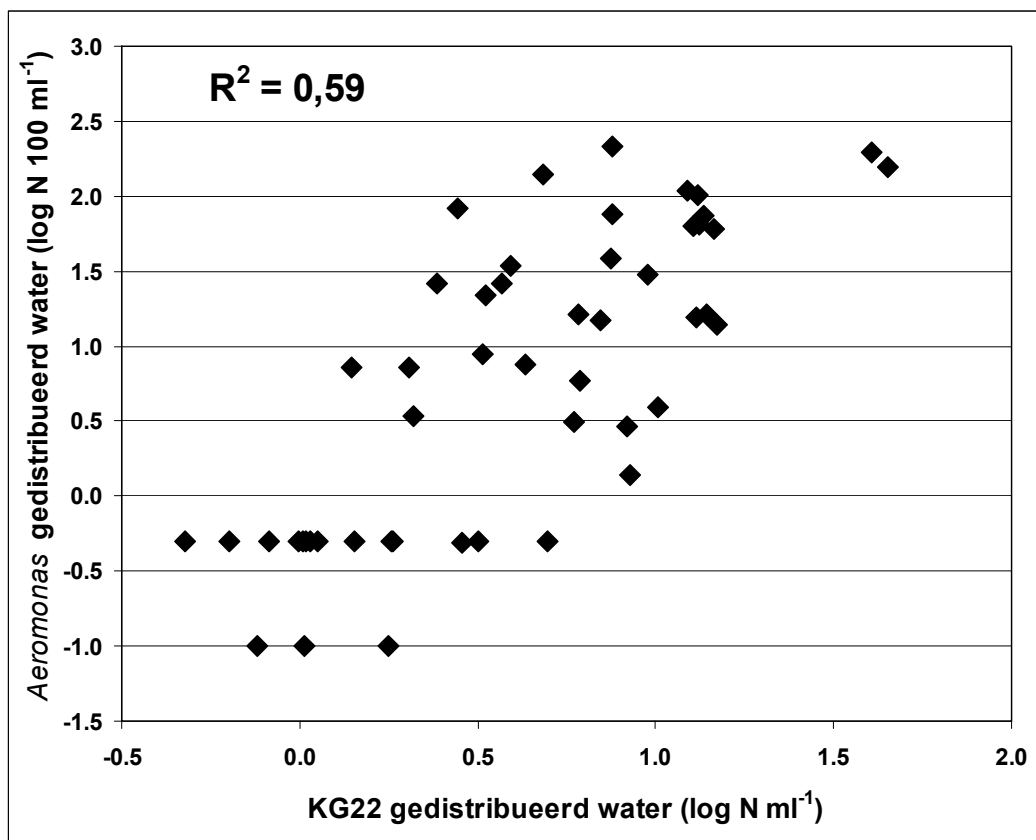
het reinwater en gedistribueerde drinkwater zwak ($R^2 = 0,33$). Hieruit wordt geconcludeerd dat de factoren die verantwoordelijk zijn voor de *Aeromonas*-aantallen in het reinwater, andere zijn dan de factoren die verantwoordelijk zijn voor de *Aeromonas*-aantallen in het distributienet. Uit Figuur 4.1 volgt ook dat voor vrijwel alle productielocaties geldt dat het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater hoger is dan het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* in het reinwater. Er treedt dus bij vrijwel alle geselecteerde productielocaties groei van *Aeromonas* in het distributiesysteem op.

Het geometrisch gemiddelde van KG22 in het reinwater is eveneens uitgezet tegen het geometrisch gemiddelde van KG22 in drinkwater in het distributiesysteem (Figuur 4.2). Hoewel het verband tussen KG22 van het reinwater en het gedistribueerde drinkwater sterker was dan voor *Aeromonas* ($R^2 = 0,49$), geldt ook bij deze relatie dat een groot deel van de variatie door andere factoren wordt bepaald. Het geometrisch gemiddelde van KG22 in het gedistribueerde drinkwater was hoger dan in het reinwater. Tijdens distributie van het water treedt dus groei op van heterotrofe bacteriën die worden gekweekt met KG22. Een toename van de aantallen *Aeromonas* en KG22 tijdens distributie van het water is eerder gerapporteerd (van der Kooij, 1992b; Delahaye et al, 2003). De verschillen tussen de aantallen *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde drinkwater en reinwater geven aan dat de aantallen *Aeromonas* en KG22 die in het reinwater worden gemeten geen goede maat zijn voor de aantallen die in het distributiesysteem aanwezig zijn.



Figuur 4.2 De relatie tussen het geometrisch gemiddelde van KG22 van het reinwater en van het drinkwater in het distributiesysteem (gedistribueerd drinkwater). De rechte lijn geeft de 1 op 1 lijn weer tussen KG22 in reinwater en het gedistribueerde drinkwater.

Om te achterhalen of vergelijkbare factoren verantwoordelijk zijn voor groei van KG22 en *Aeromonas* in het distributiesysteem is de relatie onderzocht tussen het geometrisch gemiddelde van KG22 en van *Aeromonas* in drinkwater in het distributiesysteem (Figuur 4.3). Het verband tussen beide parameters was significant en met een R^2 van 0,59 relatief sterk. Waarschijnlijk zijn er dus factoren die zowel de groei van KG22 als van *Aeromonas* tijdens distributie van het drinkwater beïnvloeden.



Figuur 4.3 De relatie tussen het geometrisch gemiddelde van KG22 en *Aeromonas* van het drinkwater in het distributiesysteem (gedistribueerd drinkwater).

4.1.2 Relatie tussen microbiologische parameters in het gedistribueerde drinkwater en fysisch/chemische parameters

Omdat oppervlaktewater als grondstof voor de bereiding van drinkwater een andere zuivering nodig heeft dan grondwater, zijn de pompstations gesplitst naar grondstof in het onderzoek naar de relaties tussen microbiologische en fysisch/chemische parameters. In Tabel 4.1 t/m 4.4 zijn de statistische kenmerken weergegeven van de significante enkelvoudige lineaire correlaties ($p < 0,01$) tussen het geometrisch gemiddelde of 95-percentiel van *Aeromonas* of KG22 in het gedistribueerde drinkwater en de fysisch/chemische parameters in het ruwwater, reinwater of gedistribueerd drinkwater. Voor de fysisch/chemische parameters die wel in Tabel 2.2 maar niet in Tabel 4.1 t/m 4.4 zijn opgenomen geldt dat ze niet significant lineair correleerde met de twee microbiologische parameters in drinkwater in het distributiesysteem.

Tabel 4.1 De statistische kenmerken van de significante enkelvoudige correlaties (Pearson; $p < 0,01$) tussen het geometrische gemiddelde van KG22 in het gedistribueerde drinkwater (distributie) en fysische of chemische parameters in het ruwwater, reinwater of gedistribueerde drinkwater bij 38 grondwater- of 12 oppervlaktewaterpompstations.

Grondwaterpompstations (n=38)			Oppervlaktewaterpompstations (n=12)		
Parameter	R ²	Richting	Parameter	R ²	Richting
TOC - ruw	0,59	+	pH - rein	0,44	-
TOC - distributie	0,47	+	pH - distributie	0,38	-
TOC - rein	0,47	+			
CH ₄ - ruw	0,41	+			
Fe - ruw	0,36	+			
NH ₄ - ruw	0,34	+			
% gietijzer - net	0,23	+			
pH - distributie	0,20	-			

Tabel 4.2 De statistische kenmerken van de significante enkelvoudige correlaties (Pearson; $p < 0,01$) tussen het 95-percentiel van KG22 in het gedistribueerde drinkwater (distributie) en fysische of chemische parameters in het ruwwater, reinwater of gedistribueerde drinkwater bij 38 grondwater- of 12 oppervlaktewaterpompstations.

Grondwaterpompstations (n=38)			Oppervlaktewaterpompstations (n=12)		
Parameter	R ²	Richting	Parameter	R ²	Richting
TOC - ruw	0,26	+	Geen significante enkelvoudige correlaties		
TOC - distributie	0,21	+			

Tabel 4.3 De statistische kenmerken van de significante enkelvoudige correlaties (Pearson; $p < 0,01$) tussen het geometrische gemiddelde van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater (distributie) en fysische of chemische parameters in het ruwwater, reinwater of gedistribueerde drinkwater bij 38 grondwater- of 12 oppervlaktewaterpompstations.

Grondwaterpompstations (n=38)			Oppervlaktewaterpompstations (n=12)		
Parameter	R ²	Richting	Parameter	R ²	Richting
TOC - ruw	0,45	+	% gietijzer - net	0,62	+
NH ₄ - ruw	0,44	+	TOC - rein	0,36	+
TOC - distributie	0,42	+	TOC - distributie	0,34	+
TOC - rein	0,38	+			
% gietijzer - net	0,23	+			
CH ₄ - ruw	0,19	+			
pH - distributie	0,16	-			

Tabel 4.4 De statistische kenmerken van de significante enkelvoudige correlaties (Pearson; $p < 0,01$) tussen het 95-percentiel van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater (distributie) en fysische of chemische parameters in het ruwwater, reinwater of gedistribueerde drinkwater bij 38 grondwater- of 12 oppervlaktewaterpompstations.

Grondwaterpompstations (n=38)			Oppervlaktewaterpompstations (n=12)		
Parameter	R ²	Richting	Parameter	R ²	Richting
TOC - ruw	0,60	+	% gietijzer - net	0,54	+
TOC - distributie	0,47	+	pH - rein	0,41	-
TOC - rein	0,42	+			
NH ₄ - ruw	0,37	+			
pH - distributie	0,31	-			
CH ₄ - ruw	0,29	+			
% gietijzer - net	0,23	+			
Fe - ruw	0,22	+			
Mn - ruw	0,21	+			
Ca - distributie	0,20	+			
Ca - rein	0,17	+			

Uit de vier tabellen volgt dat verschillende fysische en chemische factoren een significante lineaire correlatie hebben met de twee microbiologische parameters in het gedistribueerde drinkwater. Over het algemeen is de R² echter lager dan 0,5. Dat betekent dat minder dan 50% van de variatie in het geometrisch gemiddelde of 95-percentiel van *Aeromonas* of KG22 kan worden verklaard door de desbetreffende fysisch/chemische parameter. Waarschijnlijk hebben dus meer dan één fysisch/chemische factor invloed op de aantallen *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde drinkwater. De correlatiestudie bij de grondwaterlocaties laat wel zien dat bij verschillende microbiologische parameters dezelfde fysisch/chemische factoren een rol lijken te spelen. Zo hebben het TOC-gehalte van het water, de pH van het gedistribueerde drinkwater en de concentratie ammonium en methaan in het ruwwater meestal een significante relatie met de microbiologische parameters in het gedistribueerde drinkwater. Een relatief hoge R² (0,59 tot 0,60) wordt zelfs gevonden tussen het TOC-gehalte in het ruwwater en de aantallen KG22 of *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater dat is bereid met grondwater. Bij drinkwater bereid met oppervlaktewater is minder consistentie waargenomen in de relaties tussen de fysisch/chemische parameters en de microbiologische parameters in het gedistribueerde drinkwater.

Opvallend is verder dat het percentage gietijzer in het leidingnet significant is gecorreleerd met het geometrisch gemiddelde en 95-percentiel van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater bereid met grondwater of oppervlaktewater. De correlatie tussen het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater bereid met oppervlaktewater en het percentage gietijzeren leidingen in het leidingnet is relatief sterk (R²=0,62).

4.2 Meervoudige regressieanalyse

Uit de resultaten van de enkelvoudige correlatieanalyse volgt dat een enkele fysisch/chemische parameter over het algemeen geen sterk verband heeft met de microbiologische parameters die zijn onderzocht. Dit is volgens verwachting omdat meerdere fysisch/chemische factoren de groei van micro-organismen in drinkwater kunnen beïnvloeden. Met de door de drinkwaterbedrijven beschikbaar gestelde gegevens van 50 productielocaties is het mogelijk om te achterhalen of meerdere factoren een rol spelen bij de groei van *Aeromonas* en/of heterotrofe bacteriën die worden gemeten met KG22. Hiervoor zijn een meervoudige regressieanalyse en een canonieke regressieanalyse uitgevoerd. De resultaten van de meervoudige regressieanalyses worden in deze paragraaf besproken, het resultaat van de canonieke regressieanalyse in paragraaf 4.3.

4.2.1 KG22 in gedistribueerd drinkwater dat is bereid met grondwater

Geometrisch gemiddelde

De resultaten van de meervoudige regressieanalyses laten zien dat op basis van de verklarende variantie het geometrisch gemiddelde van KG22 in het gedistribueerde drinkwater van 38 verschillende grondwaterpompstations niet kon worden beschreven met meerdere chemische/fysische factoren. Het enkelvoudige regressiemodel met het gemiddelde TOC-gehalte van het ruwwater heeft namelijk de hoogste R^2 van alle onderzochte regressiemodellen. Uiteindelijk wordt het geometrisch gemiddelde van KG22 in het gedistribueerde drinkwater dus het best beschreven met:

$$\text{Log}[KG22_{\text{distributie}}^{\text{geom-gemid}}] = 0,859 \times \text{Log}[TOC_{\text{ruw}}^{\text{gemid}}] + 0,274$$

Tabel 4.4.A. De statistische kenmerken van het regressiemodel voor het geometrisch gemiddelde van KG22 in het gedistribueerde drinkwater bereid met grondwater.

Variabele	N	R ²	p
Totale model	38	0,59	
Gemiddelde TOC - ruw			< 0,01

Het model heeft een R^2 van 0,59 (Tabel 4.4a), dat betekent dat 59% van de variatie in het geometrisch gemiddelde van KG22 in het gedistribueerde drinkwater wordt verklaard door het gemiddelde TOC-gehalte in het ruwwater. Onbekende factoren die niet in deze studie zijn meegenomen bepalen dus 41% van de variatie in het geometrisch gemiddelde van KG22.

95-percentiel

Het was ook niet mogelijk om een meervoudig regressiemodel voor het 95-percentiel van KG22 in het gedistribueerde drinkwater van 38 grondwaterpompstations te ontwikkelen. Het enkelvoudige regressiemodel met de gemiddelde TOC-concentratie van het ruwwater was het best te ontwikkelen model met de fysisch/chemische parameters die zijn gebruikt (Tabel 2.2). Hoewel deze regressie significant is ($p < 0,01$), is het verband tussen het 95-percentiel van KG22 in het gedistribueerde drinkwater en de gemiddelde TOC concentratie in het ruwwater met een R^2 van 0,26 zwak. We concluderen daarom dat andere factoren dan in deze studie onderzocht verantwoordelijk zijn voor de hoge waarden van het KG22 in het distributiesysteem van drinkwater dat is bereid met grondwater.

4.2.2 KG22 in gedistribueerd drinkwater dat is bereid met oppervlaktewater

In Nederland wordt op 16 locaties drinkwater bereid met oppervlaktewater. Van deze 16 productielocaties zijn 12 productielocaties meegenomen in de meervoudige regressieanalyse. Het aantal van 12 is laag voor het uitvoeren van meervoudige regressieanalyses en maakt dat de uitkomsten minder betrouwbaar zijn dan voor de grondwaterlocaties. De resultaten zijn echter wel bruikbaar om belangrijke trends te achterhalen.

Geometrisch gemiddelde

De resultaten van de meervoudige regressieanalyses laten zien dat het geometrisch gemiddelde van KG22 in het gedistribueerde drinkwater van de 12 oppervlaktewaterpompstations is gerelateerd aan het gemiddelde TOC-gehalte van het gedistribueerde drinkwater, het 95-percentiel van de ijzerconcentratie in het gedistribueerde drinkwater, de gemiddelde mangaanconcentratie van het ruwwater en de gemiddelde pH van het gedistribueerde drinkwater:

$$\text{Log}[KG22_{\text{distributie}}^{\text{geom-gemid}}] = 0,32 \times TOC_{\text{distributie}}^{\text{gemid}} + 16,64 \times Fe_{\text{distributie}}^{95\text{-perc}} - 4,11 \times Mn_{\text{ruw}}^{\text{gemid}} - 0,97 \times pH_{\text{distributie}}^{\text{gemid}} + 8,02$$

Tabel 4.5 De statistische kenmerken van het meervoudige regressiemodel voor het geometrisch gemiddelde van KG22 in het gedistribueerde drinkwater (distributie) bereid met oppervlaktewater.

Variabele	N	R ²	p	Partiële correlatie	Tolerantie
Totale model	12	0,76			
Constante			0,016	-	-
Gemiddelde TOC - distributie			0,015	0,77	0,50
95-percentiel Fe - distributie			0,018	0,76	0,60
Gemiddelde pH - distributie			0,013	-0,78	0,64
Gemiddelde Mn - ruw			< 0,01	-0,85	0,58

De statistische kenmerken van het model zijn weergegeven in Tabel 4.5. Alle parameters in het model zijn significant ($p < 0,05$). De R^2 van het regressiemodel is met 0,757 relatief hoog en 75,7% van de variantie in het geometrisch gemiddelde van KG22 wordt met de parameters in het model verklaard. Uit de partiële correlaties volgt dat de gemiddelde mangaanconcentratie de sterkste invloed heeft in het model, maar de partiële correlatiecoëfficiënten van de andere parameters zijn vergelijkbaar. De tolerantie van de parameters is voor alle vier de parameters groter of gelijk aan 0,50. Dit houdt in dat de verklarende parameters onderling niet sterk zijn gecorreleerd, een voorwaarde voor een betrouwbaar meervoudig regressiemodel.

95-percentiel

Het 95-percentiel van KG22 in het gedistribueerde drinkwater van de 12 oppervlaktewaterpompstations wordt door een vergelijkbaar meervoudig regressiemodel beschreven:

$$\text{Log}[KG22_{\text{distributie}}^{95\text{-perc}}] = 0,56 \times \text{TOC}_{\text{distributie}}^{\text{gemid}} + 29,62 \times \text{Fe}_{\text{distributie}}^{95\text{-perc}} - 5,70 \times \text{Mn}_{\text{ruw}}^{\text{gemid}} + 0,66$$

De gemiddelde TOC-concentratie van het gedistribueerde drinkwater, het 95-percentiel van de ijzerconcentratie in het gedistribueerde drinkwater en de gemiddelde mangaanconcentratie van het ruwwater komen ook voor in het meervoudige regressiemodel van het geometrisch gemiddelde van KG22. In dat model is echter de gemiddelde pH van het gedistribueerde drinkwater ook een verklarende variabele. De statistische kenmerken van het meervoudige regressiemodel voor het 95-percentiel van KG22 zijn weergegeven in Tabel 4.6.

Tabel 4.6 De statistische kenmerken van het meervoudige regressiemodel voor het 95-percentiel van KG22 in het gedistribueerde drinkwater (distributie) bereid met oppervlaktewater.

Variabele	N	R ²	p	Partiële correlatie	Tolerantie
Totale model	12	0,63			
Constante			0,079	-	-
Gemiddelde TOC - distributie			< 0,01	0,81	0,57
95-percentiel Fe - distributie			< 0,01	0,80	0,68
Gemiddelde Mn - ruw			< 0,01	-0,81	0,61

De R^2 van het meervoudige regressiemodel is lager dan de R^2 van het model voor het geometrisch gemiddelde van KG22 in het gedistribueerde drinkwater (Tabel 4.5), maar is met 0,63 nog steeds relatief hoog. De verklarende variabelen hebben een vergelijkbare partiële correlatiecoëfficiënt en hebben dus een vergelijkbare invloed in het model. Ten slotte zijn ook de tolerantiewaarden van de fysisch/chemische parameters in het model boven de 0,5.

4.2.3 *Aeromonas* in gedistribueerd drinkwater dat is bereid met grondwater

In de meervoudige regressiemodellen voor het geometrisch gemiddelde en het 95-percentiel van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater bij de grondwaterpompstations is het percentage gietijzeren leidingen in het distributienet één van de significant verklarende parameters. De gegevens over het percentage gietijzeren leidingen in het distributienet zijn echter beschikbaar voor 25 van de 38 grondwaterpompstations. Daarom zijn twee meervoudige regressieanalyses uitgevoerd: een analyse waarbij het percentage gietijzeren leidingen is meegenomen (gebaseerd op 25 waarnemingen) en een analyse zonder het percentage gietijzeren leidingen waarbij de waarnemingen van alle 38 grondwaterlocaties zijn gebruikt.

Geometrisch gemiddelde

Het meervoudige regressiemodel voor het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater van 25 grondwaterpompstations wordt beschreven door:

$$\text{Log}[Aeromonas_{distributie}^{geom_gemid}] = 0,024 \times Ca_{distributie}^{gemid} + 1,87 \times \text{Log}[\%gietijzer] + 0,80 \times [NH_4]_{ruw}^{gemid} - 2,37$$

De statistische kenmerken van het meervoudige regressiemodel zijn beschreven in Tabel 4.7. Het model heeft een R^2 van 0,68, dus 68% van de variatie in het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* in het distributienet wordt door de fysisch/chemische factoren in het model verklaard. Uit het model volgt verder dat bij toenemende waarden van één of meerdere van de drie verklarende parameters (gemiddelde calciumconcentratie in gedistribueerd drinkwater, het percentage gietijzer in het leidingnet en de gemiddelde ammoniumconcentratie in het ruwwater), het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* van het drinkwater in het distributiesysteem ook toeneemt. De partiële correlatiecoëfficiënten van de gemiddelde ammoniumconcentratie van het ruwwater en het percentage gietijzer in het leidingnet hebben een vergelijkbaar hoge waarde, waardoor deze twee parameters meer invloed hebben op het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* dan de gemiddelde calciumconcentratie van het gedistribueerde drinkwater. De hoge tolerantiewaarden voor de drie verklarende parameters laten zien dat de drie parameters niet onderling zijn gecorreleerd.

Tabel 4.7 De statistische kenmerken van het meervoudige regressiemodel voor het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater (distributie) bereid met grondwater bij 25 verschillende productielocaties.

Variabele	N	R ²	p	Partiële correlatie	Tolerantie
Totale model	25	0,68			
Constante			< 0,010	-	-
Gemiddelde Ca - distributie			0,015	0,51	0,84
Log % gietijzer - leidingnet			< 0,010	0,64	0,99
Gemiddelde NH ₄ - ruw			< 0,010	0,66	0,84

Wanneer het percentage gietijzer in het leidingnet als verklarende variabele wordt weggelaten en de gegevens van 38 grondwaterpompstations in de meervoudige regressieanalyse wordt gebruikt, dan wordt het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater het beste beschreven met een enkelvoudig regressiemodel:

$$\text{Log}[Aeromonas_{distributie}^{geom_gemid}] = 1,48 \times \text{Log}[TOC_{ruw}^{gemid}] + 0,28$$

Evenals voor KG22 is van de onderzochte fysisch/chemische parameters de TOC-concentratie van het ruwwater de enige verklarende variabele in het model. De verklarende variantie van

het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater is echter laag (45%; $R^2=0,45$), waardoor andere niet onderzochte factoren waarschijnlijk ook de aantallen *Aeromonas* van het gedistribueerde drinkwater beïnvloeden. Uit de eerder besproken meervoudige regressieanalyse voor het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* (met gegevens van 25 grondwaterpompstations) is naar voren gekomen dat het percentage gietijzer in het leidingnet één van deze factoren is.

95-percentiel

Het meervoudige regressiemodel voor het 95-percentiel van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater van 25 grondwaterpompstations wordt beschreven door:

$$\text{Log}[Aeromonas_{distributie}^{95\text{-perc}}] = 0,034 \times Ca_{distributie}^{gemid} + 2,40 \times \text{Log}[\%gietijzer] + 1,19 \times \text{Log}[TOC]_{ruw}^{gemid} - 2,41$$

Het meervoudige regressiemodel heeft een relatief hoge R^2 , zodat 79% van de variatie in het 95-percentiel van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater wordt verklaard door de drie fysisch/chemische parameters in het model (Tabel 4.8). Het percentage gietijzer in het leidingnet heeft de meeste invloed in het model (partiële correlatiecoëfficiënt van 0,72) en de drie parameters zijn onderling niet gecorreleerd (tolerantie is 0,77 of hoger)(Tabel 4.8). Het model is vergelijkbaar met het meervoudige regressiemodel voor het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas*.

Tabel 4.8 De statistische kenmerken van het meervoudige regressiemodel voor het 95-percentiel van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater (distributie) bereid met grondwater bij 25 verschillende productielocaties.

Variabele	N	R ²	p	Partiële correlatie	Tolerantie
Totale model	25	0,79			
Constante			< 0,010	-	-
Gemiddelde Ca - distributie			< 0,010	0,65	0,80
Log % gietijzer - leidingnet			< 0,010	0,72	0,91
Gemiddelde TOC - ruw			< 0,010	0,69	0,77

Wanneer het percentage gietijzer in het leidingnet als verklarende variabele wordt weggelaten en de gegevens van 38 grondwaterpompstations in de meervoudige regressieanalyse wordt gebruikt, dan wordt het 95-percentiel van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater het beste beschreven met een enkelvoudig regressiemodel waar de TOC-concentratie van het ruwwater de verklarende variabele is:

$$\text{Log}[Aeromonas_{aftap}^{95\text{-perc}}] = 1,96 \times \text{Log}[TOC]_{ruw}^{gemid} + 0,99$$

Dus ook in dit enkelvoudige regressiemodel is de TOC-concentratie van het ruwwater de verklarende variabele. De R^2 van het model is 0,60, dus 60% van de variantie in het 95-percentiel van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater wordt verklaard door het TOC-gehalte van het ruwwater.

4.2.4 *Aeromonas* in gedistribueerd drinkwater dat is bereid met oppervlaktewater

Geometrisch gemiddelde

Het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater wordt met het volgende regressiemodel beschreven:

$$\text{Log}[Aeromonas]_{\text{distributie}}^{\text{geom-gemid}} = 0,80 \times \text{TOC}_{\text{distributie}}^{\text{gemid}} + 0,44 \times \text{Temp}_{\text{distributie}}^{95\text{-perc}} + 6,32 \times \text{Mn}_{\text{ruw}}^{\text{gemid}} - 0,73 \times \text{Log}[\text{NH}_4]_{\text{ruw}}^{\text{gemid}} - 10,55$$

De kenmerken van het meervoudige regressiemodel staan in Tabel 4.9. De R² van het regressiemodel is met 0,71 relatief hoog en 71,0% van de variantie in het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* wordt met de parameters in het model verklaard. Uit de partiële correlaties volgt dat de gemiddelde TOC-concentratie en het 95-percentiel van de temperatuur van het gedistribueerde drinkwater de grootste invloed hebben in het model. De tolerantie van de parameters is voor alle vier de parameter 0,48 of hoger. Dit houdt in dat de verklarende parameters onderling niet sterk zijn gecorreleerd.

Tabel 4.9 De statistische kenmerken van het meervoudige regressiemodel voor het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater (distributie) bereid met oppervlaktewater bij 12 verschillende productielocaties.

Variabele	N	R ²	p	Partiële correlatie	Tolerantie
Totale model	12	0,71			
Constante			< 0,010	-	-
Gemiddeld TOC – distributie			< 0,010	0,83	0,59
95-percentiel temperatuur – distr.			< 0,010	0,82	0,75
Gemiddeld Mn – ruw			0,025	0,73	0,48
Log gemiddeld NH ₄ – ruw			0,026	-0,73	0,53

95-percentiel

Het 95-percentiel van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater bij 12 oppervlaktewaterlocaties laat zich het best beschrijven met het meervoudige regressiemodel:

$$\text{Log}[Aeromonas]_{\text{distributie}}^{95\text{-perc}} = 0,25 \times \text{Temp}_{\text{distributie}}^{95\text{-perc}} - 1,26 \times \text{pH}_{\text{rein}}^{\text{gemid}} + 7,86$$

Tabel 4.10 De statistische kenmerken van het meervoudige regressiemodel voor het 95-percentiel van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater (distr.) bereid met oppervlaktewater bij 12 verschillende productielocaties.

Variabele	N	R ²	p	Partiële correlatie	Tolerantie
Totale model	12	0,63			
Constante			< 0,010	-	-
95-percentiel temperatuur – distr.			0,016	0,70	1,0
Gemiddelde pH – rein			< 0,010	-0,77	1,0

Het kwadraat van de regressiecoëfficiënt is 0,63, dus het model verklaart 63% van de variantie in het 95-percentiel van *Aeromonas*. De gemiddelde pH van het reinwater heeft een hogere partiële correlatiecoëfficiënt dan de temperatuur en heeft dus meer invloed in het model. De twee verklarende variabelen hebben een tolerantiewaarde van 1 en zijn daardoor onderling niet gecorreleerd.

4.3 Canonieke regressieanalyse

Bij de meervoudige regressieanalyse is de relatie onderzocht tussen één van de microbiologische parameters in het gedistribueerde drinkwater en meerdere fysisch/chemische parameters van het ruwwater, reinwater en/of gedistribueerde drinkwater. In de canonieke regressieanalyse wordt de relatie onderzocht tussen de vier microbiologische parameters (geometrisch gemiddelde KG22, 95-percentiel KG22, geometrisch gemiddelde *Aeromonas* en 95-percentiel *Aeromonas*) met meerdere fysisch/chemische parameters van het

ruwwater, reinwater en/of gedistribueerd drinkwater. Met een dergelijke analyse wordt dus gekeken naar parameters die een invloed hebben op de vier microbiologische parameters gezamenlijk. Een voorwaarde om de canonieke regressieanalyse uit te voeren is dat meer dan twintig waarnemingen zijn verzameld. Doordat niet van alle grondwaterlocaties het percentage gietijzer is doorgegeven, is de canonieke regressieanalyse toegepast op gegevens van 25 grondwaterpompstations. Voor de oppervlaktewaterlocaties zijn gegevens van 12 pompstations verzameld. Dit aantal is te beperkt voor een betrouwbare canonieke regressieanalyse.

In een vooranalyse is bepaald welke fysisch/chemische parameters worden gebruikt in de definitieve canonieke regressieanalyse. Op basis van de resultaten van de enkelvoudige en meervoudige regressieanalyses is besloten om de volgende parameters mee te nemen in de analyse: TOC, methaan, ijzer, ammonium, pH, temperatuur, jaarproductie en percentage gietijzer. De fysische/chemische parameters die uiteindelijk zijn gebruikt in de definitieve canonieke regressieanalyse zijn weergegeven in Tabel 4.11.

De statistische uitkomsten van de canonieke regressieanalyse zijn weergegeven in Tabel 4.11. De resultaten laten zien dat de 1^e root van het canonieke regressiemodel significant is ($p < 0,01$) en dat het model een hoog percentage van de variantie kan verklaren (91,7%). Uit de structurele correlaties (canonieke loadings) blijkt echter dat niet alle fysisch/chemische parameters in het model een even grote invloed hebben op de microbiologische parameters. De parameters met de meeste invloed zijn de gemiddelde TOC-, methaan-, ammonium- en

Tabel 4.11 De statistische kenmerken van het canonieke regressiemodel voor de relatie tussen de microbiologische parameters in het gedistribueerde drinkwater (distributie) en de fysisch/chemische parameters in het ruwwater, reinwater en gedistribueerde drinkwater. De gegevens van 24 verschillende grondwaterlocaties zijn gebruikt.

Variabele	N	Verklarende variantie	p	Canonieke loadings ^a
Totale model	24	91,7%	< 0,01	
Log geom. gemiddelde KG22 – distributie				0,95
Log 95-percentiel KG22 – distributie				0,49
Log geom. gemiddelde <i>Aeromonas</i> – distr.				0,68
Log 95-percentiel <i>Aeromonas</i> – distributie				0,82
Log gemiddelde TOC – ruw				0,87
Gemiddelde CH ₄ – ruw				0,82
Log gemiddeld Fe – ruw				0,68
Gemiddelde NH ₄ – ruw				0,58
Gemiddelde pH – rein				-0,22
95-percentiel temp – distributie				-0,20
Log jaarproductie				0,18
Log % gietijzer				0,17

^a Canonieke loadings geven de structurele correlatie aan tussen de variatie in de afzonderlijke parameter en de variatie in het gehele model

ijzerconcentratie van het ruwwater. Blijkbaar is de ruwwatersamenstelling van het grondwater een belangrijke factor voor de aantallen KG22 en *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater dat is bereid met grondwater. De overige parameters lijken met hun lage waarde voor de structurele correlatie een kleinere invloed te hebben op de microbiologische parameters. De hoge waarden voor de structurele correlatie van het TOC-gehalte en de ammoniumconcentratie van het ruwwater in de canonieke regressieanalyse waren volgens verwachting, omdat deze parameters ook in de meervoudige regressieanalyses als verklarende variabelen naar voren kwamen. Het was gedeeltelijk onverwachts dat de methaan- en

ijzerconcentratie van het ruwwater een hoge waarde voor de structurele correlaties in het regressiemodel hebben, omdat deze parameters geen verklarende variabelen zijn in de meervoudige regressiemodellen van de afzonderlijke microbiologische parameters. Wel waren de twee parameters significant in de enkelvoudige correlatie met de afzonderlijke microbiologische regressieanalyse. Ook volgt uit Tabel 4.11 dat sommige parameters een positieve structurele correlatie en andere een negatieve structurele correlatie hebben, maar het +/- teken heeft geen richtingswaarde in de canonieke regressieanalyse. Geconcludeerd wordt dat grondwaterpompstations die ruwwater gebruiken met hoge concentraties TOC, methaan, ammonium en ijzer, relatief hoge aantallen KG22 en *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater hebben.

4.4 Discussie

4.4.1 Relatie tussen KG22 en *Aeromonas* in reinwater en gedistribueerd drinkwater

Een significante enkelvoudige correlatie is gevonden tussen *Aeromonas* in het reinwater en *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater, maar het verband van deze correlatie is zwak. Deze zwakke relatie is volgens verwachting omdat BTO-onderzoek in het verleden heeft aangetoond dat *Aeromonas* in het reinwater afkomstig is van de zandfilters in de zuivering. De manier waarop deze filters worden bedreven, draagt in grote mate bij aan groei van *Aeromonas* in het filter en aan de aantallen *Aeromonas* die in het reinwater terecht komen (Hiemstra, 1992; Reijnen & Hijnen, 1992). Groei van *Aeromonas* in het distributienet treedt voornamelijk op in het sediment en op de buiswand en is voor een groot deel afhankelijk van de hoeveelheid afbreekbare stof in het afgeleverde water en de hoeveelheid sediment in het leidingnet (van der Kooij, 1992). Het is dus goed mogelijk dat een pompstation met veel afbreekbaar organisch materiaal in het afgeleverde water (en dus relatief hoge aantallen *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater kan krijgen), weinig groei van *Aeromonas* in de filters van de zuivering heeft (en dus relatief lage aantallen *Aeromonas* in het reinwater heeft). Een voorbeeld van een dergelijke locatie is ps Schijndel, waar het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* in het reinwater 1 kve 100 ml⁻¹ is, terwijl het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* in drinkwater in het distributiesysteem 138,1 kve 100 ml⁻¹ is. Het omgekeerde, dat een pompstation weinig afbreekbaar organisch materiaal in het afgeleverde water heeft, maar relatief veel groei van *Aeromonas* in de filters van de zuivering is ook mogelijk. Een voorbeeld van een dergelijke locatie is ps Grubbenvorst, waar het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* in het reinwater 15,6 kve 100 ml⁻¹ is, terwijl het geometrisch gemiddelde in drinkwater in het distributiesysteem 3,4 kve 100 ml⁻¹ is. Overigens is uit de analyse van de REWAB-gegevens gebleken dat het geometrisch gemiddelde van de aantallen *Aeromonas* in het reinwater bij de Nederlandse pompstations niet hoger is dan 28,7 kve 100 ml⁻¹. Tevens wordt in Nederland zelden meer dan 100 kve 100 ml⁻¹ *Aeromonas* in het reinwater gerapporteerd. Dergelijke lage aantallen *Aeromonas* laten zien dat in Nederland de groei van *Aeromonas* in de zuivering over het algemeen onder controle is, in tegenstelling tot de groei van *Aeromonas* in het distributiesysteem.

Ook het geometrisch gemiddelde van KG22 in het reinwater correleert zwak met het geometrisch gemiddelde van KG22 in het gedistribueerde drinkwater. Deze zwakke correlatie wordt vermoedelijk veroorzaakt door vergelijkbare factoren als hierboven beschreven voor *Aeromonas*.

Een significante correlatie met een relatief sterk verband is waargenomen tussen het geometrisch gemiddelde van KG22 en *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater van 50 verschillende pompstations. Bacteriën die behoren tot het genus *Aeromonas* zijn heterotroof en

kunnen ook groeien op het agarmedium en met de incubatiecondities die worden gebruikt voor KG22. Hierdoor bestaat een deel van KG22 uit bacteriën die behoren tot het genus *Aeromonas*, maar bij 45 van de 50 geselecteerde was dit deel minder dan 10%. De correlatie tussen beide parameters kan dan ook niet verklaard worden door het feit dat het merendeel van de kolonievormende eenheden van KG22 kolonies van *Aeromonas* zijn. Op zich is de correlatie tussen *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde drinkwater niet onverwacht omdat groei van alle micro-organismen in drinkwater afhankelijk is van de hoeveelheid afbreekbaar materiaal. Daarnaast hebben andere factoren (bv pH en temperatuur) waarschijnlijk ook een vergelijkbaar effect op groei van *Aeromonas* en heterotrofe bacteriën die met KG22 worden bepaald. De correlatiecoëfficiënt tussen beide parameters is 0,59, dat relatief hoog is, maar echter beduidend kleiner dan 1. Uit dat resultaat kan worden geconcludeerd dat er ook bepaalde factoren in het water aanwezig zijn die wel invloed hebben op de groei van KG22, maar geen invloed op de groei van *Aeromonas* en omgekeerd. Zo is bijvoorbeeld uit andere studies bekend dat *Aeromonas ammonium* als stikstofbron gebruikt (van der Kooij & Hijnen, 1988), terwijl de meeste heterotrofe bacteriën ook nitraat als stikstofbron gebruiken. Dergelijke (fysiologische) verschillen tussen *Aeromonas* en heterotrofe bacteriën die worden gekweekt met KG22, kunnen verklaren waarom sommige niet geanalyseerde factoren een verschillend effect hebben op *Aeromonas* of KG22.

4.4.2 Relatie tussen KG22/*Aeromonas* gedistribueerd drinkwater en chemisch/fysische parameters

Uit de enkelvoudige correlatieanalyses is gebleken dat verschillende fysisch/chemische factoren een significante relatie hebben met KG22 en *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater, maar dat de verbanden van deze relaties zwak zijn. Deze bevindingen zijn op zichzelf niet verrassend omdat onderzoek in het verleden al heeft aangetoond dat organische stof, methaan en ammonium in het ruwwater groei van *Aeromonas* in zandfilters van de grondwaterbehandeling veroorzaakt (Hijnen en Reijnen, 1992). In die studie werd geconcludeerd dat afbraak van methaan en ammonium in filters leidt tot ophoping van biomassa. Deze biomassa kan groei van *Aeromonas* in de filters tot gevolg hebben. Daarnaast concludeerde van der Kooij (1992) dat de biomassa die in de filters is gevormd onder bepaalde condities ook in het leidingnet terecht kan komen en mogelijk groei van *Aeromonas* veroorzaakt. In die studie werd een significante correlatie ($p < 0,01$) gevonden tussen het 90-percentiel van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater van verschillende pompstations en het kaliumpermanganaatverbruik (maat voor hoeveelheid organisch materiaal) in het drinkwater ($R^2 = 0,20$) of ammonium in het ruwwater ($R^2 = 0,22$). Hoewel deze correlaties significant zijn, werd ook in die studie een lage R^2 waargenomen. Eén van de conclusies was destijds al dat meerdere factoren waarschijnlijk een rol spelen in de toename van *Aeromonas* in het leidingnet. Daarom zijn in deze studie ook meervoudige regressieanalyses en canonieke regressieanalyses uitgevoerd, zodat duidelijk wordt welke fysisch/chemische factoren de aantallen KG22 en *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater beïnvloeden.

De resultaten van de enkelvoudige, meervoudige en canonieke regressieanalyse laten over het algemeen zien dat het grootste deel van de variantie (> 50%) kan worden verklaard met fysisch/chemische factoren van het ruwwater, reinwater en gedistribueerd water. Geen van de modellen heeft echter een verklarende variantie van 100%. Er zijn een aantal verklaringen waarom de verklarende variantie lager is dan 100%. Zo zijn bij sommige pompstations maar een beperkt aantal waarnemingen aanwezig voor de fysisch/chemische parameters en *Aeromonas*. In hoofdstuk drie is uitgelegd dat het aantal *Aeromonas*-metingen in het distributiesysteem van een aantal grondwaterpompstations laag zijn of uitgevoerd in één seizoen, dat leidt tot een onbetrouwbaar geometrisch gemiddelde en 95-percentielswaarde. Ook verschillende fysisch/chemische parameters zijn bij sommige pompstations beperkt

bepaald in het ruwwater, reinwater en gedistribueerde water, waardoor het geometrisch gemiddelde en 95-percentiel onbetrouwbaarder zijn. Daarnaast zijn de databases van een aantal distributiegebieden mogelijk vervuild, omdat ook gegevens van de herhalingsmonsters voor *Aeromonas* zijn gerapporteerd. Tevens zijn ook andere niet geanalyseerde factoren waarschijnlijk verantwoordelijk voor een gedeelte van de variantie in de aantallen KG22 en *Aeromonas*. Zo wordt een gedeelte van de variatie verklaard door variatie in de meetmethoden. KG22 en *Aeromonas* zijn bijvoorbeeld geen goede maat voor de hoeveelheid biomassa in het distributiesysteem; de aantallen van beide parameters kunnen variëren, terwijl de hoeveelheid biomassa gelijk blijft (zie paragraaf 3.4.2). Dit aspect resulteert in oneigenlijke variantie in de aantallen KG22 en *Aeromonas*. Bovendien heeft de zuivering van het ruwwater een belangrijke (indirecte) relatie met de aantallen KG22 en *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater. De zuivering van het ruwwater wordt voor een groot deel bepaald door de zuiveringsprocessen die worden toegepast en de bedrijfsvoering van die zuiveringsprocessen (leeftijd en aard van het filtermateriaal, spoelfrequentie filters, continue/discontinue productie, etc.). Deze factoren zijn in de statistische analyses niet meegenomen, terwijl ze waarschijnlijk wel een deel van de variantie in de twee microbiologische parameters bepalen. Ook zijn de hydraulische condities in het distributiesysteem (o.a. verblijftijd), opbouw van distributiesysteem (vertakt versus vermaasd), de mate van menging van water van verschillende pompstations in het leidingnet, de mate van sedimentatie in het distributiesysteem en de schoonmaakfrequentie van het distributiesysteem factoren die de aantallen KG22 en *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater beïnvloeden.

Uit de regressieanalyses blijkt dat de TOC-concentratie van het water de aantallen *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde drinkwater beïnvloedt. Uit eerdere onderzoek is geconcludeerd dat een hoge TOC concentratie in het ruwwater resulteert in biomassavorming in de filters van de grondwaterbehandeling. Deze biomassa kan in het leidingnet terecht komen, waar het groei van dierlijke organismen en *Aeromonas* kan veroorzaken (van der Kooij, 1992). Tevens is in eerdere studies waargenomen dat het TOC-gehalte in het water gecorreleerd is met de hoeveelheid AOC (van der Kooij, 1992a, b). Zowel *Aeromonas* als heterotrofe bacteriën die met KG22 worden bepaald, zijn voor vermeerdering in drinkwater afhankelijk van de hoeveelheid afbreekbaar organisch materiaal in het drinkwater. Deze factoren verklaren waarom de TOC-concentratie een verklarende variabele is voor de aantallen KG22 en *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater van grondwater- en oppervlaktewaterlocaties. Een verlaging van de TOC-concentratie resulteert daardoor in de meeste gevallen tot een verlaging van de aantallen KG22 en *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater. Uiteindelijk zal een verlaging van het TOC-gehalte bij pompstations waar overschrijdingen van *Aeromonas* worden waargenomen, resulteren in een lager percentage overschrijdingen van de wettelijke eis van *Aeromonas*. Voorwaarde hierbij is wel dat de hoeveelheid afbreekbaar materiaal evenredig afneemt met de verlaging van de TOC-concentratie. Daarom kan worden getracht om de zuivering te optimaliseren bij pompstations die ruwwater met relatief hoge TOC-concentraties zuiveren. Op een aantal locaties wordt ionenwisseling binnenkort in de zuivering toegepast, voornamelijk voor de verwijdering van kleur uit het te zuiveren water. Ionenwisseling kan echter ook resulteren in verlaging van het TOC-gehalte en verlaagt mogelijk ook de nagroei van bacteriën in het reinwater en/of leidingnet (Schippers & Sjoerdsma, 2007). Binnen het thema Biologische Stabiliteit start binnenkort een deelproject dat als doel heeft om de invloed van ionenwisseling op verwijdering van organisch materiaal en verlaging van nagroei op te helderen.

Uit de enkelvoudige en meervoudige regressieanalyses voor het geometrisch gemiddelde en/of 95-percentiel van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater volgt dat het percentage gietijzeren leidingen in het net vaak een parameter is die de aantallen *Aeromonas* beïnvloedt. De

resultaten van de verschillende analyses waren echter niet consistent. Zo laten de enkelvoudige correlaties weliswaar zien dat het percentage gietijzeren leidingen significant is gecorreleerd met het geometrisch gemiddelde en 95-percentiel van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater dat is bereid met grondwater, maar de R^2 van deze relaties is laag ($R^2=0,23$). Deze correlaties zijn voor gedistribueerd drinkwater dat is bereid met oppervlaktewater ook significant, maar de R^2 -en van deze correlaties zijn aanzienlijk hoger (R^2 van 0,54 tot 0,62). De resultaten van de meervoudige regressieanalyses laten echter een tegenovergesteld beeld zien. Het percentage gietijzer in het leidingnet is wel een verklarende variabele in de regressiemodellen voor *Aeromonas* in het leidingwater dat is bereid met grondwater, maar niet in leidingwater dat is bereid met oppervlaktewater. Ondanks deze inconsistente resultaten, wordt wel duidelijk dat het percentage gietijzeren leidingen de aantallen *Aeromonas* in drinkwater in het distributiesysteem beïnvloedt. Eerder onderzoek heeft aangetoond dat door corrosie van gietijzeren leidingen de groei van bacteriën toeneemt, waardoor de hoeveelheid biomassa in het leidingnet toeneemt (Camper et al., 1996). De mate van corrosie van het gietijzer is afhankelijk van de corrosie-index (CI) die wordt beschreven door:

$$CI = \frac{Cl^- + 2SO_4^{2-}}{HCO_3^-}$$

Uit deze vergelijking kan geconcludeerd worden dat naast gietijzer ook de chloride-, sulfaat- en waterstofcarbonaatconcentratie van drinkwater in het distributiesysteem een rol speelt. De inconsistente relaties die werden waargenomen tussen het percentage gietijzer leidingen en de aantallen KG22 en *Aeromonas* worden mogelijk veroorzaakt doordat naast gietijzer ook de waterkwaliteit (chloride, sulfaat en waterstofcarbonaat) een rol speelt in de corrosie van gietijzeren leidingen. De waterkwaliteitsparameters van de CI zijn niet als variabelen in de regressieanalyses meegenomen.

De toename van biomassa door corrosie van gietijzeren leidingen kan vervolgens worden afgebroken door dierlijke organismen en *Aeromonas*, waardoor *Aeromonas*-aantallen in een distributiesysteem met veel gietijzer hoger zullen zijn dan in een distributiesysteem met weinig gietijzer. Het vervangen van gietijzer door minder groeibevorderend materiaal in het leidingnet, leidt dus mogelijk tot een verlaging van het aantal *Aeromonas* in het distributiesysteem. Door de inconsistente resultaten en het feit dat het percentage gietijzer één van de factoren is die *Aeromonas* in drinkwater in het distributiesysteem beïnvloed, zal vervanging van gietijzer door ander leidingmateriaal niet in alle gevallen tot gevolg hebben dat de *Aeromonas*-aantallen afnemen. De rol van gietijzeren leidingen op de groei van micro-organismen en daaraan gerelateerd groei van dierlijke organismen en *Aeromonas* kan worden achterhaald door aanvullend onderzoek.

Naast het TOC-gehalte en het percentage gietijzer in het net hebben ook andere parameters een relatie met het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater. Het is echter afhankelijk van de grondstof welke fysisch/chemische parameters een rol spelen. Zo is waargenomen dat de calciumconcentratie van het gedistribueerde drinkwater en de ammoniumconcentratie van het ruwwater een rol spelen bij de aantallen *Aeromonas* van het gedistribueerde drinkwater dat is bereid met grondwater. De rol van ammonium in het ruwwater op groei van *Aeromonas* in het distributiesysteem is hierboven al verklaard. De relatie tussen de calciumconcentratie van het gedistribueerde drinkwater en het geometrisch gemiddelde of 95-percentiel van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater is onverwacht. Mogelijk dat het wel of niet toepassen van een onthardingsstap in de zuivering (waardoor de calciumconcentratie van het afgeleverde drinkwater lager wordt) ook een rol speelt in de biologische stabiliteit van drinkwater. Eerder onderzoek heeft aangetoond dat tijdens het onthardingsproces in de zuivering ook biomassa wordt gevormd, die een deel van de

biologische afbreekbare stoffen van het water afbreekt. Eveneens is waargenomen dat in het meervoudig regressiemodel voor het geometrisch gemiddelde van KG22 en het 95-percentiel van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater dat is bereid met oppervlaktewater de pH van het reinwater of gedistribueerd drinkwater een rol speelt. Het kan zijn dat dit verband ook door het onthardingsproces in de zuivering wordt veroorzaakt, aangezien ook de pH van het water verandert in het onthardingsproces. Het vergt aanvullend onderzoek om de invloed van ontharding op de aantallen KG22 en *Aeromonas* op te helderen.

Het 95-percentiel van de watertemperatuur van het drinkwater in het distributiesysteem is een verklarende variabele in de meervoudige regressieanalyses voor het geometrisch gemiddelde en 95-percentiel van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater dat is bereid met oppervlaktewater. Uit onderzoek is bekend dat groei van *Aeromonas* in (drink)water afhankelijk is van de watertemperatuur (Baggelaar et al., 1992). Dit temperatuurseffect treedt dus ook op in het distributiesysteem van drinkwater bereid met oppervlaktewater. Omdat het 95-percentiel van de watertemperatuur en niet de gemiddelde watertemperatuur correleert met *Aeromonas*, zijn voornamelijk de hoge watertemperaturen in de distributiesystemen van de oppervlaktewaterpompstations verantwoordelijk voor de relatie. Dit in tegenstelling tot het drinkwater dat is bereid met grondwater. De gegevens van de drinkwaterbedrijven laten zien dat het verschil in temperatuur van de grondstof resulteert in significant hogere drinkwatertemperaturen in de zomer voor distributiesystemen die worden gevoed met oppervlaktewater dan voor distributiesystemen die worden gevoed met grondwater (t-toets; $p < 0,01$). Dit verschil wordt veroorzaakt doordat de temperatuur van het oppervlaktewater dat wordt gebruikt voor de drinkwaterbereiding direct wordt beïnvloed door de omgevingstemperatuur en dus relatief hoog kan zijn in de zomerperiode. De grondwatertemperatuur wordt in veel mindere mate beïnvloedt door de omgevingstemperatuur en heeft daardoor het hele jaar een relatief constante temperatuur. De hogere temperaturen in het distributiesysteem van oppervlaktewaterlocaties in de zomer zijn dus een factor van betekenis voor het relatief hoge percentage overschrijdingen van de wettelijke eis van *Aeromonas* bij de meeste oppervlaktewaterlocaties.

De resultaten van enkele regressieanalyses laten zien dat de ijzerconcentratie van het gedistribueerde drinkwater of ruwwater een relatie heeft met de twee geanalyseerde microbiologische parameters in het gedistribueerde drinkwater. IJzer is vaak aanwezig als ijzerhydroxiden dat positief geladen is en daardoor negatief geladen organische moleculen kan binden, dat eventueel sedimenteert in het leidingnet. Organisch materiaal blijft daardoor aanwezig in filtermateriaal of leidingnet en een deel van het aangehechte organische materiaal zal door heterotrofe bacteriën worden afgebroken. Een deel van deze heterotrofe bacteriën wordt gekweekt met KG22. Daarnaast zorgt de groei van bacteriën voor een toename van de biomassa in het leidingnet, dat uiteindelijk kan resulteren in groei van dierlijke organismen en *Aeromonas*. Er zijn echter nog onduidelijkheden over de hechting van organisch materiaal aan positief geladen ijzerdeeltjes en de daaruit resulterende groei van micro-organismen.

Tot slot zijn er ook een aantal verbanden gevonden die lastiger te verklaren zijn. Zo is in het meervoudige regressiemodel voor het geometrisch gemiddelde van KG22 in het gedistribueerde drinkwater dat is bereid met oppervlaktewater de mangaanconcentratie van het ruwwater een verklarende variabele, waarbij het geometrisch gemiddelde van KG22 lager wordt naarmate er meer mangaan in het ruwwater is. Op dezelfde manier is de mangaanconcentratie van het ruwwater bij oppervlaktewaterlocaties een verklarende variabele voor het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater, evenals de ammoniumconcentratie van het ruwwater. Deze verbanden laten zich moeilijk verklaren,

waardoor het mogelijk is dat de relatie tussen deze twee chemische en microbiologische parameters geen causaal verband heeft, maar is gebaseerd op een schijnrelatie.

4.4.3 Implementatie van de resultaten

Meervoudige regressiemodellen worden in sommige studies ontwikkeld om als voorspellend model te worden gebruikt. Zo is in het verleden bijvoorbeeld een meervoudig regressiemodel ontwikkeld, waarmee de logaantallen *E. coli* op de zwemwaterlocatie Katwijk-Noord kan worden voorspeld (van der Wielen, 2009). Het is daarom verleidelijk om de ontwikkelde meervoudige regressiemodellen in deze studie ook als voorspellende modellen te gebruiken. Zo zou met de modellen achterhaald kunnen worden aan welke concentratie het TOC-gehalte van het ruwwater of gedistribueerde drinkwater moet voldoen om onder een bepaald 95-percentiel van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater te blijven. Vergelijkbare calculaties zouden ook kunnen worden uitgevoerd om het effect van verminderen van percentage gietijzer in het net op het 95-percentiel van *Aeromonas* te berekenen. Een voorwaarde om dergelijke berekeningen uit te voeren, is echter dat de modellen voldoende betrouwbaar zijn, zodat de modeluitkomsten met grote waarschijnlijkheid juist zijn. De betrouwbaarheid wordt gedeeltelijk beschreven door de R^2 , die bij sommige regressiemodellen relatief hoog was ($R^2 > 0,6$), maar het aantal waarnemingen waar de modellen op zijn gebaseerd is relatief laag (12, 25 of 38 waarnemingen). Tevens is in de vorige paragraaf beschreven dat de gebruikte gegevens voor de fysisch/chemische parameters en *Aeromonas* niet altijd even betrouwbaar zijn. De betrouwbaarheid van de meervoudige regressiemodellen is ook niet getoetst door de modellen te valideren met gegevens die niet zijn gebruikt bij de ontwikkeling van de modellen (in andere woorden gegevens van andere pompstations). Door het lage aantal waarnemingen en het ontbreken van een onafhankelijke modelvalidatie is het daarom niet aan te raden om de meervoudige regressiemodellen als voorspellende rekenmodellen te gebruiken.

5 Groepering grondwaterpompstations

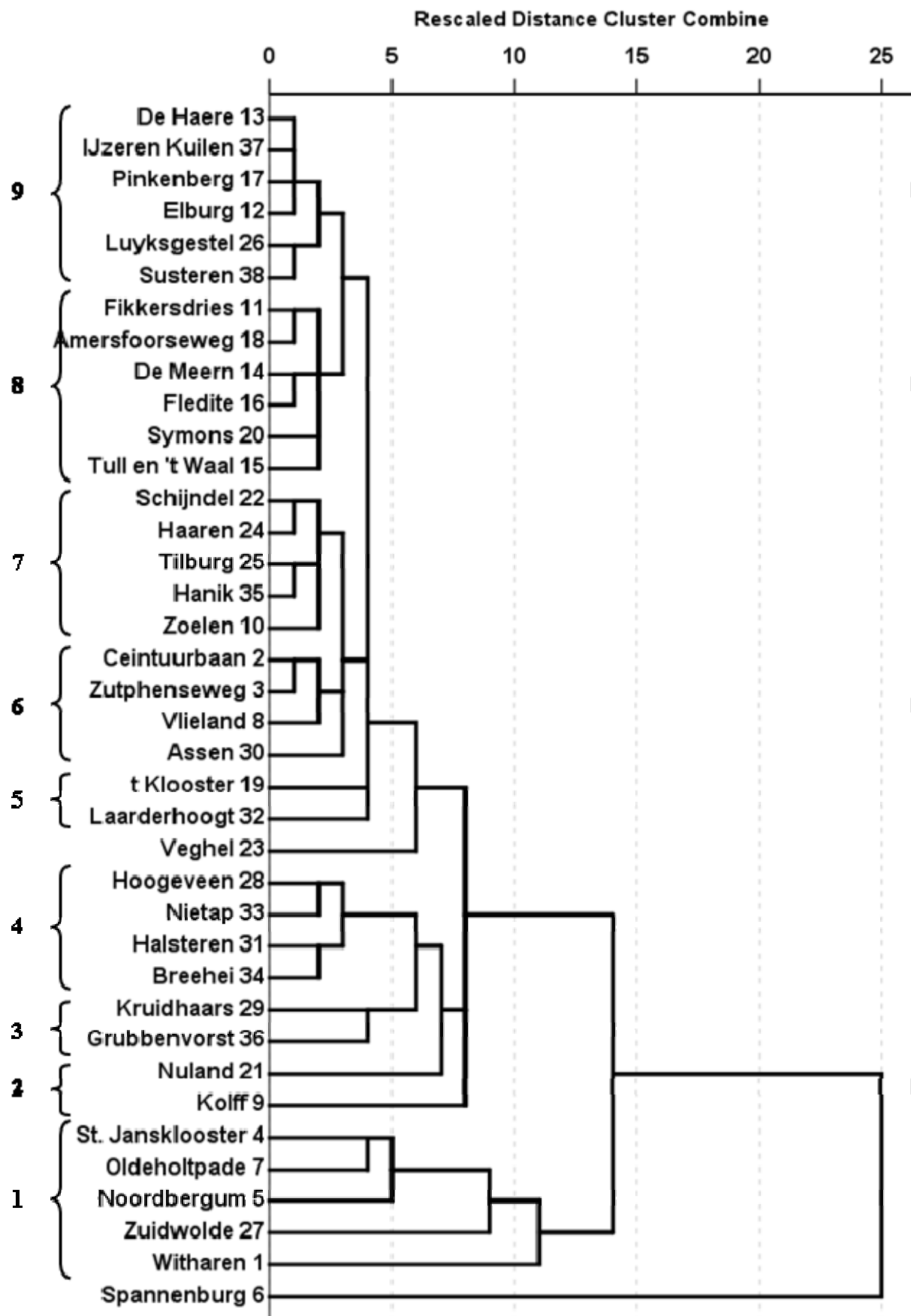
Er is ook een clusteranalyse uitgevoerd op de gemiddelde waarde van een aantal chemische parameters van het ruwwater bij de 38 grondwaterpompstations. De resultaten van een dergelijke clusteranalyse laten zien welke grondwaterpompstations ruwwater met een vergelijkbare samenstelling gebruiken voor de drinkwaterbereiding. Die gegevens worden vervolgens gebruikt om te achterhalen of pompstations die grondwater van een vergelijkbare samenstelling gebruiken (groeperen in de analyse) ook dezelfde rangschikking hebben voor het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* en KG22 en het percentage *Aeromonas*-overschrijdingen (zie hoofdstuk 3). Wanneer blijkt dat één of twee pompstations binnen een cluster (groep) een afwijkende hoge rangschikking heeft/hebben, dan wordt onderzocht of factoren kunnen worden gevonden die daar mogelijk verantwoordelijk voor zijn.

5.1 Clusteranalyse ruwwatersamenstelling grondwaterpompstations

De clusteranalyse is uitgevoerd met de gemiddelde concentratie van methaan, ammonium, TOC, ijzer en mangaan in het ruwe grondwater dat wordt gebruikt voor de bereiding van drinkwater bij 38 verschillende locaties. De groepering van de 38 grondwaterpompstations naar de ruwwatersamenstelling is weergegeven in Figuur 5.1. De resultaten van de clusteranalyse laten zien dat twee grondwaterlocaties (ps Spannenburg en ps Veghel) op basis van de ruwwatersamenstelling niet bij de 36 andere grondwaterlocaties groeperen (Figuur 5.1). Voor ps Spannenburg is dat niet verrassend, aangezien het ruwe water bij ps Spannenburg een uitzonderlijk hoge methaan- en ammoniumconcentratie heeft en daardoor duidelijk afwijkt van de overige pompstations die bij de analyse zijn betrokken. Ps Veghel heeft geen afwijkende concentraties voor de meegewogen ruwwaterparameters en de groepering laat ook zien dat de ruwwatersamenstelling vergelijkbaar is met andere pompstations. De oorzaak van de afwijkende positie blijft daardoor onduidelijk. De andere pompstations zijn verdeeld over negen groepen (Figuur 5.1), waarbij pompstations die in de rangschikking van hoofdstuk 3 een score van 5 of hoger hebben behaald in groepen 1, 2, 4, 5, 6 en 7 zijn vertegenwoordigd. Deze groepen worden in de volgende paragrafen nader beschreven.

5.1.1 Groep één: Witharen, Zuidwolde, Noordbergum, Oldeholtpade en St. Jansklooster

Uit de clusteranalyse volgt dat ps Witharen, ps Zuidwolde, ps Noordbergum, ps Oldeholtpade en ps St. Jansklooster bij elkaar groeperen en de ruwwatersamenstelling van het grondwater is bij deze pompstations dus vergelijkbaar (Tabel 5.1). De score die deze pompstations hebben gekregen volgens de systematiek van hoofdstuk 3 is onderling verschillend. Ps St. Jansklooster heeft een score van 5, terwijl ps Witharen een score van 10 heeft. De relatief lage score van St. Jansklooster wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de monsternamen voor *Aeromonas* voornamelijk plaats heeft gevonden in de maand maart. De aantallen *Aeromonas* in het distributienet laten een seizoenseffect zien, met de laagste aantallen in de winterperiode (Baggelaar et al. 1992). Door het distributiesysteem voornamelijk in maart te bemonsteren, zullen de aantallen *Aeromonas* relatief laag zijn. De waterleidingbedrijven hebben dit probleem ondertussen onderkend en sinds 2009 worden de monsters verdeeld over het jaar genomen, dus ook in de zomerperiode wanneer de aantallen *Aeromonas* in het distributiesysteem het hoogst zijn. Een ander probleem is dat een aantal waterleidingbedrijven standaard 100 ml watermonster inzetten op *Aeromonas*. Wanneer het aantal kolonievormende eenheden van *Aeromonas* in het distributiesysteem boven de 300 is, zijn ze bij een monstervolume van 100 ml niet meer te tellen. Hierdoor kan niet worden bepaald of de aantallen boven of onder de wettelijke eis van 1000 kve 100 ml⁻¹ liggen. Dit is ondertussen ook de waterleidingbedrijven



Figuur 5.1 Groepering van grondwaterpompstations naar de samenstelling van het ruwwater.

Tabel 5.1 De score volgens de rangschikking beschreven in hoofdstuk 3 en concentraties methaan, ammonium, TOC, ijzer en mangaan van het ruwwater van de grondwaterpompstations van groep 1.

Pompstation	Score	Methaan (mg l ⁻¹)	Ammonium (mg l ⁻¹)	TOC (mg l ⁻¹)	Ijzer (mg l ⁻¹)	Mangaan (mg l ⁻¹)
St. Jans klooster	5	7,8	1,9	8,2	8,5	0,38
Oldeholt pade	7	3,8	2,1	8,2	12,5	0,32
Zuidwolde	8	22,9	1,2	6,4	11,0	0,31
Noordbergum	9	6,6	1,6	5,2	10,2	0,33
Witharen	10	6,6	1,1	13,3	12,8	0,61

onderkend en sinds 2009 wordt daardoor bij een aantal pompstations 10 ml in plaats van 100 ml watermonster ingezet.

Naast ps St. Jans klooster heeft ook ps Oldeholt pade een lagere score (7) dan de drie andere pompstations. Het distributiesysteem van ps Oldeholt pade is echter wel in de zomerperiode bemonsterd, dus de lagere score wordt bij ps Oldeholt pade veroorzaakt door lagere aantallen *Aeromonas* en/of KG22 in het distributienet. Uit Tabel 5.1 volgt dat de ammonium-, TOC-, ijzer- en mangaanconcentratie van het ruwwater van ps Oldeholt pade niet lager is dan bij de andere pompstations. De methaanconcentratie van het ruwwater is echter wel lager dan bij de overige vier pompstations, en zou een verklaring kunnen zijn voor de lagere aantallen KG22 en *Aeromonas* in het distributiesysteem van ps Oldeholt pade. De zuivering van ps Oldeholt pade wijkt echter ook af van de overige pompstations. De pompstations St. Jans klooster, Zuidwolde, Noordbergum en Witharen hebben een dubbele beluchting en dubbele filtratie met (St. Jans klooster, Noordbergum) of zonder (Zuidwolde, Witharen) ontharding. Sinds maart 2006 heeft Ps. Oldeholt pade naast de beluchting, dubbele snelfilters en ontharding ook nog een ionenwisseling als zuiveringsproces. Het ionenwisselingsproces wordt toegepast voor kleurverwijdering, maar uit experimenten is duidelijk geworden dat dit proces ook gunstige effecten kan hebben op de biologische stabiliteit (Schippers & Sjoerdsma, 2007). Het is daardoor waarschijnlijk dat deze extra zuiveringsstap bij ps Oldeholt pade (mede) verantwoordelijk is voor een lager gemiddelde KG22 en percentage *Aeromonas*-overschrijdingen in het gedistribueerde drinkwater. Tevens kan uit deze resultaten worden geconcludeerd dat de aantallen KG22 en *Aeromonas* in het distributiesysteem van St. Jans klooster, Zuidwolde, Noordbergum en Witharen mogelijk worden verlaagd wanneer ionenwisseling als extra zuiveringstap wordt toegepast. Op ps St. Jans klooster wordt ionenwisseling als extra stap in de zuivering opgenomen. Tevens is onderzocht of de jaarproductie en/of het percentage gietijzer in het leidingnet mogelijk afwijkt bij ps Oldeholt pade. Waarden voor beide parameters liggen echter in dezelfde range als bij de andere vier pompstations, en kunnen daarmee de verschillen niet verklaren. Ten slotte is het duidelijk dat bij sommige voorzieningsgebieden die zijn bemonsterd het drinkwater van meerdere pompstations afkomstig is.

5.1.2 Groep twee: Nuland en Kolff

Ps Nuland en ps Kolff groeperen bij elkaar, maar desondanks verschillen beide pompstations van elkaar. Dit heeft te maken met het unieke karakter van ps Nuland, waar grondwater met twee verschillende ruwwatersamenstellingen (middeldiep gewonnen grondwater en diep gewonnen grondwater) wordt gewonnen. Deze twee ruwwaterstromen worden apart gezuiverd (met verschillende zuiveringsprocessen) en na zuivering gemengd. Deze situatie is dusdanig uniek dat de zuivering van ps Nuland verschilt met de zuivering van andere pompstations in Nederland.

5.1.3 Groep vier: Hoogeveen, Nietap, Halsteren en Breehei

De pompstations Hoogeveen, Nietap, Halsteren en Breehei groeperen bij elkaar op basis van de ruwwatersamenstelling. Opvallend is echter dat pompstation Halsteren een veel hogere score volgens de rangschikking van hoofdstuk 3 heeft dan de andere drie pompstations, die eenzelfde score hebben (Tabel 5.2). Deze hogere score wordt veroorzaakt door een hoger geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* in het distributiesysteem van ps Halsteren en omdat in het distributiesysteem van ps Halsteren overschrijdingen van de wettelijke eis van *Aeromonas* zijn waargenomen. Dit in tegenstelling tot de distributiesystemen van de andere pompstations van groep vier. Bij ps Halsteren en ps Nietap zijn gedurende het hele jaar veel watermonsters geanalyseerd op *Aeromonas*, terwijl bij ps Hoogeveen en ps Breehei relatief weinig drinkwatermonsters uit het distributiesysteem zijn geanalyseerd. Het verschil in meetfrequentie zou de verschillen tussen ps Halsteren en ps Hoogeveen of ps Breehei kunnen verklaren, maar niet de verschillen met ps Nietap. De methaanconcentratie van het ruwe water dat ps Halsteren wint, is iets hoger dan de methaanconcentraties van het ruwwater van de andere drie pompstations, maar het verschil is klein. De vier andere parameters hebben een vergelijkbare of lagere concentratie in het ruwwater van ps Halsteren vergeleken met het ruwwater van pompstations Hoogeveen, Nietap en Breehei. Volgens de ruwwatersamenstelling zou ps Halsteren dus drinkwater moeten kunnen distribueren waarin de aantallen KG22 en *Aeromonas* lager zijn. Daarom zijn de jaarproductie, zuiveringsprocessen en het percentage gietijzer van de vier pompstations met elkaar vergeleken.

Tabel 5.2 De score volgens de rangschikking beschreven in hoofdstuk 3 en concentraties methaan, ammonium, TOC, ijzer en mangaan van het ruwwater van de grondwaterpompstations van groep 4.

Pompstation	Score	Methaan (mg l ⁻¹)	Ammonium (mg l ⁻¹)	TOC (mg l ⁻¹)	Ijzer (mg l ⁻¹)	Mangaan (mg l ⁻¹)
Hoogeveen	6	5,7	0,44	5,1	7,1	0,38
Nietap	6	5,5	0,20	4,3	7,1	0,32
Breehei	6	5,6	0,71	4,5	7,1	0,31
Halsteren	9	6,5	0,50	3,9	6,0	0,33

De jaarproductie bij ps Halsteren wijkt niet af van de jaarproductie van de overige pompstations (Tabel 5.3), waardoor het onwaarschijnlijk is dat het leidingnet van ps Halsteren meer of minder uitgestrekt is dan het leidingnet van de andere drie pompstations. De zuivering van ps Halsteren bestaat uit twee beluchtingstappen, twee filtratiestappen en een ontharding (Tabel 5.3). Ook de andere drie pompstations hebben één (Hoogeveen, Nietap) of twee (Breehei) beluchtingstappen en twee (Hoogeveen, Breehei) of drie (Nietap) filtratiestappen in de zuivering. Het filtermateriaal bij ps Halsteren (zand/antraciet en zand) is ook niet afwijkend in vergelijking met de andere pompstations (Tabel 5.3). Daarnaast staat in de zuivering van ps Hoogeveen en ps Nietap ook een onthardingsproces. De zuiveringsprocessen die bij ps Halsteren worden gebruikt zijn dus niet afwijkend in vergelijking met de zuiveringsprocessen die bij de andere pompstations van groep vier worden toegepast. Het percentage gietijzeren, PVC en AC leidingen dat in het distributiesysteem van ps Halsteren aanwezig is, wijkt ook niet af van de distributiesystemen van de andere drie pompstations (Tabel 5.3). Zo heeft ps Nietap een hoger percentage gietijzeren leidingen, ps Hoogeveen een hoger percentage PVC en ps Breehei een hoger percentage AC. Geconcludeerd wordt dat de jaarproductie, type processen in de zuivering en de samenstelling van het leidingmateriaal in het distributiesysteem bij pompstations Halsteren, Hoogeveen, Nietap en Breehei vergelijkbaar zijn en het verschil in score voor KG22/*Aeromonas* in het leidingnet van ps Halsteren niet verklaren. Waarschijnlijk zijn andere factoren in de zuivering (leeftijd filtermateriaal, spoelregime, aard van beluchting, etc.) en/of het distributiesysteem

(schoonmaakfrequentie, verblijftijd, corrosie-index, menggebieden van verschillende pompstations, etc.) verantwoordelijk voor de verschillen, maar een vergelijkingsonderzoek naar dergelijke factoren valt buiten de focus van dit inventarisatieproject.

Tabel 5.3 Kenmerken van jaarproductie, zuivering en leidingnet bij de pompstations Halsteren, Hoogeveen, Nietap en Breehei.

Parameter	Halsteren	Hoogeveen	Nietap	Breehei
Jaarproductie	2,2	3,8	11,3	1,9
Zuivering				
Proces 1	Cascadebeluchting	Plaatbeluchting	Cascadebeluchting	2 x sproeibeluchting
Proces 2	Ontharding ^a	Zandfilters	Ontharding ^a	Grindfilters
Proces 3	Gootbeluchting	Ontharding ^a	Zand/Antraciet filters	2 x sproeibeluchting
Proces 4	Zand/Antraciet filters	Zandfilters	Zandfilters ^a	Grindfilters
Proces 5	Zandfilters		Zandfilters ^a	
Leidingnet				
Gietijzer	8%	5%	18%	14%
PVC	42%	77%	46%	6%
AC	50%	18%	36%	80%

^a deel bypass

5.1.4 Groep vijf: 't Klooster en Laarderhoogt

De ruwwatersamenstelling van pompstations 't Klooster en Laarderhoogt is vergelijkbaar, maar ps Laarderhoogt heeft een score van 4, terwijl ps 't Klooster een score van 0 heeft volgens de rangschikking van hoofdstuk 3. De hogere score van ps Laarderhoogt wordt veroorzaakt door een hoger gemiddelde voor KG22 en *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater. Volgens de ruwwatersamenstelling zou het water in het distributiesysteem van ps Laarderhoogt lagere aantallen KG22 kunnen hebben in het gedistribueerde drinkwater, omdat ps 't Klooster met een vergelijkbare ruwwatersamenstelling lagere aantallen KG22 en *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater heeft. Het is niet te achterhalen welke factoren verantwoordelijk zijn voor het verschil tussen ps Laarderhoogt en 't Klooster, omdat bij KWR voor ps Laarderhoogt geen informatie aanwezig is over zuiveringsprocessen, leidingmateriaal en jaarproductie. Daarnaast zouden de aantallen KG22 en *Aeromonas* in het distributiesysteem van ps Laarderhoogt kunnen zijn veranderd doordat het distributiesysteem zich in een menggebied van meerdere pompstations bevindt.

5.1.5 Groep zes: Assen, Vlieland, Zutphenseweg en Ceintuurbaan

Uit de clusteranalyse komt ook naar voren dat de ruwwatersamenstelling van de pompstations Assen, Vlieland, Zutphenseweg en Ceintuurbaan bij elkaar groeperen. In Tabel 5.4 is de score van de rangschikking volgens hoofdstuk 3 en de chemische ruwwatersamenstelling weergegeven. De score voor ps Assen is beduidend lager dan de score voor de andere drie pompstations. In het distributiesysteem van ps Assen zijn de aantallen KG22 en *Aeromonas* relatief laag, terwijl bij de overige drie pompstations is waargenomen dat de aantallen KG22 hoog noch laag zijn, maar dat het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater relatief hoog is. Ps Zutphenseweg heeft met een score van 9 de hoogste score, omdat in het voorzieningsgebied van ps Zutphenseweg overschrijdingen van de wettelijke eis van *Aeromonas* zijn waargenomen. De monsters in het distributiesysteem voor de bepaling van *Aeromonas* zijn voor ps Assen, ps Ceintuurbaan en ps Zutphenseweg gedurende het hele jaar genomen en daardoor vergelijkbaar. *Aeromonas*-metingen aan de monsters van het distributiesysteem van ps Vlieland zijn alleen uitgevoerd in de maanden november, december

en januari en daardoor niet vergelijkbaar met de overige pompstations. Wanneer *Aeromonas*-bepalingen in het distributiesysteem van ps Vlieland ook in de warmere maanden worden uitgevoerd, is het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* waarschijnlijk hoger en mogelijk worden dan ook overschrijdingen van de wettelijke eis waargenomen.

Tabel 5.4 De score volgens de rangschikking beschreven in hoofdstuk 3 en concentraties methaan, ammonium, TOC, ijzer en mangaan van het ruwwater van de grondwaterpompstations van groep 6.

Pompstation	Score	Methaan (mg l ⁻¹)	Ammonium (mg l ⁻¹)	TOC (mg l ⁻¹)	Ijzer (mg l ⁻¹)	Mangaan (mg l ⁻¹)
Assen	1	0,5	0,57	2,0	4,2	0,11
Vlieland	6	< 0,1	0,73	2,1	0,21	0,063
Ceintuurbaan	6	0,8	1,01	2,7	0,66	0,029
Zutphenseweg	9	0,6	0,97	3,0	0,54	0,028

Tabel 5.5 Kenmerken van jaarproductie, zuivering en leidingnet bij de pompstations Assen, Vlieland, Ceintuurbaan en Zutphenseweg.

Parameter	Assen	Ceintuurbaan	Zutphenseweg
Jaarproductie	2,6	1,6	1,6
Zuivering			
Proces 1	Cascadebeluchting	Zandfilters	Zandfilters
Proces 2	Ontharding ^a	Cascadebeluchting	Cascadebeluchting
Proces 3	Zand/Antraciet filters	UV	
Leidingnet			
Gietijzer	14%	12%	12%
PVC	84%	77%	77%
AC	2%	11%	11%

^a deel bypass

De ruwwatersamenstelling van ps Assen wijkt enigszins af van de andere pompstations, omdat ps Assen beduidend hogere concentraties ijzer en mangaan heeft. In de clustering is dit ook te zien, doordat de afstand tussen ps Assen en de overige drie pompstations het grootst is (Figuur 5.1). Het is mogelijk dat een hogere concentratie ijzer en mangaan in het ruwwater de biologische verwijdering van ammonium en DOC in de filters negatief beïnvloed. Ps Assen heeft echter relatief lage aantallen KG22 en *Aeromonas* in het distributienet. Mogelijk dat de verwijdering van biologisch afbreekbare stoffen in de zuivering beter is dan bij de andere drie pompstations. Het zuiveringsproces van het ruwwater van ps Assen wijkt op twee punten af van de zuiveringsprocessen bij de andere twee pompstations (Tabel 5.5). Bij ps Assen wordt, in tegenstelling tot ps Zutphenseweg en ps Ceintuurbaan, eerst een beluchtingstap toegepast. De beluchtingstap staat eerder in de zuivering van ps Assen, omdat het ruwe water relatief veel ijzer bevat. Een beluchtingstap voor de filtratie zorgt mogelijk voor betere condities in de filters (meer zuurstof). Daarnaast wordt bij ps Assen zand/antraciet toegepast in de filters, terwijl bij de andere twee pompstations alleen zandfilters worden toegepast. Het is mogelijk dat deze twee verschillen verantwoordelijk zijn voor de lagere aantallen KG22 en *Aeromonas* in het leidingnet van ps Assen.

De geometrisch gemiddelden van KG22 en *Aeromonas* zijn vergelijkbaar in het distributiesysteem van ps Zutphenseweg en ps Ceintuurbaan, maar de wettelijke eis van *Aeromonas* wordt vaker overschreden in het distributiesysteem van ps Zutphenseweg. Zowel de ruwwatersamenstelling, jaarproductie, zuivering en leidingmateriaalgebruik zijn echter

vergelijkbaar bij beide pompstations. Blijkbaar zijn andere factoren in de zuivering en distributiesysteem verantwoordelijk voor de verschillen, maar het is buiten de focus van het project om de zuivering en het leidingnet in detail te vergelijken. Ten slotte is het onduidelijk of de locaties in het voorzieningsgebied die zijn bemonsterd in alle gevallen exclusief gekoppeld zijn geweest met het pompstation. Het is misschien mogelijk dat het drinkwater in het distributiesysteem bij sommige locaties afkomstig is geweest van meerdere pompstations.

5.1.6 Groep zeven: Zoelen, Hanik, Tilburg, Haaren en Schijndel

De pompstations Zoelen, Hanik, Tilburg, Haaren en Schijndel groeperen ook bij elkaar, waarbij ps Hanik en ps Tilburg dicht bij elkaar groeperen evenals ps Haaren en ps Schijndel. Uit de gegevens van de ruwwatersamenstelling en score van de rangschikking volgens hoofdstuk 3 blijkt dat ps Zoelen een hogere score heeft. Deze hogere score van ps Zoelen is het gevolg van het hoge geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* en het relatief hoge percentage overschrijdingen van de wettelijke eis van *Aeromonas*. De ruwwatersamenstelling verschilt enigszins tussen de pompstations (Tabel 5.6). Zo hebben de pompstations Tilburg, Hanik en Zoelen een hogere ijzer- en mangaanconcentratie in het ruwwater. Er zijn geen gegevens van de methaanconcentratie in het ruwwater van pompstation Zoelen in de periode 2006 t/m 2008. In de clusteranalyse is daarom een concentratie van 0 mg l⁻¹ methaan aangenomen. In de REWAB-database is voor de periode 2004 t/m 2008 een eenmalige methaanmeting voor het ruwwater van ps Zoelen gerapporteerd. De methaanconcentratie van die meting was lager dan de methaanconcentratie van het ruwwater van de vier andere pompstations. Doordat de ruwwatersamenstelling van ps Zoelen het meeste lijkt op de ruwwatersamenstelling van ps Tilburg en ps Hanik, zou het mogelijk moeten zijn om de aantallen *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde drinkwater van ps Zoelen te verlagen.

Tabel 5.6 De score volgens de rangschikking beschreven in hoofdstuk 3 en concentraties methaan, ammonium, TOC, ijzer en mangaan van het ruwwater van de grondwaterpompstations van groep 7.

Pompstation	Score	Methaan (mg l ⁻¹)	Ammonium (mg l ⁻¹)	TOC (mg l ⁻¹)	Ijzer (mg l ⁻¹)	Mangaan (mg l ⁻¹)
Tilburg	0	1,2	0,41	2,5	1,4	0,055
Hanik	0	0,78	0,33	2,4	2,1	0,059
Haaren	3	0,68	0,52	2,3	0,49	0,040
Schijndel	5	0,31	0,53	1,9	0,57	0,040
Zoelen	9	0,11 ^a	0,47	2,3	1,4	0,10

^a gebaseerd op een enkele meting in 2005

De jaarproductie, processen in de zuivering en type leidingmateriaal in het leidingnet van de pompstations Zoelen, Tilburg en Hanik zijn met elkaar vergeleken (Tabel 5.7). De jaarproductie van ps Zoelen is niet afwijkend. Het distributiesysteem van ps Zoelen bevat meer PVC dan het distributiesysteem van ps Tilburg of ps Hanik. Onderzoek heeft aangetoond dat PVC de groei van micro-organismen niet bevordert en het hoge percentage PVC in het distributiesysteem verklaart dus niet de relatief hoge aantallen *Aeromonas* en KG22. De zuivering van ps Zoelen bevat echter een enkelvoudige beluchting/filtratie, terwijl de zuivering van de andere twee pompstations bestaat uit tweevoudige beluchting/filtratie (Tabel 5.7). Het verschil in de zuivering verklaart mogelijk het verschil in aantallen KG22 en *Aeromonas* in het distributiesysteem. Het ruwwater van deze drie pompstations bevat zowel ammonium, ijzer en mangaan, stoffen die alle drie tijdens filtratie worden omgezet. Een enkele filtratiestap levert mogelijk voldoende verwijdering om de concentraties ijzer, mangaan onder de detectiegrens te krijgen, maar de nitrificerende micro-organismen groeien waarschijnlijk pas in het onderste deel van het filter. Hierdoor kan relatief veel biomassa uitspoelen naar de reinwaterkelders.

Daarnaast is het bekend dat afgeleverd water met ijzer- en mangaanconcentraties onder de detectielimiet nog steeds veel ijzer- en mangaanafzetting aan de leidingwand kan veroorzaken (van der Wielen & van der Kooij, 2007). Deze afzetting stimuleert mogelijk ook de biofilmvorming en uiteindelijk groei van *Aeromonas*. Met behulp van extra metingen (ATP, biomassa, BPP, BVS en AOC) is te achterhalen of het reinwater van ps Zoelen minder biologisch stabiel is dan het water van ps Tilburg of ps Hanik. Ten slotte is het onduidelijk of de locaties in het voorzieningsgebied die zijn bemonsterd in alle gevallen exclusief gekoppeld zijn geweest met het pompstation. Het is misschien mogelijk dat het drinkwater van het distributiesysteem bij sommige locaties afkomstig is geweest van meerdere pompstations.

Tabel 5.7 Kenmerken van jaarproductie, zuivering en leidingnet bij de pompstations Tilburg, Hanik en Zoelen.

<i>Parameter</i>	<i>Tilburg</i>	<i>Hanik</i>	<i>Zoelen</i>
Jaarproductie	12,9	2,2	3,5
Zuivering			
Proces 1	Sproeibeluchting	Sproeibeluchting	Cascadebeluchting
Proces 2	Zandfilters	Grindfilters	Zandfilters
Proces 3	Sproeibeluchting	Sproeibeluchting	
Proces 4	Zandfilters	Grindfilters	
Leidingnet			
Gietijzer	42%	3%	6%
PVC	44%	4%	83%
AC	14%	93%	11%

5.1.7 Pompstations van groepen drie, acht en negen

De twee pompstations die groeperen in cluster drie hebben een score van 1 en 2 in de rangschikking naar KG22 en *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater, zoals beschreven in hoofdstuk 3. De pompstations die groeperen in cluster acht hebben in die rangschikking een score van 5 of lager en pompstations van groep negen hebben een score van 0. Dit betekent dat in de distributiesystemen van de pompstations van deze clusters de aantallen *Aeromonas* en KG22 relatief laag zijn. Doordat het gedistribueerde drinkwater van deze pompstations geen hoge aantallen KG22 of *Aeromonas* bevat, is het niet nodig om voor deze pompstations de ruwwatersamenstelling, jaarproductie, zuivering en leidingmateriaal in detail te onderzoeken.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

6.1.1 Omvang probleem KG22 en *Aeromonas*

- In het distributiesysteem van vrijwel alle pompstations treedt groei op van *Aeromonas* en heterotrofe bacteriën die worden bepaald met KG22. Overschrijdingen van de wettelijke eis van *Aeromonas* zijn in de periode 2004 tot en met 2007 bij 16 van de 176 voorzieningsgebieden waargenomen. Wettelijke overschrijdingen van de eis van KG22 zijn nergens waargenomen.
- Overschrijdingen van de wettelijke eis van *Aeromonas* in drinkwater in het distributiesysteem treden vaker op in distributiesystemen die worden gevoed met drinkwater bereid uit oppervlaktewater dan uit grondwater;
- De meetfrequentie van *Aeromonas* in voorzieningsgebieden van grondwaterlocaties is over het algemeen (veel) lager dan de meetfrequentie in voorzieningsgebieden van oppervlaktewaterlocaties. Ook worden bij grondwaterlocaties vaker in slechts één seizoen monsters van het voorzieningsgebied geanalyseerd op *Aeromonas*. Hierdoor is het percentage overschrijdingen van de wettelijke eis van *Aeromonas* in het voorzieningsgebied van grondwaterlocaties minder betrouwbaar dan in het voorzieningsgebied van oppervlaktewaterlocaties;
- De locaties met de meeste nagroei in het distributiesysteem, gebaseerd op *Aeromonas*- en KG22-aantallen, zijn Andijk, Weesperkarspel, Bergen, Spannenburg, Nuland, Witharen, Noordbergum, Halsteren, Zoelen, Zutphenseweg en Veghel. Onderzoek naar verbetering van de biologische stabiliteit zou zich dus in eerste instantie moeten richten op deze pompstations;
- De groei van *Aeromonas* in de zuivering is over het algemeen onder controle bij de drinkwaterbedrijven die zijn aangesloten bij het bedrijfstakonderzoek;

6.1.2 Regressieanalyses

- Factoren die verantwoordelijk zijn voor de aantallen *Aeromonas* in het distributiesysteem zijn niet dezelfde factoren die verantwoordelijk zijn voor de *Aeromonas*-aantallen in het reinwater;
- Het relatief sterke verband tussen *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde drinkwater duidt erop dat vergelijkbare factoren de groei van *Aeromonas* en KG22 beïnvloeden in het water van het distributiesysteem;
- De aantallen *Aeromonas* en KG22 in het distributiesysteem laten zich niet verklaren met één fysisch/chemische parameter van het ruwwater, reinwater of gedistribueerd drinkwater;
- De TOC-concentratie van het water heeft een significant effect op de aantallen *Aeromonas* en KG22 van het drinkwater in het distributiesysteem. Hogere TOC-concentraties resulteren in hogere aantallen *Aeromonas* en KG22;
- De *Aeromonas*-aantallen in het leidingnet worden mede beïnvloed door de hoeveelheid gietijzeren leidingen in het net. Des te hoger het percentage gietijzer, des te hoger de aantallen *Aeromonas*.
- Een hogere ammoniumconcentratie in het ruwwater leidt in de regel tot hogere *Aeromonas*-aantallen in het gedistribueerde drinkwater dat is bereid met grondwater;
- Een hogere calciumconcentratie in het reinwater en/of gedistribueerd drinkwater resulteert meestal ook in hogere aantallen *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater dat is bereid met grondwater;

- Een lagere pH van het reinwater en/of gedistribueerd drinkwater resulteert op sommige locaties in lagere aantallen *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde drinkwater dat is bereid met oppervlakte- of grondwater;
- Het 95-percentiel van de drinkwatertemperatuur in het distributiesysteem dat wordt gevoed met gezuiverd oppervlaktewater is significant hoger dan in het distributiesysteem dat wordt gevoed met gezuiverd grondwater. De temperatuur van de grondstof (oppervlaktewater versus grondwater) in de zomerperiode speelt een belangrijke rol in de temperatuur van het drinkwater in het distributiesysteem;
- Voor oppervlaktewaterlocaties geldt dat de temperatuur van het drinkwater in het distributiesysteem één van de fysisch/chemische parameters is die een positieve relatie heeft met de aantallen *Aeromonas* van het gedistribueerde drinkwater. De drinkwatertemperatuur is dus een belangrijke factor in de overschrijdingen van de wettelijke eis van *Aeromonas* in het gedistribueerde drinkwater bij een aantal oppervlaktewaterlocaties.

6.1.3 Ruwwaterkwaliteit grondwater en zuiveringsschema's

- Grondwaterpompstations kunnen worden gegroepeerd op basis van de ruwwatersamenstelling. Verschillen in waterbehandeling bij gegroepeerde pompstations verklaren mogelijk de verschillen in aantallen *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde drinkwater van deze pompstations;
- Het ruwwater van ps Spannenburg heeft een unieke samenstelling op basis van de concentraties methaan, ammonium, TOC, ijzer en mangaan, want de ruwwatersamenstelling groepeerd niet met de ruwwatersamenstelling van de overige geselecteerde pompstations;
- Vergeleken met andere pompstations met een vergelijkbare ruwwatersamenstelling heeft ps Oldeholtspade een lagere score in de rangschikking naar *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde drinkwater. Mogelijk dat de extra zuiveringsstap (ionenwisseling) bij ps Oldeholtspade dit verschil veroorzaakt;
- Op basis van de overeenkomstige ruwwatersamenstelling bij pompstations Halsteren, Hoogeveen, Nietap en Breehei zijn de aantallen *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde drinkwater van ps Halsteren relatief hoog. Het is onduidelijk welke zuiverings- en/of distributiefactoren verantwoordelijk zijn voor de relatief hoge aantallen *Aeromonas* en KG22 in het distributiesysteem van ps Halsteren;
- De lagere aantallen *Aeromonas* en KG22 in het distributiesysteem van ps Assen dan in de distributiesystemen van ps Zutphenseweg en ps Ceintuurbaan wordt mogelijk veroorzaakt doordat de zuivering van ps Assen een beluchtingstap voor in de zuivering heeft staan en/of doordat de filters zand/antraciet bevatten in plaats van zand zoals bij ps Zutphenseweg en ps Ceintuurbaan;
- Door het toepassen van enkelvoudige beluchting/filtratie in de zuivering van ps Zoelen, zijn de aantallen *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde drinkwater mogelijk relatief hoog in vergelijking tot pompstations met vergelijkbare ruwwatersamenstelling die een dubbele beluchting/filtratie toepassen.

6.2 Aanbevelingen

6.2.1 Praktijk

- Het meetprogramma van *Aeromonas* optimaliseren bij grondwaterpompstations waar relatief hoge aantallen *Aeromonas* worden verwacht:
 - De meetfrequentie van *Aeromonas* in het voorzieningsgebied en reinwater evenredig verdelen over het jaar, zodat de aantallen *Aeromonas* in elk seizoen worden bepaald;

- In distributiesystemen met relatief hoge *Aeromonas*-aantallen (95-percentiel > 300 kve 100 ml⁻¹) het reinwater en drinkwater in het distributiesysteem tweewekelijks bemonsteren op een tiental locaties;
 - In distributiesystemen met relatief hoge *Aeromonas*-aantallen (95-percentiel > 300 kve 100 ml⁻¹) 10 ml in plaats van 100 ml volume inzetten op *Aeromonas*, zodat de aantallen kunnen worden gerapporteerd (in plaats van > 300 kve 100 ml⁻¹);
 - De aantallen *Aeromonas* in het reinwater en drinkwater van het distributiesysteem bepalen bij de productielocaties van VMW en Pidpa en deze Vlaamse locaties vervolgens toevoegen aan de rangschikking;
- Het geometrisch jaargemiddelde van KG22 rapporteren in de REWAB-database;
 - Het geometrisch jaargemiddelde van *Aeromonas* rapporteren in de REWAB-database;
 - Het optreden van nagroei in het distributiesysteem beter monitoren door naast *Aeromonas* en KG22 ook ATP te meten in het reinwater en drinkwater in het distributiesysteem. ATP is hierbij een maat voor de hoeveelheid actieve biomassa;
 - De ruwwatersamenstelling van eventuele nieuwe grondwaterlocaties groeperen met de al bestaande grondwaterlocaties, zodat informatie wordt verkregen over de te verwachten nagroei in het distributiesysteem en over de eventuele toe te passen zuiveringsprocessen om water te produceren dat een lage mate van nagroei heeft.

6.2.2 Onderzoek

- De oorzaken van de nagroei bij pompstations Andijk, Weesperkarspel, Bergen, Spannenburg, Nuland, Witharen, Noordbergum, Halsteren, Zoelen, Zutphenseweg en Veghel achterhalen door aanvullend onderzoek, zodat aanbevelingen kunnen worden gedaan om de mate van nagroei in het distributiesysteem te verlagen;
- Proces- en distributietechnologen kunnen de zuivering en distributie van pompstations die samen clusteren op basis van de ruwwatersamenstelling in meer detail met elkaar vergelijken. Met een dergelijke inventarisatie worden mogelijke factoren gevonden die de verschillen verklaren in aantallen *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde water van bij elkaar gegroepeerde pompstations.
- Het effect bestuderen van gietijzeren leidingen op de mate van nagroei/biologische stabiliteit van het gedistribueerde drinkwater;
- De rol ophelderden van calcium en pH in reinwater of gedistribueerd drinkwater op de aantallen *Aeromonas* en KG22 in het gedistribueerde drinkwater, waarbij in een eerste stap onderzocht kan worden wat het effect van ontharding is op de biologische stabiliteit van het afgeleverde water;
- Aanvullend onderzoek uitvoeren naar de verwijdering van TOC (door bijvoorbeeld ionenwisseling) op de mate van nagroei en biologische stabiliteit van drinkwater in het distributiesysteem;
- Aanvullend onderzoek uitvoeren naar de optimale verwijdering van methaan, ammonium, ijzer en mangaan in de klassieke zuivering bij de grondwaterproductielocaties;
- De inventarisatie naar nagroei in het leidingnet verder uitbreiden met gegevens over dierlijke organismen.
- De clusteranalyses uitbreiden met gegevens van meer grondwaterpompstations en vergelijkbare clusteranalyses uitvoeren met de gegevens van oppervlaktewaterlocaties.

7 Referenties

- Baggelaar, P. K., Y. C. Drost, G. Nauta & D. van der Kooij. 1992. Landelijk overzicht van *Aeromonas* bacteriën in drinkwater. In: *Aeromonas* in drinkwater. Vóórkomen, bestrijding, betekenis, D. van der Kooij (eds), pp 14-26.
- Camper, A.K., W.L. Jones & J.T. Hayes. 1996. Effect of growth conditions and substratum composition on the persistence of coliforms in mixed-population biofilms. *Applied and Environmental Microbiology* 62:4014-4018.
- Delahaye, E., B. Welté, Y. Levi, G. Leblon, A. Montiel. 2003. An ATP-based method for monitoring the microbiological drinking water quality in a distribution network. *Water Research* 37:3689-3696.
- Hiemstra, P. 1992. Ervaringen met *Aeromonas* bacteriën in drinkwater bereid uit grondwater. In: *Aeromonas* in drinkwater. Vóórkomen, bestrijding, betekenis, D. van der Kooij (eds), pp 27-39.
- Hijnen, W. A. M. & G. K. Reijnen. 1992. Groei van *Aeromonas* in filters gevoed met methaan- en ammoniumhoudend grondwater. In: *Aeromonas* in drinkwater. Vóórkomen, bestrijding, betekenis, D. van der Kooij (eds), pp 40-51.
- Schippers, D. & P. Sjoerdsma. 2007. Kwaliteitsverbetering op meerdere fronten door ontkeuring via ionenwisseling. *H2O* 20:38-40.
- van der Kooij, D. & W. A. M. Hijnen. 1988. Nutritional versatility and growth kinetics of an *Aeromonas hydrophila* strain isolated from drinking water. *Applied and Environmental Microbiology* 54:2842-2851.
- van der Kooij, D. 1992. Mogelijkheden en maatregelen voor het beperken van het aantal *Aeromonas* bacteriën in drinkwater. In: *Aeromonas* in drinkwater. Vóórkomen, bestrijding, betekenis, D. van der Kooij (eds), pp 68-83.
- van der Kooij, D. 1992a. *Aeromonas* in drinkwater. Vóórkomen, bestrijding, betekenis. 106 pagina's. Kiwa N.V., Nieuwegein, Nederland.
- van der Kooij, D. 1992b. Assimilable organic carbon as an indicator of bacterial regrowth. *Journal AWWA* 84:57-65.
- van der Wielen, P. W. J. J. & D. van der Kooij. 2007. Effect van de zuivering op de biologische stabiliteit van het drinkwater van ps Nuland. KWR 07.096, Kiwa Water Research, Nieuwegein, Nederland.
- van der Wielen, P. W. J. J. 2009. Validatie en toepasbaarheid van meervoudige regressiemodellen voor het voorspellen van de bacteriologische waterkwaliteit op de zwemwaterlocaties bij Katwijk. KWR 09.030, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, Nederland.
- van der Wielen, P. W. J. J. 2009. Invloed van watersamenstelling, afstand en seizoen op het ATP-gehalte in water en in sediment uit het leidingnet van zes pompstations. BTO 2009.044. KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, Nederland.

I Bijlage I

Tabel I.1 De voorzieningsgebieden die in REWAB zijn opgenomen met de grondstof (Gr) gespecificeerd (G=grondwater en O=opperolaktewater) en het geometrisch gemiddelde van KG22 en Aeromonas in het gedistribueerde drinkwater en de totale score van het voorzieningsgebied in de rangschikking.

Waterleidingbedrijf	Voorzieningsgebied	Gr	KG22	Aeromonas	Score
N.V. Waterleidingbedrijf Groningen	Nietap	G	13,4	24,8	6
N.V. Waterleidingbedrijf Groningen	Onnen/De Groeve	G	8,6	4,8	3
N.V. Waterleidingbedrijf Groningen	Sellingen	G	8,4	13,3	3
N.V. Waterleidingbedrijf Groningen	De Punt/Haren	G,O	8,6	39,0	8
N.V. Waterleidingmaatsch, Drenthe	Noord	G	3,6	1,0	1
N.V. Waterleidingmaatsch, Drenthe	West	G	4,9	1,7	1
N.V. Waterleidingmaatsch, Drenthe	Zuid-West	G	20,1	64,0	6
N.V. Waterleidingmaatsch, Drenthe	Zuid-Oost	G	3,5	1,0	1
N.V. Waterleidingmaatsch, Drenthe	Zuid	G	4,0	1,0	1
Vitens Fryslan	Noordbergum	G	3,4	152,5	9
Vitens Fryslan	Spannenburg	G	15,2	231,5	12
Vitens Fryslan	Oldeholtjade	G	11,1	142,1	7
Vitens Fryslan	Terwisscha	G	4,1	80,0	3
Vitens Fryslan	Vlieland	G	7,1	254,0	6
Vitens Fryslan	Terschelling	G	21,1	207,0	8
Vitens Fryslan	Hollum	G	7,1	86,6	4
Vitens Fryslan	Buren	G	10,2	98,4	6
Vitens Fryslan	Schiermonnikoog	G	5,2	18,1	3
Vitens Overijssel	Archemerberg	G	5,0	17,3	2
Vitens Overijssel	Brucht	G	7,5	49,2	4
Vitens Overijssel	Diepenveen	G	3,7	43,3	3
Vitens Overijssel	Engelse Werk	G	3,2	20,2	2
Vitens Overijssel	Espelo(sebroek)	G	2,5	6,6	1
Vitens Overijssel	Goor	G	2,5	1,0	0
Vitens Overijssel	Havelterberg	G	2,9	5,7	1
Vitens Overijssel	Herikerberg	G	2,9	6,1	1
Vitens Overijssel	Hoge Heksel	G	1,7	1,0	0
Vitens Overijssel	Manderveen	G	2,5	1,7	0
Vitens Overijssel	Nijverdal	G	2,2	1,0	0
Vitens Overijssel	Sint Jansklooster	G	7,7	110,9	5
Vitens Overijssel	Weerselo	G	2,6	2,1	0
Vitens Overijssel	Witharen	G	12,9	42,6	10
Vitens Overijssel	Kampen	G	1,4	1,7	0
Vitens Overijssel	Ceintuurbaan	G	8,5	166,8	6
Vitens Overijssel	Zutphenseweg	G	6,6	118,2	9
Vitens Overijssel	Wierden	G	2,0	1,0	0
Vitens Overijssel	Weerseloseweg	G	4,3	23,1	3
Vitens Overijssel	Hasselo	G	5,1	4,0	2
Vitens Overijssel	Rodenmors	G	2,4	3,7	0
Vitens Gelderland	Corle	G	2,7	1,8	0
Vitens Gelderland	De Pol	G	2,2	1,6	0
Vitens Gelderland	Van Heek	G	2,2	1,0	0
Vitens Gelderland	Harfsen	G	4,4	37,1	3
Vitens Gelderland	Vorden	G	2,7	10,0	1
Vitens Gelderland	Olden Eibergen	G	1,2	1,0	0
Vitens Gelderland	't Klooster	G	1,3	1,0	0
Vitens Gelderland	Gorsseel	G	6,4	41,7	4
Vitens Gelderland	Aalten	G	2,1	1,0	0

<i>Waterleidingbedrijf</i>	<i>Voorzieningsgebied</i>	<i>Gr</i>	<i>KG22</i>	<i>Aeromonas</i>	<i>Score</i>
Vitens Gelderland	Dinxperlo	G	2,5	1,0	0
Vitens Gelderland	Lochem	G	1,4	1,6	0
Vitens Gelderland	Noordijkerveld	G	1,4	4,0	0
Vitens Gelderland	Tolkamer	G	2,0	1,0	0
Vitens Gelderland	Varsseveld	G	1,9	1,2	0
Vitens Gelderland	Zutphen	G	3,2	16,2	2
Vitens Gelderland	Aalten/Corle	G	2,0	1,0	0
Vitens Gelderland	Vorden/Lochem	G	1,0	2,0	0
Vitens Gelderland	Eibergen/Noordijk	G	1,0	1,0	0
Vitens Gelderland	Dinxperlo/BEW	G	2,0	1,0	0
Vitens Gelderland	Hengelo/Harfsen/Gorssel	G	2,0	20,0	1
Vitens Gelderland	De Pol/Varsseveld	G	3,0	1,0	0
Vitens Gelderland	Bemmel	G	2,9	3,4	0
Vitens Gelderland	Culemborg	G	8,6	117,0	6
Vitens Gelderland	Eerbeek	G	3,5	3,1	1
Vitens Gelderland	Twello	G	3,4	24,4	3
Vitens Gelderland	Boele	G	1,7	2,7	0
Vitens Gelderland	Elburg	G	1,2	1,0	0
Vitens Gelderland	Bijsterhuizen	G	2,0	1,0	0
Vitens Gelderland	De Haere	G	2,7	1,0	0
Vitens Gelderland	Harderwijk 2	G	2,0	2,2	0
Vitens Gelderland	Holk	G	2,8	1,6	0
Vitens Gelderland	De Muntberg	G	1,8	1,0	0
Vitens Gelderland	Putten	G	3,4	1,3	1
Vitens Gelderland	Uddel	G	8,0	1,0	2
Vitens Gelderland	Speuld	G	3,1	1,0	1
Vitens Gelderland	Putten/Uddel	G	2,0	1,0	0
Vitens Gelderland	Fikkersdries/Bemmel/ Bijsterhuizen	G	2,0	17,0	1
Vitens Gelderland	Epe	G	1,7	2,4	0
Vitens Gelderland	Velddriel	G	3,7	28,7	3
Vitens Gelderland	Kolff	G	4,9	126,7	5
Vitens Gelderland	Zoelen	G	5,0	194,0	9
Vitens Gelderland	Fikkersdries	G	2,4	36,8	2
Vitens Gelderland	Druten	G	3,9	22,5	2
Vitens Gelderland	Heumensoord	G	1,2	1,2	0
Vitens Gelderland	Nieuwe Marktstraat	G	1,2	1,0	0
Vitens Gelderland	Ubbergseweg	G	3,0	1,0	0
Vitens Gelderland	Berg en Dal	G	4,0	4,0	1
Vitens Gelderland	Heilige Landstichting	G	5,0	1,0	1
Vitens Gelderland	Bospad	G	3,0	6,0	1
Vitens Gelderland	Heumensoord (2007)	G	1,0	1,0	0
Vitens Gelderland	Schalterberg	G	1,6	1,0	0
Vitens Gelderland	Hoenderloo	G	1,4	1,0	0
Vitens Gelderland	Pinkenberg	G	3,0	1,0	0
Vitens Gelderland	Wageningen	G	1,8	1,6	0
Vitens Gelderland	Oosterbeek	G	1,6	1,0	0
Vitens Gelderland	Amersfoortseweg	G	1,9	1,0	0
Vitens Gelderland	Edesebos	G	2,0	1,0	0
Vitens Gelderland	La Cabine	G	2,5	1,0	0
Vitens Gelderland	Symons	G	3,1	1,0	1
Vitens Gelderland	Veerweg	G	3,0	1,0	0
Vitens Gelderland	La Cabine + Veerweg	G	2,0	1,0	0

<i>Waterleidingbedrijf</i>	<i>Voorzieningsgebied</i>	<i>Gr</i>	<i>KG22</i>	<i>Aeromonas</i>	<i>Score</i>
Vitens Midden-Nederland	Woudenberg	G	2,1	10,5	1
Vitens Midden-Nederland	Veenendaal	G	4,9	10,3	2
Vitens Midden-Nederland	Leersum	G	1,7	10,0	1
Vitens Midden-Nederland	Cothen	G	6,8	12,9	3
Vitens Midden-Nederland	Tull en 't Waal	G	4,1	13,8	2
Vitens Midden-Nederland	Bunnik	G	5,8	12,9	3
Vitens Midden-Nederland	Lopik	G	7,7	104,0	5
Vitens Midden-Nederland	Linschoten	G	9,3	82,4	5
Vitens Midden-Nederland	De Meern	G	9,3	30,5	5
Vitens Midden-Nederland	Driebergen	G	1,5	10,0	1
Vitens Midden-Nederland	Zeist	G	1,5	10,0	1
Vitens Midden-Nederland	Bilthoven	G	2,0	10,0	1
Vitens Midden-Nederland	Groenekan	G	2,1	16,3	1
Vitens Midden-Nederland	Soestduinen	G	2,9	10,0	1
Vitens Midden-Nederland	Loosdrecht	G	2,8	10,0	1
Vitens Midden-Nederland	Baarn	G	5,9	10,0	3
Vitens Midden-Nederland	Laren	G	2,7	10,0	1
Vitens Midden-Nederland	Rhenen	G	3,8	10,0	2
Vitens Midden-Nederland	Amersfoort	G	3,3	10,0	2
Vitens Midden-Nederland	Nieuwegein	G	4,7	10,0	2
Vitens Midden-Nederland	(Stad) Utrecht	G	3,5	14,1	2
Vitens Flevoland	Aquaterp	G	1,1	10,0	1
Vitens Flevoland	Westerterp	G	1,3	10,0	1
Vitens Flevoland	Fledite	G	2,4	10,0	1
Vitens Flevoland	Almere	G	2,0	10,0	1
Vitens Flevoland	Oostelijk Flevoland	G	2,2	10,0	1
Vitens Flevoland	Buiterterp	G	1,2	10,0	1
N.V. Bronwaterleiding Doorn	Doorn	G	3,8	3,1	1
PWN	Andijk	O	15,1	252,2	12
PWN	Bergen	O	7,4	104,2	9
PWN	Heemskerk	O	5,3	54,9	8
PWN	Laarderhoogt	G	8,0	42,5	4
PWN	Hoofddorp	O	5,0	22,4	2
Waternet	Amsterdam	O	6,4	99,0	9
Dunea	Dunea-Zuid	O	6,5	31,7	7
Dunea	Dunea-Noord	O	3,5	12,8	2
Evides	Berenplaat	O	9,2	61,6	8
Evides	Kralingen	O	9,6	42,0	8
Evides	Baanhoek	O	19,3	23,9	6
Evides	Goeree-Overflakkee	O	4,2	4,1	1
Evides	Schouwen-Duivenland	O	6,6	1,0	2
Evides	Tholen/Halsteren	G	11,2	91,4	9
Evides	Midden-Zeeland	G	4,0	3,9	1
Evides	Oost-Zeeuwsch-Vlaanderen	G	2,4	1,0	0
Evides	West-Zeeuwsch-Vlaanderen	O	4,3	4,1	1
Brabant Water N.V.	Tilburg	G	3,0	4,6	0
Brabant Water N.V.	Distributiegebied Oost	G	5,7	109,6	8
Brabant Water N.V.	Distributiegebied West	G	3,1	7,9	2

<i>Waterleidingbedrijf</i>	<i>Voorzieningsgebied</i>	<i>Gr</i>	<i>KG22</i>	<i>Aeromonas</i>	<i>Score</i>
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Plasmolen	G	4,6	1,1	1
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Groote Heide/Heel	G	3,9	2,0	1
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Bergen/Hanik	G	2,9	1,1	0
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Grubbenvorst	G	3,9	11,1	2
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Breehei/Heel	G	15,1	67,3	6
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Californie/Heel	G	7,4	18,4	3
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Helden (WPH)	G	2,2	2,4	0
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Ospel/Heel	G	2,4	25,7	2
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Beegden/Heel	G	6,1	70,2	4
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Tegelen	G	6,9	2,8	2
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Pey-Echt	G	2,0	1,8	0
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Susteren/Roosteren	G	2,0	1,0	0
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Hunsel	G	4,1	23,0	2
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Schinveld	G	1,3	2,8	0
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Asselt/Herkenbosch/ Herten/Heel	G	2,9	1,5	0
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	OPB de Beitel	G	2,5	4,6	0
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Hoogveld/Susteren/ Roosteren	G	2,6	5,4	1
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Ijzeren Kuilen	G	1,9	1,0	0
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Borgharen/Caberg/De Tombe	G	2,3	12,6	1
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Susteren/Hoogveld/ Ijzeren Kuilen	G	2,4	2,0	0
NV, Waterleiding Maatsch. Limburg	Ijzeren Kuilen/Susteren/ Roosteren	G	2,2	3,6	0
Vitens Gelderland	Ellecom	G	1,4	2,9	0
Vitens Gelderland	Duiven/Zevenaar	G	1,6	1,0	0
Vitens Gelderland	Wehl	G	1,6	1,0	0
Vitens Gelderland	Ellecom, Duiven/ Zevenaar, Wehl	G	2,0	1,0	0

Tabel I.2 De voorzieningsgebieden van Pidpa en VMW, de gebruikte grondstof, het geometrisch gemiddelde van KG22 in het voorzieningsgebied, de score voor het geometrisch gemiddelde van KG22 en het geometrisch gemiddelde van *Aeromonas* bij de watertorens in de voorzieningsgebieden van Pidpa.

Waterleidingbedrijf	Voorzieningsgebied	Grondstof	KG22	Score KG22	<i>Aeromonas</i>
Pidpa	Westerlo	Grondwater	11,2	3	0,9
Pidpa	Schoten	Grondwater	18,5	4	17,3
Pidpa	Rumst	Grondwater	12,7	4	1,0
Pidpa	Oud-Turnhout	Grondwater	5,7	2	1,0
Pidpa	Merksplas	Grondwater	8,8	3	6,0
Pidpa	Mol	Grondwater	5,3	2	1,0
Pidpa	Kapellen	Grondwater	9,8	3	4,6
Pidpa	Hoogstraten	Grondwater	11,6	4	1,0
Pidpa	Herentals	Grondwater	8,8	3	1,0
Pidpa	Grobbendonk	Grondwater	12,9	4	2,7
Pidpa	Essen	Grondwater	12,6	4	1,0
Pidpa	Brasschaat	Grondwater	13,8	4	1,0
Pidpa	Balen	Grondwater	7,6	2	1,0
VMW	Kluizen	Oppervlaktewater	2,6	0	-
VMW	Gavers	Oppervlaktewater	1,7	0	-
VMW	Blankaart	Oppervlaktewater	3,3	1	-
VMW	Zele	Grondwater	1,0	0	-
VMW	St, Leger	Grondwater	0,6	0	-

II Bijlage II

Tabel II.1 De score in de rangschikking naar KG22 en *Aeromonas* zoals beschreven in hoofdstuk 3 van de 50 pompstations waarvan de waterleidingbedrijven aanvullende gegevens hebben gestuurd over de periode 2006 t/m 2008.

<i>Pompstation</i>	<i>Score</i>	<i>Grondstof</i>	<i>Pompstation</i>	<i>Score</i>	<i>Grondstof</i>
Andijk	12	O	St, Jans klooster	5	G
Spannenburg	12	G	Kolff	5	G
Nuland	11	G	Schijndel	5	G
Witharen	10	G	De Meern	5	G
Bergen	9	O	Laarderhoogt	4	G
Weesperkarspel ^a	9	O	Haaren	3	G
Leiduin ^a	9	O	Katwijk	2	O
Zutphenseweg	9	G	Fikkersdries	2	G
Noordbergum	9	G	Tull en 't Waal	2	G
Zoelen	9	G	Grubbenvorst	2	G
Halsteren	9	G	Fledite	1	G
Veghel	9	G	Symons	1	G
Heemskerk	8	O	Kruidhaars	1	G
Zuidwolde	8	G	Assen	1	G
Berenplaat	8	O	Braakman	0	O
Kralingen	8	O	Elburg	0	G
De Punt	8	O	De Haere	0	G
Oldeholtspade	7	G	Pinkenbergh	0	G
Scheveningen	7	O	Amersfoortseweg	0	G
Ceintuurbaan	6	G	't Klooster	0	G
Hoogeveen	6	G	Tilburg	0	G
Vlieland	6	G	Luyksgestel	0	G
Nietap	6	G	Hanik	0	G
Breehei	6	G	IJzeren Kuilen	0	G
Baanhoek	6	O	Susteren	0	G

^a In de rangschikking naar score is het voorzieningsgebied van Amsterdam opgenomen. Dit voorzieningsgebied wordt gevoed met water van ps Weesperkarspel en ps Leiduin. Uit eerder onderzoek is bekend dat de hoge score voornamelijk wordt veroorzaakt door het gedistribueerde drinkwater van ps Weesperkarspel

