



Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu

*Ministerie van Volksgezondheid,  
Welzijn en Sport*

## **Zuiveringsefficiëntie van de ultrafiltratie-installatie te Glanerbrug**

*Gezondheidseffecten van hergebruik  
UF-permeaat*

RIVM rapport 330204006/2012

S.A. Rutjes | H.H.J.L. van den Berg |

J.F. Schijven | A. M. de Roda Husman



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

## **Zuiveringsefficiëntie van de ultrafiltratie-installatie te Glanerbrug**

Gezondheidseffecten van hergebruik UF-permeaat

RIVM Rapport 330204006/2012

## Colofon

© RIVM 2012

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

S.A. Rutjes  
H.H.J.L. Berg  
J.F. Schijven  
A.M. de Roda Husman

Contact:  
Saskia Rutjes  
Laboratorium voor Zoönosen en Omgevingsmicrobiologie  
[saskia.rutjes@rivm.nl](mailto:saskia.rutjes@rivm.nl)

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Waterschap Regge en Dinkel, in het kader van Monitoring UF-installatie (MegaBlock Pentair X-Flow (MGB)) en vijvers van De Eschmarke.

## Rapport in het kort

### **Zuiveringsefficiëntie van de ultrafiltratie-installatie te Glanerbrug**

Gezondheidseffecten van hergebruik Ultrafiltratie (UF)-permeaat

Ultrafiltratie (UF) is een techniek waarmee micro-organismen met behulp van zeer fijnmazige filters uit water kunnen worden verwijderd. Door ultrafiltratie op te nemen als onderdeel van een afvalwaterzuivering worden de aantallen virussen en bacteriën in afvalwater tenminste een miljoen keer verlaagd. Dit blijkt uit onderzoek van het RIVM dat in opdracht van het waterschap Regge en Dinkel en producent Pentair X-flow is uitgevoerd.

### **Schoner afvalwater na ultrafiltratie**

In dit onderzoek zijn de aantallen virussen en bacteriën in ongezuiverd afvalwater vergeleken met het afvalwater van de rioolwaterzuiveringsinstallaties te Glanerbrug en Hengelo dat met een UF-filter is behandeld. In het behandelde afvalwater (UF-permeaat) zijn lage aantallen bacteriën aangetroffen en konden ziekteverwekkende virussen niet meer worden aangetoond.

### **Lozing UF-permeaat geen nadelige gezondheidseffecten**

Vervolgens is onderzocht of een eventuele lozing van het UF-permeaat op het water van de nabijgelegen Voskampvijver (Enschede) gezondheidseffecten veroorzaakt voor kinderen die daarin zwemmen. Deze effecten zijn geschat op basis van de concentraties virussen en bacteriën in het UF-permeaat en in de Voskampvijver. De risico's blijken afhankelijk te zijn van het type micro-organisme. Het risico op een infectie door een blootstelling aan entero- en rotavirussen in de vijver, al dan niet aangevuld met UF-permeaat, is zeer klein. Het risico op een infectie door de *Campylobacter*-bacterie is echter hoog vanwege de hoge aantallen *Campylobacter* in de Voskampvijver. Deze bacteriën zijn waarschijnlijk afkomstig van uitwerpselen van vogels en staan dus los van de kwaliteit van het UF-permeaat. Op basis van het risico op infectie met *Campylobacter* wordt zwemmen afgeraden.

Trefwoorden: UF, permeaat, virussen, bacteriën, parasieten, gezondheidseffecten, zwemmen



## Abstract

### **Treatment efficiency of the ultrafiltration plant at Glanerbrug**

Effects of the reuse of ultrafiltration (UF) permeate on human health

Ultrafiltration (UF) is a filtration technique in which a liquid is forced through a semipermeable membrane with a very small pore size in order to remove suspended particles, including micro-organisms. When used as part of a wastewater treatment system, UF reduces the concentrations of viruses and bacteria in wastewater by at least one million-fold. This is the conclusion of a study commissioned by the Regge en Dinkel Water Board and conducted by the RIVM.

### **Cleaner wastewater by UF**

In this study, the concentrations of viruses and bacteria in untreated and UF-treated wastewater of the wastewater treatment plants at Glanerbrug and Hengelo were compared. In the UF-treated wastewater (permeate), only low concentrations of bacteria were detected, and pathogenic viruses were not be detected at all.

### **Discharge of UF-treated wastewater has no adverse effects on human health**

The health effects of an eventual discharge of UF-treated wastewater from the treatment plants into a nearby pond (Voskampvijver; Enschede) were estimated by determining the concentrations of viruses and bacteria in both the UF-treated wastewater and the pond water. Depending on the type of micro-organism, the potential health risks to a child swimming in the pond, recharged or not with UF-treated wastewater, varied from very low to high. The risk of infection due to exposure to enteroviruses or rotaviruses is estimated to be very low. However, due to the presence of high numbers of *Campylobacter* bacteria in the Voskampvijver, probably originating from bird droppings, the infection risk from exposure to *Campylobacter* is high. Therefore, swimming in the pond should be discouraged because of the risk of infection due to *Campylobacter*.

Keywords:

UF, permeate, viruses, bacteria, parasites, health effects, swimming



## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding—9</b>
1.1	Pathogene micro-organismen—9
1.1.1	Humaan pathogene virussen—10
1.1.2	Pathogene bacteriën—10
1.1.3	Pathogene protozoa—11
1.2	Indicatoren—11
1.3	Infectierisico's—11
1.4	Doel van het onderzoek—12
<b>2</b>	<b>Materiaal en methoden—13</b>
2.1	Locatie en bemonstering—13
2.2	Detectie van bacteriofagen en virussen—14
2.3	Detectie van bacteriën—14
2.4	Detectie van parasitaire protozoa—14
2.5	Kwantitatieve microbiologische risicoschattingen (QMRA)—14
2.5.1	QMRA—14
2.5.2	Mathematica—15
2.5.3	Concentratieberekeningen—15
2.5.4	Afvalwaterzuiveringsefficiëntie—15
2.5.5	Blootstelling—16
2.5.6	Infectierisico—16
<b>3</b>	<b>Resultaten—17</b>
3.1	Algemeen—17
3.2	Geschatte concentraties pathogenen en indicatororganismen—17
3.3	Efficiëntie van afvalwaterzuivering, conventioneel en door UF—19
3.4	Berekende pathogeenconcentraties in UF-permeaat—20
3.5	Blootstelling door kinderen—21
3.6	Infectierisico per zwembezoek—21
<b>4</b>	<b>Discussie—23</b>
	<b>Referenties—25</b>
	<b>Bijlage—27</b>
	Histogrammen—27
	Ruwe data—45





# 1 Inleiding

In afvalwater komen zowel ziekteverwekkende (pathogene) als niet-ziekteverwekkende micro-organismen voor, die grotendeels door mensen en dieren direct of indirect in dit afvalwater zijn uitgescheiden. Door afvalwaterzuivering worden de aantallen micro-organismen (virussen, bacteriën en protozoa) in het afvalwater gereduceerd. In welke mate is afhankelijk van de zuiveringsefficiëntie van de toegepaste processen. Het gezuiverde afvalwater wordt geloosd op oppervlaktewater, waardoor het deel van de ziekteverwekkende micro-organismen dat door de zuivering niet is verwijderd in het oppervlaktewater terecht zal komen. Wanneer dit oppervlaktewater gebruikt wordt voor recreatie kan dit een risico vormen voor de volksgezondheid, omdat mensen kunnen worden blootgesteld aan ziekteverwekkende micro-organismen in dit water door recreatie.

Voor de zuivering van afvalwater wordt veelal gebruik gemaakt van de zogenoemde traditionele rioolwaterzuiveringsprocessen, bestaande uit een primaire voorbehandeling om grotere resten te verwijderen en toevoeging van actief slib met beluchting en sedimentatie, de zogenaamde secundaire zuivering. Voor verdere zuivering van het effluent van een afvalwaterzuivering kunnen verschillende methoden worden toegepast, zoals zandfiltratie of een desinfectiebehandeling met chloor, ozon of ultraviolet licht (Jacangelo et al., 2003; Savoye et al., 2001). Deze methoden worden ook wel tertiaire zuiveringsprocessen genoemd.

Een relatief nieuwe manier waarop afvalwater gezuiverd kan worden is met behulp van membraanfiltratie in een membraanbioreactor (MBR) (Van Nieuwenhuijzen et al., 2008). De ultrafiltratie (UF)-installatie in Glanerbrug wordt niet in een normale MBR-configuratie bedreven, maar als een conventionele zuivering met een daarnaast geschakelde UF-installatie. De zuiveringsprocessen vinden plaats in de conventionele installatie, waarna tijdens DWA (droogweerafvoer) de volledige aanvoer door de UF-installatie wordt behandeld (slib/waterscheiding). Bij RWA (regenwaterafvoer) nemen de nabezinktanks het deel dat niet door de UF-installatie behandeld kan worden automatisch over. In de UF-installatie wordt actief slib uit de conventionele installatie via zeefbochten naar een voedingstank geleid. Deze voedingstank wordt als indiktank voor het actief slib gebruikt. Het actief slib wordt vervolgens door verticaal opgestelde membraan modules geleid, waarmee permeaat onttrokken wordt. Slibdelen en micro-organismen groter dan de poriën van de membranen blijven achter. Het permeaat kan worden hergebruikt.

## 1.1 Pathogene micro-organismen

Pathogene micro-organismen zijn van belang voor de volksgezondheid, omdat ze bij de mens ziekte kunnen veroorzaken. Deze micro-organismen zijn onder te verdelen in bacteriën, virussen en parasieten (Tabel 1).

Tabel 1 Belangrijke wateroverdraagbare ziekteverwekkende micro-organismen

Soort micro-organisme	Ziekteverwekker	Klacht/symptoom
Virussen (20– 200 nm)	Enterovirussen, norovirussen, hepatitis A- en E virussen	Maagdarmklachten (misselijkheid, braken, diarree), maar ook ernstiger klachten, zoals leverontsteking
Bacteriën (1000 –3000 nm)	<i>Salmonella</i> <i>Campylobacter</i> <i>Escherichia coli</i> O157:H7	Voornamelijk maagdarmklachten
Protozoa (5000 – 10.000 nm)	<i>Cryptosporidium</i> <i>Giardia</i>	Voornamelijk maagdarmklachten

### 1.1.1 *Humaan pathogene virussen*

De belangrijkste fecaal-oraal overdraagbare, en dus potentieel voedsel- en wateroverdraagbare, pathogene virussen zijn norovirus, rotavirus, enterovirus, astrovirus, de humane adenovirussen en hepatitis A- en E virus, waarvan norovirus in Nederland de grootste veroorzaker is van gastro-enteritis (Carter, 2005). Het merendeel van de humane enterale virussen veroorzaakt symptomen van gastro-enteritis. Wateroverdraagbare entero- en reovirussen kunnen ook ernstigere klachten veroorzaken waaronder hersenvliesontsteking (Hauri et al., 2005; Johansson et al., 1996). De enterale hepatitis A of E virussen veroorzaken geelzucht (Koff, 1998), terwijl de poliovirustypen 1 tot en met 3 kinderverlamming kunnen veroorzaken, hoewel wild-type poliovirus in Nederland niet meer voorkomt (Pöyry et al., 1988). Een infectie met adenovirussen kan leiden tot gastro-enteritis, maar kan ook oog- of oorontstekingen veroorzaken (Russell, 1991).

Deze enterale virussen worden in hoge concentraties uitgescheiden in feces. Ze zijn over het algemeen bestand tegen passage door de maag en kunnen overleven buiten het lichaam, vooral wanneer ze zich bij lage temperaturen en luchtvochtigheid bevinden. Omdat virussen alleen kunnen repliceren in een gastheer zullen ze zich in het water niet vermenigvuldigen maar kunnen wel via besmet water worden overgedragen.

### 1.1.2 *Pathogene bacteriën*

Voorbeelden van wateroverdraagbare pathogene bacteriën, die zowel bij mens en dier voorkomen, zijn *Campylobacter*, *Escherichia coli* (*E. coli*) O157 en *Salmonella*.

*Campylobacter* spp. zijn bacteriën die in verschillende milieus aanwezig kunnen zijn. Deze bacteriën zijn frequent geïsoleerd uit oppervlaktewater, zoals rivier- en kanaalwater, maar ook sporadisch uit drinkwater (Schijven, 2003). Een infectie met *Campylobacter* kan bij de mens acute gastro-enteritis veroorzaken, zoals diarree, braken en koorts, maar in een klein aantal gevallen ook het Guillain-Barré syndroom (Butzler, 2004).

Een infectie met *E. coli* O157 kan zonder klachten verlopen, maar kan ook diarree tot gevolg hebben. Diarree veroorzaakt door *E. coli* O157 kan variëren van mild tot extreem bloederig (hemorrhagische colitis). De ziekte kan zich tot veertien dagen na de gastro-enteritis in een klein aantal gevallen ontwikkelen tot een hemolytisch uremisch syndroom (HUS), soms met fatale gevolgen en vaak resulterend in tijdelijke of onherstelbare nierinsufficiëntie. *E. coli* O157 is in staat om vrij lang te overleven in water, in het bijzonder bij lage temperaturen. In Nederland zijn bij 3% van de eigen grondwaterwinningen *E. coli* O157-bacteriën aangetroffen, terwijl de normen in het Nederlandse Waterleidingsbesluit niet werden overschreden (Schets et al., 2005).

*Salmonella* kan bij de mens acute gastro-enteritis veroorzaken. De overleving van *Salmonella*-bacteriën in water hangt af van bepaalde eigenschappen van het water, zoals troebelheid en temperatuur; sedimenten aanwezig in het water kunnen deze bacteriën beschermen tegen allerlei invloeden vanuit de omgeving en kunnen een reservoir vormen van nutriënten die bacteriegroei stimuleren (Burton et al., 1987).

### 1.1.3 Pathogene protozoa

*Cryptosporidium* en *Giardia* zijn via water overdraagbare parasitaire veroorzakers van gastro-enteritis bij de mens. Het meest kenmerkende symptoom van een *Cryptosporidium*-infectie is een waterige diarree. *Giardia* veroorzaakt acute diarree en kan bij patiënten met een verstoord afweersysteem mogelijk een chronische infectie met *Giardia* ontwikkelen (Marshall et al., 1997).

## 1.2 Indicatoren

De detectie van pathogenen in water is meestal complex en tijdrovend. Daarom wordt de waterkwaliteit van bijvoorbeeld oppervlaktewater beoordeeld aan de hand van eenvoudig te bepalen indicatoren voor fecale verontreiniging. Deze indicatoren zijn micro-organismen die in hogere aantallen voorkomen dan pathogenen en zijn niet ziekteverwekkend. Verder worden indicatoren gebruikt voor het bepalen van de efficiëntie van zuiveringsprocessen. Een geschikte indicator heeft vergelijkbare reductie en overlevingseigenschappen als de pathogenen waarvoor ze als indicator dienen. Voor pathogene bacteriën, zoals *E. coli* O157, *Salmonella* en *Campylobacter* wordt gebruik gemaakt van de indicatorbacteriën *E. coli* en intestinale enterokokken. Veel gebruikte indicatoren voor de verwijdering van pathogene virussen zijn somatische en F-specifieke bacteriofagen.

## 1.3 Infectierisico's

Enterovirussen, *Campylobacter* en de pathogene protozoa *Cryptosporidium* en *Giardia* zijn wateroverdraagbare ziekteverwekkende micro-organismen, die op grond van hun voorkomen in huishoudelijk afvalwater, persistentie in het waterige milieu en hun infectiviteit, de meest relevante pathogenen zijn die een bedreiging voor de volksgezondheid kunnen vormen. Door inslikken van deze micro-organismen bestaat er een kans op infectie. Van een zeer infectieus micro-organisme hoeven er slechts enkele te worden ingeslikt om een infectie te veroorzaken, terwijl er voor minder infectieuze micro-organismen wel vele honderden of duizenden nodig zijn voordat een infectie optreedt. In het ergste geval leidt elk ingeslikt micro-organisme tot een infectie. Een infectie, waarbij het micro-organisme zich vermeerderd, hoeft nog niet te leiden tot ziekte. De

ziekteverschijnselen behorende bij infectie met enterovirussen, *Campylobacter* en de protozoa *Cryptosporidium* en *Giardia* betreffen veelal maag-darmklachten, die na enige tijd vanzelf voorbij gaan. Er kunnen zich echter ook ernstigere en chronische ziekteverschijnselen voordoen.

#### **1.4 Doel van het onderzoek**

In de waterrijke woonwijk De Eschmarke in Enschede kan in droge zomerperioden een tekort aan water voorkomen om het aanwezige oppervlaktewater voldoende te verversen of redelijk op peil te houden. Nu de rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) van Glanerbrug gerenoveerd gaat worden is het idee ontstaan om het effluent te benutten als suppletiewater voor het stedelijk watersysteem van de woonwijk De Eschmarke. Hierbij is door het Waterschap Regge en Dinkel onderkend dat het gebruik van effluent als suppletiewater mogelijk risico's voor de volksgezondheid met zich mee kan brengen.

Het doel van het onderzoek is vast te stellen wat de gevolgen van suppletie met effluent van ultrafiltratie (UF) zijn voor de microbiologische kwaliteit van de Voskampvijver in De Eschmarke alsmede de daaraan verbonden gezondheidsrisico's voor de mens.

Om de effecten van suppletie met rioolwatereffluent uit Glanerbrug, dat een extra zuivering door middel van een UF-stap heeft ondergaan, te kunnen voorspellen, werden de concentraties aan ziekteverwekkende micro-organismen in het RWZI-influent bepaald om hiermee de zuiveringsefficiëntie van de UF-stap te kunnen vaststellen. Ook werden zowel de concentraties aan ziekteverwekkende micro-organismen in het UF-permeaat (het gezuiverde water dat na UF de rioolwaterzuivering verlaat) als in het oppervlaktewater van de Voskampvijver bepaald, een plas in de woonwijk De Eschmarke. Deze plas is representatief voor andere plassen en vijvers waarbij recreatie- en speelgelegenheden aangelegd zijn of mogelijk nog worden aangelegd.

Met deze gegevens en gegevens over blootstelling aan het oppervlaktewater kan worden geschat hoe groot het risico is om een infectie op te lopen door middel van een zogenaamde kwantitatieve microbiologische risicoschatting. Om het risico op een infectie te kunnen correleren aan de risico-eis zoals deze in de Nederlandse wet is vastgelegd voor drinkwater, zal een risicoschatting worden uitgevoerd voor blootstelling aan zogenaamde indexpathogenen die in de Nederlandse Drinkwaterwet en het Drinkwaterbesluit zijn vastgelegd; enterovirussen, *Campylobacter*, *Cryptosporidium* en *Giardia*. Verder zal het risico op een rotavirusinfectie worden geschat, omdat dit bij kinderen een veel voorkomende infectie is.

## 2 Materiaal en methoden

### 2.1 Locatie en bemonstering

De rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) van Glanerbrug werd op verschillende dagen bemonsterd. Tijdens de eerste bemonstering op 22 februari 2011 werd naast de RWZI van Glanerbrug ook de RWZI van Hengelo bemonsterd. In Hengelo is een uitgebreide MBR-testopstelling geplaatst die gebruikmaakt van het te zuiveren materiaal van de RWZI, waarbij het actief slib (hogere concentratie, ca. 10 g/l) wordt gescheiden van het permeaat door middel van UF-membranen (Pilot MBR). De membranen en technische installatie zoals deze in deze pilot-opstelling zijn getest, zijn vervolgens in een grotere configuratie (Megablok) op de RWZI Glanerbrug geplaatst en maken daar deel uit van het totale zuiveringsproces. De overige twee bemonsteringsdagen, 28 juni en 22 augustus 2011, is daarom alleen de RWZI van Glanerbrug bemonsterd (zie Tabel 2 en 3). Na plaatsing van de UF-installatie in Glanerbrug bestaat ook deze RWZI uit een traditionele zuivering van beluchting met actief slib (3-5 g/l) en sedimentatie (nabezinktanks) gevolgd door een UF-installatie. De UF-installatie is geplaatst om meer slibwaterscheidingscapaciteit te realiseren parallel aan de nabezinktanks, waarbij het permeaat wordt onttrokken uit het actief slib. Deze UF-installatie bestaat uit parallel geschakelde ultrafiltratie-units en hebben membranen met een poriegrootte van 30 nm (Norit, type F4385).

*Tabel 2 Overzicht bemonsteringen uitgevoerd op 22 februari 2011*

Locatie RWZI	Bemonsterd	Geanalyseerd		
		Virussen <sup>1</sup>	Bacteriën <sup>2</sup>	Protozoa <sup>3</sup>
Hengelo (pilot)	Influent RWZI (24 uur)	√	√	
	Voeding UF	√	√	
	Permeaat UF	√	√	
Glanerbrug	Influent RWZI (24 uur)	√	√	
	Voeding UF	√	√	
	Voskampvijver	√	√	√

<sup>1</sup> Somatische bacteriofagen, F-specifieke bacteriofagen, enterovirus, rotavirus; <sup>2</sup> *E. coli*, intestinale enterokokken, *Campylobacter*; <sup>3</sup> *Cryptosporidium*, *Giardia*

*Tabel 3 Overzicht bemonsteringen uitgevoerd op 28 juni en 22 augustus 2011*

Locatie RWZI	Bemonsterd	Geanalyseerd		
		Virussen <sup>1</sup>	Bacteriën <sup>2</sup>	Protozoa <sup>3</sup>
Glanerbrug	Influent RWZI (24 uur)	√	√	
	Voeding UF (2x)	√	√	
	Permeaat UF (2x)	√	√	
	Voskampvijver	√	√	√

<sup>1</sup> Somatische bacteriofagen, F-specifieke bacteriofagen, enterovirus, rotavirus; <sup>2</sup> *E. coli*, intestinale enterokokken, *Campylobacter*; <sup>3</sup> *Cryptosporidium*, *Giardia*

## 2.2 Detectie van bacteriofagen en virussen

F-specifieke bacteriofagen werden bepaald zoals is voorgeschreven in NEN-EN-ISO 10705-1; 'Water - Detectie en telling van bacteriofagen - Deel 1: Telling van F-specifieke bacteriofagen', 1995 IDT. Somatische colifagen zijn gedaan zoals is voorgeschreven in NEN-EN-ISO 10705-2; 'Water - Detectie en telling van bacteriofagen - Deel 2: Telling van somatische colifagen', 2000 IDT. De prestatiekenmerken en telgrens informatie van deze geaccrediteerde verrichtingen zijn bij RIVM/LZO op te vragen.

Infectieuze enterovirussen werden bepaald, zoals is vastgelegd in de internationale norm NEN-EN 14486; Water quality: Detection of human enteroviruses by monolayer plaque assay, 2005 IDT, en infectieuze rotavirussen zoals is beschreven door Rutjes et al. (2009).

Om ook lage concentraties bacteriofagen en virussen te kunnen detecteren werden zowel het UF-permeaat als het oppervlaktewater uit de Voskampvijver geconcentreerd door middel van een negatieve membraanfiltratie (Lodder et al., 2005; Rutjes et al., 2005), waarna virus- en bacteriofaagbepalingen op dit concentraat zijn uitgevoerd.

## 2.3 Detectie van bacteriën

De bepalingen van de fecale indicatoren, *Escherichia coli*-bacteriën en intestinale enterokokken werden uitgevoerd volgens, respectievelijk NEN-EN-ISO 9308-1: Water - Detectie en enumeratie van *Escherichia coli* en bacteriën van de coligroep - Deel 1: Methode met membraanfiltratie, Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 2000 en NEN-EN-ISO 7899-2: Water - Detectie en telling van enterokokken - Deel 2: Membraanfiltratiemethode, Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 2000.

*Campylobacter* werd gedetecteerd zoals is voorgeschreven in NEN 6269 bacteriologisch onderzoek van water - Onderzoek naar de aanwezigheid en/of het meest waarschijnlijke aantal van thermofiele *Campylobacter*-bacteriën, Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 1996.

## 2.4 Detectie van parasitaire protozoa

*Cryptosporidium* oöcysten en *Giardia* cysten werden bepaald volgens Methode 1623; *Cryptosporidium* and *Giardia* in water by filtration/IMS/FA, EPA-821-R-99-006, US EPA, Washington, 1999 en ISO 15553; 'Water quality - Isolation and identification of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts from water'.

## 2.5 Kwantitatieve microbiologische risicoschattingen (QMRA)

### 2.5.1 QMRA

De kwantitatieve microbiologische risicoschattingen omvatten de volgende stappen:

1. Concentraties van de ziekteverwekkende micro-organismen in het ongezuiverde afvalwater. De ziekteverwekkende micro-organismen, waarvoor de risicoschattingen werden uitgevoerd, zijn enterovirus, rotavirus, *Campylobacter*, *Cryptosporidium* en *Giardia*.
2. Verwijderingsefficiëntie van conventionele afvalwaterzuivering en vervolgens UF op grond van gemeten concentraties indicatororganismen voor en na elk van deze zuiveringstappen.

3. Kinderen zwemmen in de Voskampvijver. Er zijn twee scenario's:
  - UF-permeaat: De Voskampvijver wordt gesuppleerd met UF-permeaat. Voor de risicoschatting wordt hier het scenario gevolgd waarbij kinderen zouden worden blootgesteld aan water met dezelfde microbiologische kwaliteit als het UF-permeaat. Berekening van de concentraties ziekteverwekkende micro-organismen in het UF-permeaat werd gedaan op basis van de gegevens van de twee voorgaande stappen.
  - Voskampvijver: De Voskampvijver wordt nog niet gevoed met UF-permeaat (huidige situatie). Berekening van de concentraties ziekteverwekkende micro-organismen op basis van de analyses van monsters water uit de Voskampvijver.
4. Tijdens het zwemmen slikken de kinderen een hoeveelheid water van de Voskampvijver met een aantal ziekteverwekkende micro-organismen in.
5. Een deel van de ingeslikte ziekteverwekkende micro-organismen leidt tot een infectie.

#### 2.5.2 *Mathematica*

Alle berekeningen werden uitgevoerd met behulp van Mathematica versie 8.0.4.0 (Wolfram Inc, Champaign, Illinois).

#### 2.5.3 *Concentratieberekeningen*

Concentratieberekeningen van de micro-organismen in ruw afvalwater, gezuiverd afvalwater en in de Voskampvijver werden uitgevoerd op basis van de ruwe microbiologische gegevens. Voor alle onderzochte micro-organismen, behalve *Campylobacter* en rotavirus, bestaan de ruwe gegevens uit tellingen en monstervolumes. Voor *Campylobacter* en rotavirus zijn meest waarschijnlijke aantallen bepaald (MWA). De ruwe gegevens hier zijn volumereeksen met wel of geen detectie per volume. De geschatte entero- en rotavirusconcentraties van influent RWZI en aanvoer-UF zijn gecorrigeerd voor het rendement van de concentratiemethode aan de hand van de concentratie somatische colifagen in het water vóór filtratie en in het uiteindelijke concentraat.

De concentratieberekeningen werden uitgevoerd, zoals is beschreven in Schijven et al. (2011). Microbiologische tellingen  $n$  met monstervolume  $V$  volgen een Negatief Binomiale verdeling met parameters  $r$  en  $1/(1+\lambda V)$ . De daaraan gerelateerde concentraties zijn Gammaverdeeld met parameters  $r$  en  $\lambda$ . Van de MWA-gegevens worden eerst per individueel monster concentraties (meest waarschijnlijke aantallen/volume-eenheid) berekend die dan aan een Gammaverdeling worden gefit.

#### 2.5.4 *Afvalwaterzuiveringsefficiëntie*

De efficiëntie van afvalwaterzuivering wordt uitgedrukt in de fractie micro-organismen, die in staat zijn de zuiveringsstap te passeren. Als 10% de zuiveringsstap passeert, is die fractie vanzelfsprekend 0,1. Dit wordt ook vaak in termen van  $^{10}\log$ -verwijdering uitgedrukt, in dit voorbeeld  $1 - ^{10}\log$ . Voor de conventionele zuivering werd aangenomen dat de zuiveringsefficiëntie Betaverdeeld is en daarom werd een Betaverdeling (een verdeling tussen 0 en 1) gefit op de ongepaarde metingen (24-uurs influentmonsters en voeding UF) (Schijven et al., 2011). Deze benadering geeft geen goede schatting van hoge zuiveringsefficiënties zoals die van UF. Voor UF werd de efficiëntie geschat op basis van de verhouding van Gammaverdeelde concentraties van de micro-organismen in voeding UF en UF-permeaat. Uit beide Gammaverdelingen werden 10.000 trekkingen gedaan (Monte Carlo) en werden de 10.000 concentraties voor en na UF in willekeurige volgorde paarsgewijs op elkaar



gedeeld. Dit levert 10.000 fracties op, die de verdeling van de zuiveringsefficiëntie weergeven.

#### 2.5.5 *Blootstelling*

Ten behoeve van de risicoschattingen gaan we uit van het scenario dat kinderen worden blootgesteld aan het water van het UF-permeaat of van de Voskampvijver, doordat ze het inslikken tijdens zwemmen. De blootstelling of dosis is het aantal ingeslikte micro-organismen. Dit aantal wordt bepaald door de concentratie in de Voskampvijver maal de hoeveelheid ingeslikt water. Voor de concentraties micro-organismen werd uitgegaan van de twee scenario's die zijn beschreven in Paragraaf 2.5.1.

De hoeveel ingeslikt water per zwembezoek door een kind bedraagt gemiddeld 37 ml en is Gammaverdeeld met parameters 0,64 en 58 (Schets et al., 2011).

#### 2.5.6 *Infectierisico*

Gegeven dat tijdens zwemmen micro-organismen worden ingeslikt, bestaat er een kans dat een micro-organisme de betreffende persoon infecteert. Niet alle ingeslikte ziekteverwekkende micro-organismen leiden tot infectie. Deze kans wordt berekend met de zogenaamde dosisresponsrelatie (Teunis en Havelaar, 2000).

$$P_{inf,persoon,zwembezoek} = 1 - {}_1F_1(\alpha, \alpha + \beta, -D) \quad (1)$$

Hierin zijn  $\alpha$  en  $\beta$  de dosisresponsparameters. Voor de hier gebruikte waarden van die parameters wordt verwezen naar Schijven et al. (2011). De infectiekans is de kans op infectie per zwembezoek. Opgemerkt dient te worden, dat een infectie niet altijd leidt tot ziekteverschijnselen.

## 3 Resultaten

### 3.1 Algemeen

Bij alle rekenstappen in de risicoanalyse werden 10.000 trekkingen gedaan uit verschillende verdelingen. De resultaten van deze trekkingen (Monte Carlo-simulaties) zijn als histogrammen weergegeven in Figuur 1 tot en met 19 van de bijlage. Deze figuren zijn met toelichting in de bijlage geplaatst.

### 3.2 Geschatte concentraties pathogenen en indicatororganismen

Tabel 4 vat de geschatte virusconcentraties in ruw en gezuiverd afvalwater en in de Voskampvijver samen. Te Glanerbrug, nemen de enterovirusconcentraties af gaande van het 24-uurs UF-influent naar voeding UF, naar UF-permeaat. Voor de bacteriofagen geldt dit ook, behalve voor somatische fagen is er weinig verschil tussen influent en voeding UF. Alle concentraties te Hengelo liggen ongeveer een orde van grootte lager.

In Figuur 2 staan de geschatte concentraties weergegeven voor enterovirus en rotavirus in de verschillende onderzochte monsters, zonder dat deze gecorrigeerd zijn voor het rendement van de detectiemethode (filtratie).

In de drie monsters van de Voskampvijver werden geen rotavirussen gedetecteerd en op basis van de monstervolumes werd een concentratie geschat van 0,0043 ( $\leq 10^{-9}$ -0,0015) rotavirussen per liter (Figuur 2). De concentraties voor enterovirus en rotavirus in influent RWZI-water en voeding UF zijn gecorrigeerd voor het rendement van de detectiemethode. Deze rendementen (recoveries) van de virusdetectie zijn weergegeven in Figuur 3. Het rendement van de detectie in het voeding UF water is lager dan van de detectie in het ruwe afvalwater. Figuur 4 geeft de voor het rendement gecorrigeerde waarden voor de concentraties van entero- en rotavirussen in het ruwe afvalwater en voeding UF. Voor rotavirus in ruw afvalwater (Figuur 4) werden de gegevens van Glanerbrug en Hengelo samengevoegd; de concentratie bedroeg 8,2 (0,91) rotavirussen per liter. Op grond van de meting in voeding UF water werden in een van de vijf monsters rotavirus aangetoond met een voor rendement gecorrigeerde concentratie van 13 rotavirussen per liter en geen in de andere vier monsters. Voor enterovirussen en somatische colifagen valt het op dat de concentraties in het UF-permeaat ongeveer gelijk zijn aan die in de Voskampvijver. De concentraties F-specifieke bacteriofagen zijn hoger in de Voskampvijver dan in het UF-permeaat.

Tabel 4 Geschatte virusconcentraties (N/liter en logaritmie)

	Enterovirus	Somatische colifagen	F-specieke bacteriofagen
<i>Glanerbrug influent (24 uur)</i>			
Mediaan	380 (2,6)	$4,5 \times 10^7$ (7,7)	$2,3 \times 10^6$ (6,4)
5-percentiel	83 (1,9)	$4,3 \times 10^6$ (6,6)	$3,8 \times 10^5$ (5,6)
95-percentiel	1500 (3,2)	$1,8 \times 10^8$ (8,3)	$7,1 \times 10^6$ (6,9)
<i>Hengelo influent (24 uur)</i>			
Eén meting	51 (1,7)	$6,6 \times 10^6$ (6,8)	$1,4 \times 10^6$ (6,2)
<i>Glanerbrug voeding UF</i>			
Mediaan	5,1 (0,71)	$4,0 \times 10^7$ (7,6)	$2,8 \times 10^5$ (5,4)
5-percentiel	$1,8 \times 10^{-4}$ (-3,7)	$3,1 \times 10^6$ (6,5)	$1,8 \times 10^5$ (5,2)
95-percentiel	4500 (3,7)	$1,6 \times 10^8$ (8,2)	$4,1 \times 10^5$ (5,6)
<i>Hengelo voeding UF</i>			
Eén meting		$1,9 \times 10^7$ (7,3)	$5,6 \times 10^4$ (4,8)
<i>Glanerbrug UF-permeaat</i>			
Mediaan	$\leq 10^{-9}$ (-33)	19 (1,3)	0,014 (-1,9)
5-percentiel	$\leq 10^{-9}$ (-130)	4,3 (0,64)	$2,2 \times 10^{-8}$ (-7,7)
95-percentiel	$5,9 \times 10^{-6}$ (-5,2)	53 (1,7)	0,95 (-0,022)
<i>Hengelo UF-permeaat</i>			
Eén meting	0	0,22 (-0,66)	0
<i>Voskampvijver</i>			
Mediaan	$\leq 10^{-9}$ (-33)	27 (1,4)	1,1 (0,025)
5-percentiel	$\leq 10^{-9}$ (-130)	0,13 (-0,9)	$4,3 \times 10^{-5}$ (-4,4)
95-percentiel	$9,0 \times 10^{-6}$ (-5,0)	280 (2,4)	37 (1,6)

Zie ook in bijlage Figuren 1, 2, 3, 4, 5 en 6.

Tabel 5 vat de geschatte bacterieconcentraties in ruw en gezuiverd afvalwater en in de Voskampvijver samen. Te Glanerbrug, nemen alle concentraties af gaande van het 24-uurs UF-influent naar voeding UF, naar UF-permeaat. Er is weinig verschil tussen influent en voeding UF. Alle concentraties te Hengelo zijn ongeveer in hetzelfde in orde van grootte als te Glanerbrug, behalve de *Campylobacter*-concentratie in het influent te Hengelo wat een toevallig lage waarde is.

Alle bacterieconcentraties in de Voskampvijver zijn vele ordes van grootte hoger dan die in het UF-permeaat. Figuur 10 in de bijlage presenteert de geschatte concentraties *Cryptosporidium* van 0,027 (0,012-0,050) oöcysten/liter en *Giardia* van 0,067 ( $3,5 \times 10^{-6}$ -2,0) cysten/liter. Afvalwater werd niet onderzocht op deze parasitaire protozoa.

Tabel 5 Geschatte bacterieconcentraties (N/liter en logaritme)

	<i>Campylobacter</i>	Intestinale enterokokken	<i>E. coli</i>
<i>Glanerbrug influent (24 uur)</i>			
Mediaan	$2,4 \times 10^5$ (5,4)	$1,0 \times 10^7$ (7,0)	$1,5 \times 10^8$ (8,2)
5-percentiel	$1,8 \times 10^4$ (4,3)	$6,3 \times 10^6$ (6,8)	$4,7 \times 10^7$ (7,7)
95-percentiel	$1,0 \times 10^6$ (6,0)	$1,6 \times 10^7$ (7,2)	$3,6 \times 10^8$ (8,6)
<i>Hengelo influent (24 uur)</i>			
Eén meting	$6,0 \times 10^2$ (2,8)	$5,3 \times 10^6$ (6,7)	$4,6 \times 10^7$ (7,7)
<i>Glanerbrug voeding UF</i>			
Mediaan	$8,5 \times 10^3$ (3,9)	$5,9 \times 10^6$ (6,8)	$8,3 \times 10^6$ (6,9)
5-percentiel	$5,8 \times 10^2$ (2,8)	$2,2 \times 10^6$ (6,3)	$1,5 \times 10^6$ (6,2)
95-percentiel	$3,9 \times 10^4$ (4,6)	$1,2 \times 10^7$ (7,1)	$2,5 \times 10^7$ (7,4)
<i>Hengelo voeding UF</i>			
Eén meting	$6,2 \times 10^3$ (3,8)	$1,9 \times 10^7$ (7,3)	$8,9 \times 10^6$ (6,9)
<i>Glanerbrug UF-permeaat</i>			
Mediaan	0	$\leq 10^{-9}$ (-31)	1,6 (0,22)
5-percentiel	0	$\leq 10^{-9}$ (-130)	$5,6 \times 10^{-7}$ (-6,3)
95-percentiel	0	$1,1 \times 10^{-3}$ (-3,0)	$1,9 \times 10^2$ (2,3)
<i>Hengelo UF-permeaat</i>			
Eén meting	0	0	0
<i>Voskampvijver</i>			
Mediaan	$2,0 \times 10^2$ (2,3)	$4,3 \times 10^2$ (2,6)	$1,2 \times 10^3$ (3,1)
5-percentiel	4,0 (0,6)	18 (1,2)	$1,3 \times 10^2$ (2,1)
95-percentiel	$1,3 \times 10^3$ (3,1)	$2,3 \times 10^3$ (3,4)	$4,6 \times 10^3$ (3,7)

Zie ook in bijlage Figuren 7, 8, en 9.

### 3.3 Efficiëntie van afvalwaterzuivering, conventioneel en door UF

Tabel 6 geeft de efficiëntie van afvalwaterzuivering, conventioneel en door UF weer. De geschatte efficiënties voor de pilot MBR op de RWZI Hengelo zijn slechts gebaseerd op één meting voor en na de beide zuiveringstappen, maar liggen in waarde dicht in de buurt bij die voor Glanerbrug. De conventionele zuiveringstap is meest efficiënt voor de reductie van *E. coli*. Voor de overige micro-organismen is deze zuiveringsstap weinig efficiënt. Verwijdering van micro-organismen door UF is daarentegen zeer efficiënt met gemiddeld 5-6 <sup>10</sup>log voor *E. coli* en de bacteriofagen en zelfs zo'n 9 <sup>10</sup>log voor intestinale enterokokken.

De verwijdering van somatische colifagen in de UF-installatie te Glanerbrug was minder effectief dan die van F-specifieke fagen, daarom werd de verwijdering van somatische colifagen toegepast in de risicoschattingen. Verwijdering door UF van enterovirussen op grond van de enterovirusmetingen werd niet uitgevoerd, omdat in het UF-permeaat geen enterovirussen gedetecteerd werden (er is wel een schatting van de concentraties).

*E. coli* geldt als indicatororganisme voor de verwijdering van bacteriën door zuivering en werd aldus hier toegepast voor de verwijdering van *Campylobacter*.

Tabel 6 Efficiëntie van afvalwaterzuivering, conventioneel en door UF (fractie en logaritme)

	Somatische colifagen	F-specieke bacteriofagen	
<i>Glanerbrug conventioneel: influent (24 uur) → voeding UF</i>			
Mediaan	0,98 (-0,0079)	0,11 (-0,95)	
5-percentiel	$6,2 \times 10^{-2}$ (-1,2)	$7,3 \times 10^{-2}$ (-1,1)	
95-percentiel	1,0 ( $10^{-10}$ )	0,16 (-0,79)	
<i>Hengelo conventioneel: influent (24 uur) → voeding UF</i>			
Eén meting	2,8 (0,45)	0,040 (-1,4)	
<i>Glanerbrug UF: voeding UF → UF-permeaat</i>			
Mediaan	$4,8 \times 10^{-7}$ (-6,3)	$4,5 \times 10^{-8}$ (-7,3)	
5-percentiel	$6,1 \times 10^{-8}$ (-7,2)	$\leq 10^{-9}$ (-13)	
95-percentiel	$7,2 \times 10^{-6}$ (-5,1)	$3,8 \times 10^{-6}$ (-5,4)	
<i>Hengelo UF: voeding UF → UF-permeaat</i>			
Eén meting	$\leq 5,3 \times 10^{-8}$ ( $\geq -7,3$ )	$\leq 1,8 \times 10^{-5}$ ( $\geq -4,8$ )	
	<i>Campylobacter</i>	Intestinale enterokokken	<i>E. coli</i>
<i>Glanerbrug conventioneel: influent (24 uur) → voeding UF</i>			
Mediaan	0,35 (-1,4)	0,65 (-0,19)	$5,9 \times 10^{-2}$ (-1,2)
5-percentiel	$1,7 \times 10^{-3}$ (-2,8)	0,2 (-0,69)	$1,6 \times 10^{-2}$ (-1,8)
95-percentiel	0,69 (-0,16)	0,95 (-0,022)	0,15 (-0,83)
<i>Hengelo conventioneel: influent (24 uur) → voeding UF</i>			
Eén meting		0,28 (-0,56)	0,19 (-0,71)
<i>Glanerbrug UF: voeding UF → UF-permeaat</i>			
Mediaan		$\leq 10^{-9}$ (-37)	$2,1 \times 10^{-7}$ (-6,7)
5-percentiel		$\leq 10^{-9}$ (-140)	$\leq 10^{-9}$ (-13)
95-percentiel		$\leq 10^{-9}$ (-9,7)	$3,2 \times 10^{-5}$ (-4,5)
<i>Hengelo UF: voeding UF → UF-permeaat</i>			
Eén meting		$\leq 5,2 \times 10^{-8}$ ( $\geq -7,3$ )	$\leq 1,1 \times 10^{-7}$ ( $\geq -7,0$ )

Zie ook in bijlage Figuren 11, 12, en 13.

### 3.4 Berekende pathogeenconcentraties in UF-permeaat

Tabel 7 geeft de berekende pathogeenconcentraties in Glanerbrug UF-permeaat. De concentraties voor enterovirus zijn hoger dan de geschatte waarden (Tabel 4).

De berekende concentraties enterovirus in UF-permeaat zijn ook hoger dan de gemeten concentraties in de Voskampvijver. De berekende *Campylobacter*-concentraties in het UF-permeaat zijn drie ordes van grootte lager dan de gemeten concentraties in de Voskampvijver.

Tabel 7 Berekende pathogeenconcentraties in Glanerbrug UF-permeaat

	Enterovirus	Rotavirus	<i>Campylobacter</i>
Mediaan	$1,3 \times 10^{-4}$ (-3,9)	$3,0 \times 10^{-6}$ (-5,5)	$1,2 \times 10^{-6}$ (-2,9)
5-percentiel	$4,2 \times 10^{-6}$ (-5,4)	$1,2 \times 10^{-7}$ (-6,9)	$\leq 10^{-9}$ (-9,3)
95-percentiel	$3,1 \times 10^{-3}$ (-2,5)	$5,4 \times 10^{-5}$ (-4,3)	0,35 (-0,46)

Zie ook in bijlage Figuur 14.

### 3.5 Blootstelling door kinderen

Tabel 8 geeft de blootstelling van kinderen aan water met de kwaliteit van UF-permeaat en van de Voskampvijver. Uitgaande van de concentraties ziekteverwekkende micro-organismen en de hoeveelheid ingeslikt water door kinderen per keer zwemmen in de Voskampvijver, werden de aantallen ingeslikte micro-organismen berekend (dosis/bezoek).

Tabel 8 Blootstelling van kinderen aan water met de kwaliteit van UF-permeaat en van de Voskampvijver (dosis=N/bezoek en logaritme)

	Mediaan	5-percentiel	95-percentiel
<i>UF-permeaat</i>			
Enterovirus	$2,2 \times 10^{-6}$ (-5,7)	$1,3 \times 10^{-8}$ (-7,9)	$1,0 \times 10^{-4}$ (-4,0)
Rotavirus	$5,0 \times 10^{-8}$ (-7,3)	$\leq 10^{-9}$ (-9,4)	$1,9 \times 10^{-6}$ (-5,7)
<i>Campylobacter</i>	$1,6 \times 10^{-5}$ (-4,8)	$\leq 10^{-9}$ (-11)	0,01 (-2,0)
<i>Voskampvijver</i>			
Enterovirus	$\leq 10^{-9}$ (-35)	$\leq 10^{-9}$ (-140)	$1,3 \times 10^{-7}$ (-6,9)
Rotavirus	$\leq 10^{-9}$ (-35)	$\leq 10^{-9}$ (-140)	$2,0 \times 10^{-5}$ (-4,7)
<i>Campylobacter</i>	2,8 (0,45)	$1,8 \times 10^{-2}$ (-1,8)	62 (1,8)
<i>Cryptosporidium</i>	$5,0 \times 10^{-4}$ (-3,3)	$1,2 \times 10^{-5}$ (-4,9)	$3,8 \times 10^{-3}$ (-2,4)
<i>Giardia</i>	$7,8 \times 10^{-4}$ (-3,1)	$3,3 \times 10^{-8}$ (-7,5)	$7,1 \times 10^{-2}$ (-1,2)

Zie ook in bijlage Figuren 15, 16, 17, 18 en 19.

### 3.6 Infectierisico per zwembezoek

Ten slotte werden de infectierisico's per bezoek berekend op basis van de doses per bezoek en de infectiviteit van de pathogene micro-organismen.

Voor zwemmen is geen wettelijk maximum aan het infectierisico voorhanden, zoals we dat in Nederland kennen voor drinkwaterconsumptie (maximum infectierisico van minder dan één per 10.000 personen per jaar (Anoniem, 2006)).

Voor de interpretatie van onderstaande infectierisico's spreken we van hoog als risico's groter dan 0,01 (1%) zijn en van laag als ze kleiner dan 0,0001 (0,01%) zijn. Voor tussenliggende waarden is het moeilijker een waardeoordeel te geven.

Aldus kan worden gesteld dat het infectierisico na blootstelling aan enterovirusconcentraties zoals in het UF-permeaat laag is en dat het infectierisico na blootstelling aan enterovirusconcentraties in de Voskampvijver gemiddeld nog twee ordes van grootte lager is. Het infectierisico na blootstelling aan rotavirusconcentraties zoals in UF-permeaat is een orde van grootte lager dan met enterovirusconcentraties.

De infectierisico's na blootstelling aan *Campylobacter*-concentraties zoals in het UF-permeaat liggen binnen bovengenoemd bereik van laag tot hoog risico. De infectierisico's na blootstelling aan *Campylobacter* in de Voskampvijver zijn zeer hoog.

Het infectierisico voor *Cryptosporidium* en *Giardia* valt tussen de hierboven gehanteerde definities van hoog en laag. Het infectierisico voor *Giardia* is een orde van grootte hoger dan voor *Cryptosporidium* en het 95-percentiel voor *Giardia* is hoog te noemen.

Tabel 9 Infectierisico per zwembezoek; blootstelling aan water met de kwaliteit van UF-permeaat en van de Voskampvijver (kans/bezoek en logaritme)

	Mediaan	5-percentiel	95-percentiel
<i>UF-permeaat</i>			
Enterovirus	$6,0 \times 10^{-7}$ (-6,2)	0 (-)	$4,9 \times 10^{-5}$ (-4,3)
Rotavirus	$1,5 \times 10^{-8}$ (-7,8)	0 (-)	$8,6 \times 10^{-7}$ (-6,1)
<i>Campylobacter</i>	$8,8 \times 10^{-7}$ (-6,1)	0 (-)	$4,2 \times 10^{-3}$ (-2,4)
<i>Voskampvijver</i>			
Enterovirus	0 (-)	0 (-)	$2,2 \times 10^{-8}$ (-7,7)
Rotavirus	0 (-)	0 (-)	$2,6 \times 10^{-6}$ (-5,6)
<i>Campylobacter</i>	0,43 (0,37)	0 (-)	0,81 (-0,091)
<i>Cryptosporidium</i>	$1,0 \times 10^{-4}$ (-4,0)	$2,3 \times 10^{-6}$ (-5,6)	$8,7 \times 10^{-4}$ (-3,1)
<i>Giardia</i>	$1,5 \times 10^{-5}$ (-4,8)	$\leq 10^{-9}$ (-9,2)	$1,4 \times 10^{-3}$ (-2,8)

Zie ook in bijlage Figuren 16, 17 en 18.

## 4 Discussie

Verwijdering van micro-organismen door UF te Glanerbrug bleek zeer efficiënt met gemiddeld 5-6 <sup>10</sup>log voor *E. coli* en de bacteriofagen en zelfs zo'n 9 <sup>10</sup>log voor intestinale enterokokken. Op een andere locatie werd door Van den Berg et al. (2009) ook ongeveer 5 <sup>10</sup>log verwijdering door UF vastgesteld. Dankzij deze efficiënte zuiveringstap heeft suppletie van de Voskampvijver met UF-permeaat geen wezenlijk effect op het risico op infectie met enterovirussen. Alle bacterieconcentraties in de Voskampvijver zijn vele ordes van grootte hoger dan die in het UF-permeaat, in dat opzicht heeft suppletie met UF-permeaat ook geen nadelige gevolgen.

Het risico op infectie door virussen is in de huidige situatie laag. Enterovirussen en rotavirussen zijn menspathogene virussen, met huishoudelijk afvalwater als belangrijke besmettingsbron. Als UF-permeaat afvalwater wordt toegelaten, neemt het risico op enterovirusinfectie wel toe met twee ordes van grootte, maar blijft evenwel nog lager dan 10<sup>-4</sup>. Het is daarom wel van belang dat de zuiveringsefficiëntie van de UF-installatie te allen tijde wordt gehaald. *Campylobacter*, *Cryptosporidium* en *Giardia* zijn zoönotische micro-organismen, dat wil zeggen dat ze ook van geïnfecteerde dieren op mensen kunnen worden overgedragen. De bevinding dat de concentraties *Campylobacter* in de Voskampvijver in de huidige situatie beduidend hoger zijn dan in het UF-permeaat, duidt op de aanwezigheid van dierlijke besmettingsbronnen, bijvoorbeeld vogels. De bron zou bevestigd kunnen worden in een vervolgonderzoek waarbij typen *Campylobacter*-bacteriën in vijverwater vergeleken worden met typen die in fecesmonsters van vogels voorkomen. Omdat het risico op infectie door *Campylobacter* hoog is wordt zwemmen in de vijver afgeraden. De risico's op infectie door *Cryptosporidium* en *Giardia* vallen tussen hoog (meer dan 1%) en laag (minder dan 0,01%). Hierbij dient te worden opgemerkt, dat voor de schattingen voor *Cryptosporidium* en *Giardia*, elk op de analyses van slechts twee monsters van de Voskampvijver zijn gebaseerd en daarom zeer onzeker zijn.





## Referenties

- Anoniem (2006) VROM-Inspectierichtlijn Analyse microbiologische veiligheid drinkwater, VROM-Inspectie, Artikelcode 5318.
- Burton, G.A., D. Gunnison, G.R. Lanza (1987) Survival of pathogenic bacteria in various freshwater sediments. *Applied and Environmental Microbiology* 53: 633-638.
- Butzler, J.P. (2004) *Campylobacter*, from obscurity to celebrity. *European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases* 10: 868-876.
- Carter, M.J. (2005) Enterically infecting viruses: pathogenicity, transmission and significance for food and waterborne infection. *Journal of Applied Microbiology* 98, 1354-1380.
- Hauri, A.M., M. Schimmelpfennig, M. Walter-Domes, A. Letz, S. Diedrich, J. Lopez-Pila, E. Schreier (2005) An outbreak of viral meningitis associated with a public swimming pond. *Epidemiology and Infection* 133: 291-298.
- Hunter, P.R. (1997) *Waterborne disease, Epidemiology and Ecology*. (1st ed. edn). Chichester: John Wiley & Sons.
- Jacangelo, J.G., P. Loughran, B. Petrik, D. Simpson, C. McIlroy (2003) Removal of enteric viruses and selected microbial indicators by UV irradiation of secondary effluent. *Water Science and Technology* 47[9], 193-198.
- Johansson, P.J., T. Sveger, K. Ahlfors, J. Ekstrand, L. Svensson (1996) Reovirus type 1 associated with meningitis. *Scandinavian Journal of Infectious Diseases* 28: 117-120.
- Koff, R.S. (1998) Hepatitis A. *Lancet* 351: 1643-1649.
- Lodder, W.J., A.M. de Roda Husman (2005) Presence of noroviruses and other enteric viruses in sewage and surface waters in the Netherlands. *Applied and Environmental Microbiology* 71: 1453-1461.
- Marshall, M.M., D. Naumovitz, Y. Ortega, C.R. Sterling (1997) Waterborne protozoan pathogens. *Clinical Microbiology Reviews* 10: 67-85.
- Pöyry, T., M. Stenvik, T. Hovi (1988) Viruses in sewage waters during and after a poliomyelitis outbreak and subsequent nationwide oral poliovirus vaccination campaign in Finland. *Applied and Environmental Microbiology* 54: 371-374.
- Russell, W.C. (1991) Adenoviridae. *Archives of Virology. Supplementum* 2, 140-144.
- Rutjes, S.A., R. Italiaander, H.H.J.L. van den Berg, W.J. Lodder, A.M. de Roda Husman (2005) Isolation and detection of enterovirus RNA from large-volume water samples by using the NucliSens miniMAG system and real-time Nucleic Acid Sequence-Based Amplification. *Applied and Environmental Microbiology* 71: 3734-3740.

Rutjes, S.A., W.J. Lodder, A. Docters van Leeuwen, A.M. de Roda Husman (2009) Detection of infectious rotavirus in naturally contaminated source waters for drinking water production. *Journal of Applied Microbiology* 107: 97-105.

Savoye, P., M.L. Janex, V. Lazarova (2001) Wastewater disinfection by low-pressure UV and ozone: a design approach based on water quality. *Water Science and Technology* 43: 163-171.

Schets, F.M., M. During, R. Italiaander, L. Heijnen, S.A. Rutjes, W.K. van der Zwaluw, A.M. de Roda Husman (2005) *Escherichia coli* O157:H7 in drinking water from private water supplies in the Netherlands. *Water Research* 39: 4485-4493.

Schets, F.M., J.F. Schijven, A.M. de Roda Husman (2011) Exposure assessment for swimmers in bathing waters and swimming pools. *Water Research* 45: 2392-2400.

Schijven, J.F. (2003) Schatting van de kans op infectie door *Campylobacter* via water. *H<sub>2</sub>O* 19: 27-30.

Schijven, J.F., P.F.M. Teunis, S.A. Rutjes, M. Bouwknecht, A.M. de Roda Husman (2011) QMRAspot: A tool for quantitative microbial risk assessment from surface water to potable water. 45: 5564-5576.

Teunis, P.F., A.H. Havelaar (2000) The Beta Poisson dose-response model is not a single-hit model. *Risk Anal* 20: 513-20.

Van den Berg, H.H.J.L., J.F. Schijven, S.A. Rutjes, A.M. de Roda Husman (2009) Verwijdering van bacteriën uit afvalwater met behulp van de Membraanbioreactor in Ootmarsum. RIVM Briefrapport 064-09 LZO/SR/HvdB.

Van Nieuwenhuijzen, A.F., H. Evenblij, C.A. Uijterlinde, F.L. Schulting (2008) Review on state of science on membrane bioractors for municipal wastewater treatment. *Water Science and Technology* 57: 979-986.

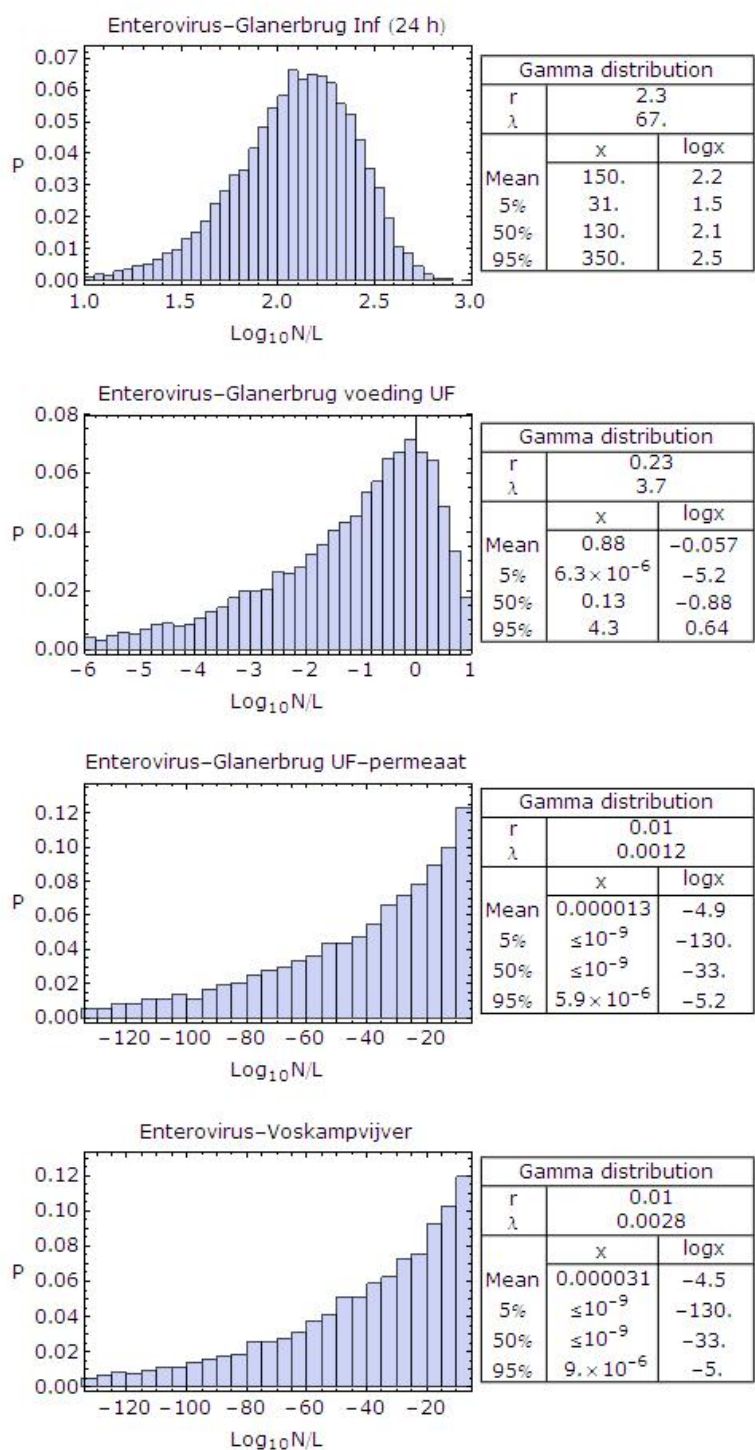
## Bijlage

### Histogrammen

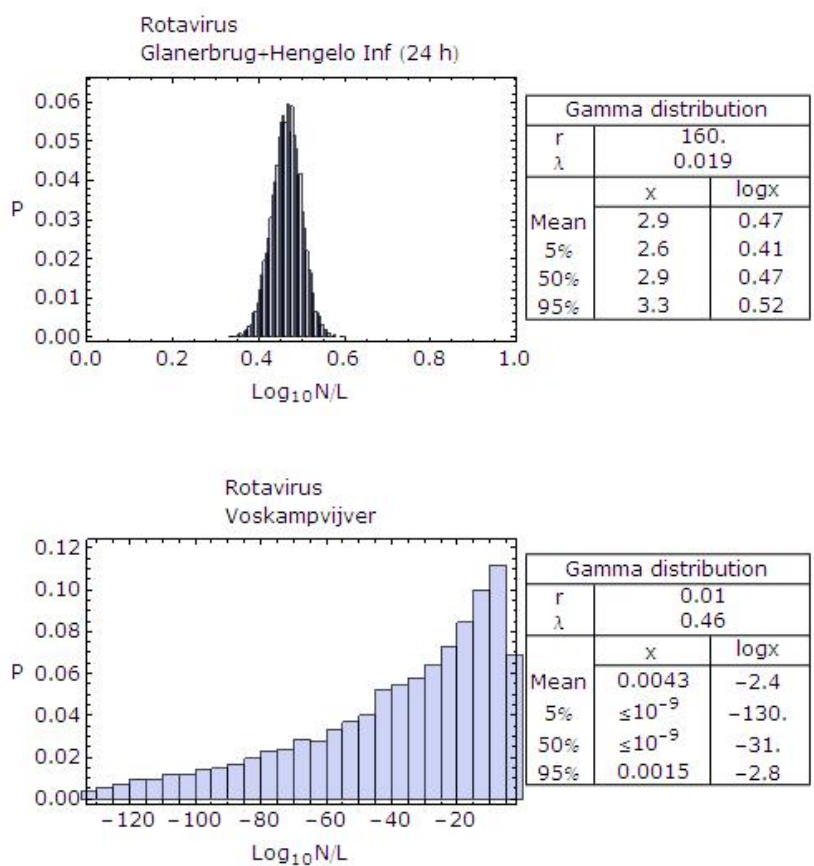
#### Toelichting histogrammen

Bij alle rekenstappen in de risicoanalyse zijn 10.000 trekkingen gedaan uit verschillende verdelingen. De resultaten van deze trekkingen (Monte Carlo-simulaties) zijn als histogrammen weergegeven in Figuren 1 tot en met 26. Rechts van elke histogram is een tabel met gemiddelde, 5-percentiel, mediaan en 95-percentiel weergegeven, alsmede het logaritme van deze waarden. In het geval van de Gammaverdeelde concentraties wordt aangegeven, dat het een Gammaverdeling betreft en worden de parameters  $r$  en  $\lambda$  weergegeven. Voor een Gammaverdeling geldt dat het gemiddelde gelijk is aan  $r \times \lambda$  en dat de variantie gelijk is aan  $r \times \lambda^2$ . De variantie van de Gammaverdelingen geven hier de variatie van de concentraties (verschillen tussen monsters in de tijd) weer. De verwijdering door conventionele zuivering is Bèta verdeeld met parameters  $\alpha$  en  $\beta$ .

De getallen in de tabel naast de figuren kunnen enigszins afwijken van de overeenkomstige getallen in Tabellen 1 tot en met 9. Dit komt omdat de Monte Carlo-berekeningen meerdere malen herhaald zijn, waarbij de waarden steeds iets kunnen variëren. De getallen in de tabellen zijn niet altijd van de dezelfde ronde berekeningen als in de figuren.

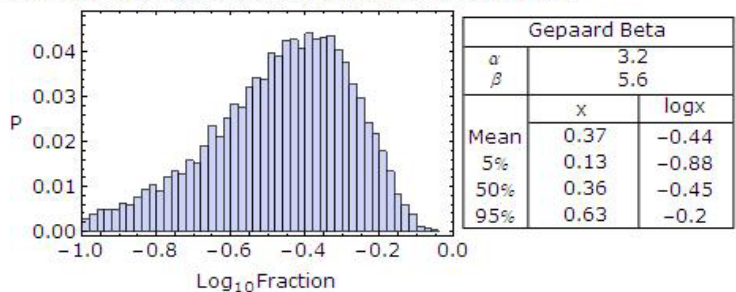


Figuur 1 Geschatte enterovirusconcentraties in afvalwater en de Voskampvijver op basis van metingen

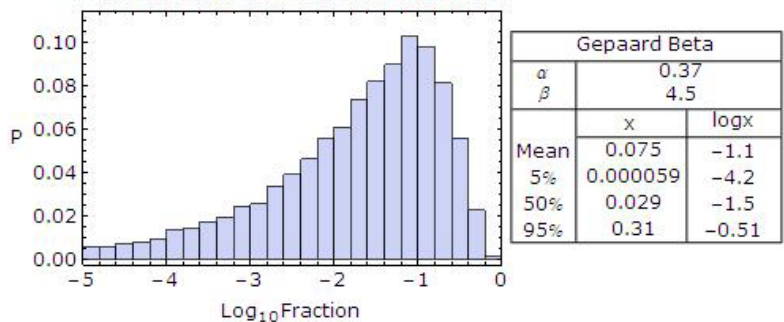


Figuur 2 Geschatte rotavirusconcentraties in ruw afvalwater en de Voskampvijver op basis van metingen

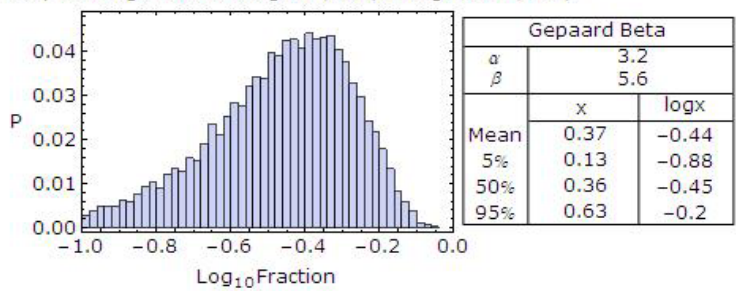
Recovery som fagen Glanerbrug Inf (24 h)+Hengelo Inf (24 h)



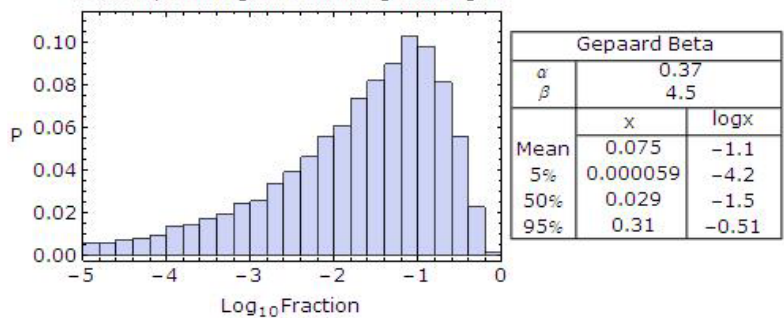
Recovery som fagen Glanerbrug voeding UF



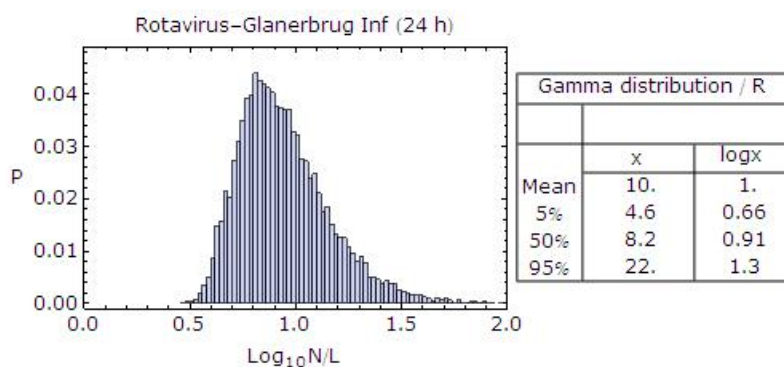
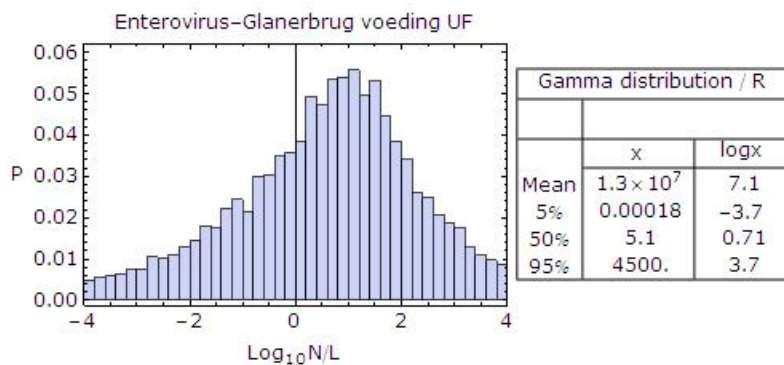
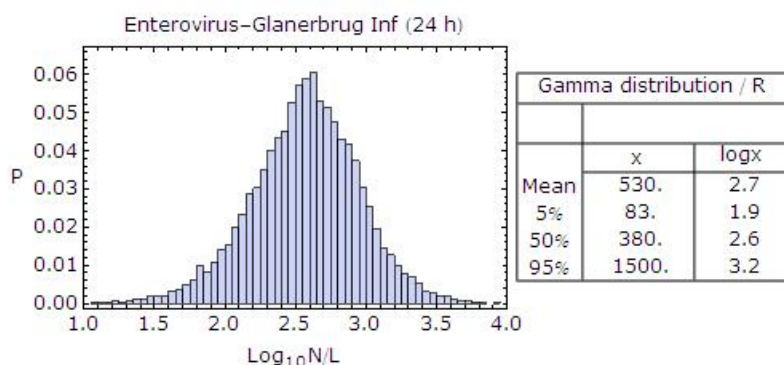
Recovery som fagen Glanerbrug Inf (24 h)+Hengelo Inf (24 h)



Recovery som fagen Glanerbrug voeding UF

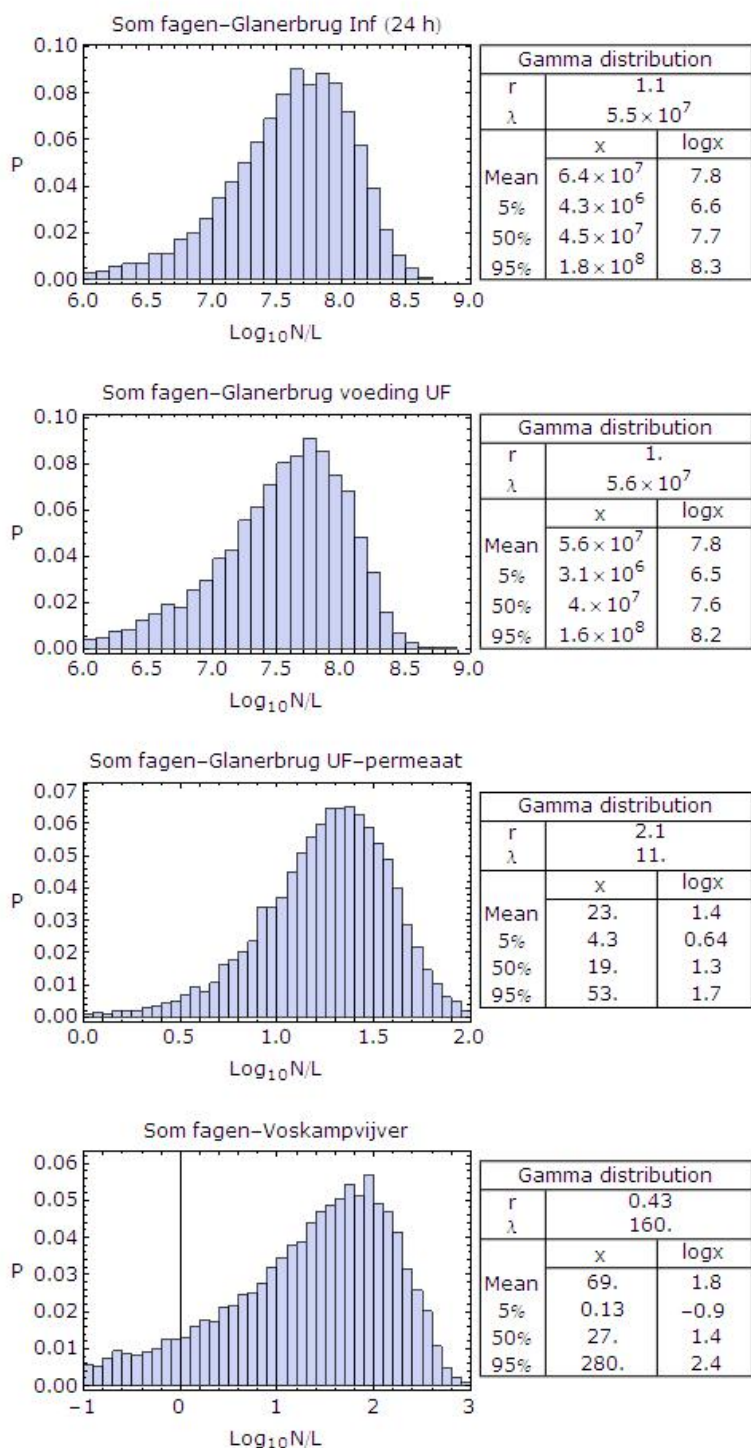


Figuur 3 Recoveries van somatische fagen in ruw afvalwater en voeding UF

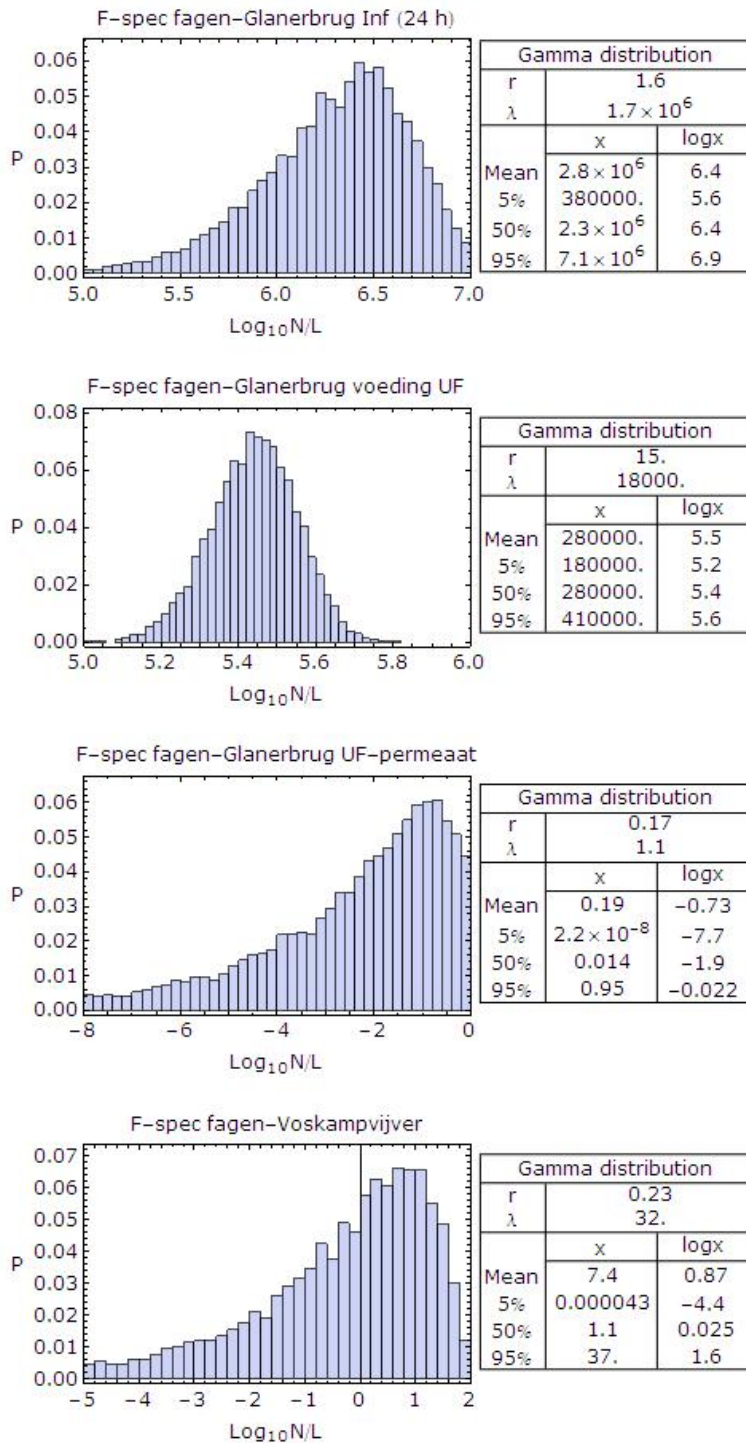


Figuur 4 Geschatte virusconcentraties in ruw afvalwater en voeding UF na correctie voor recovery

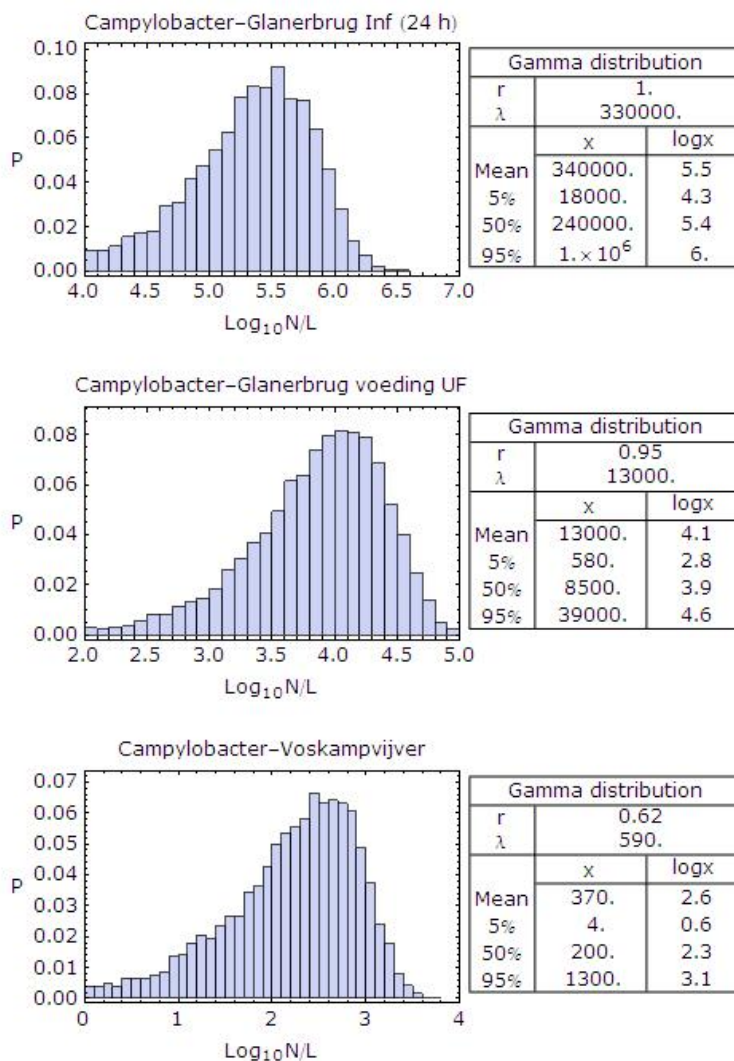




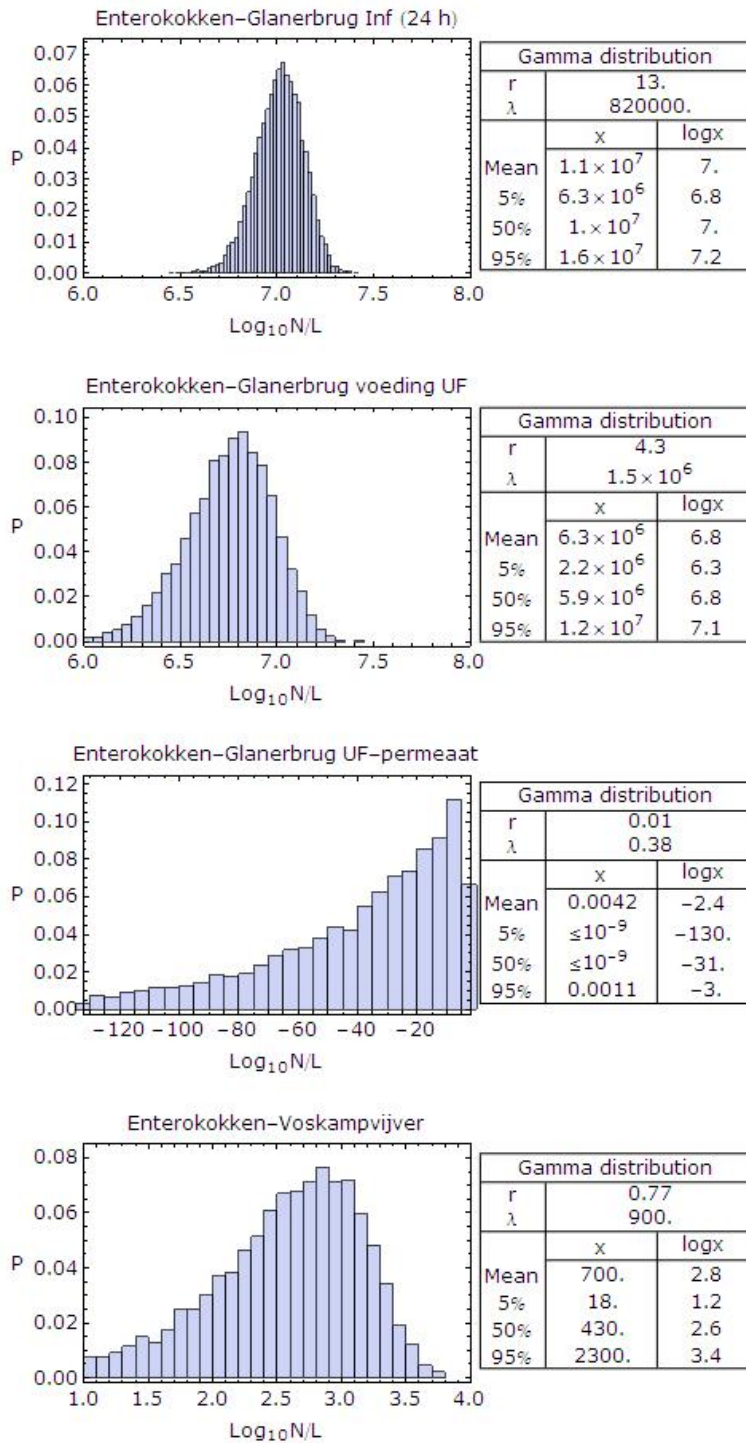
Figuur 5 Geschatte concentraties somatische colifagen in afvalwater en de Voskampvijver op basis van metingen



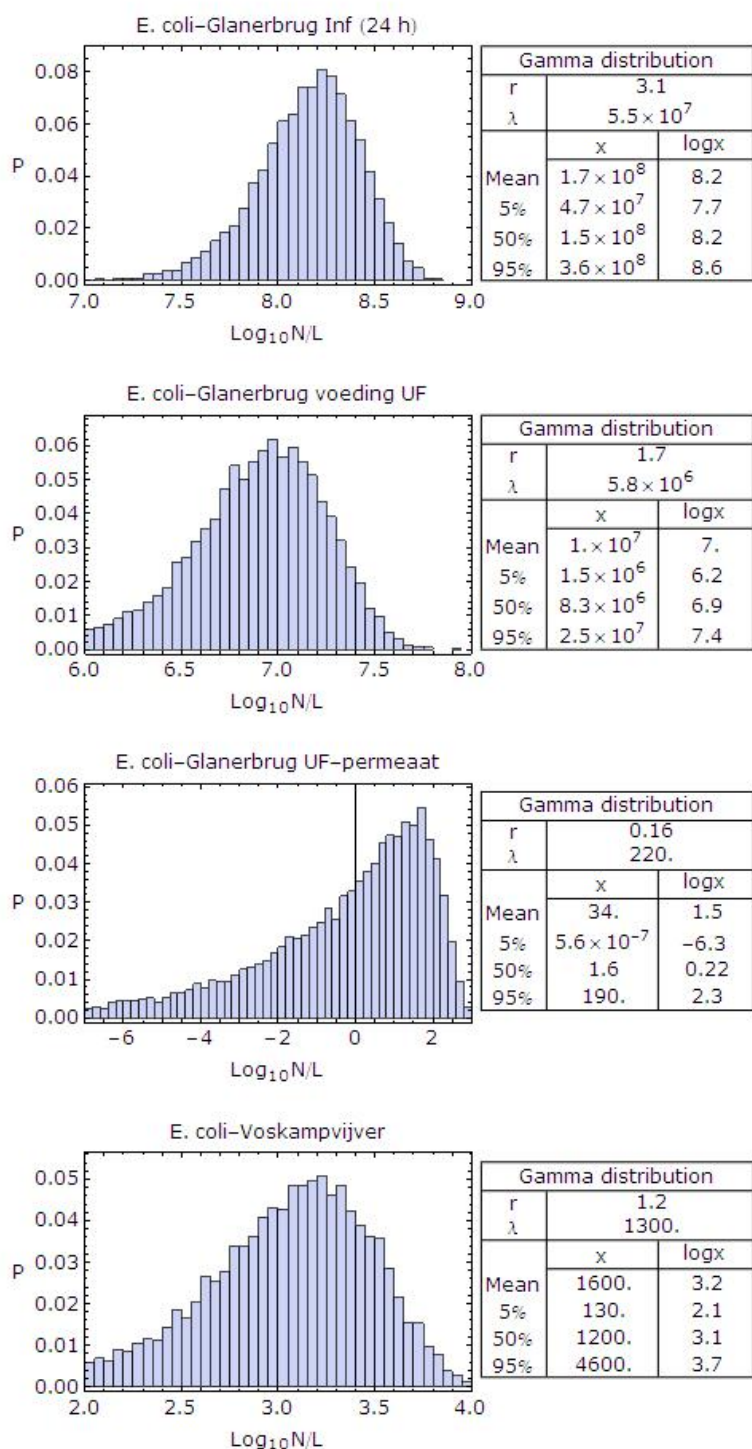
Figuur 6 Geschatte concentraties F-specifieke fagen in afvalwater en de Voskampvijver op basis van metingen



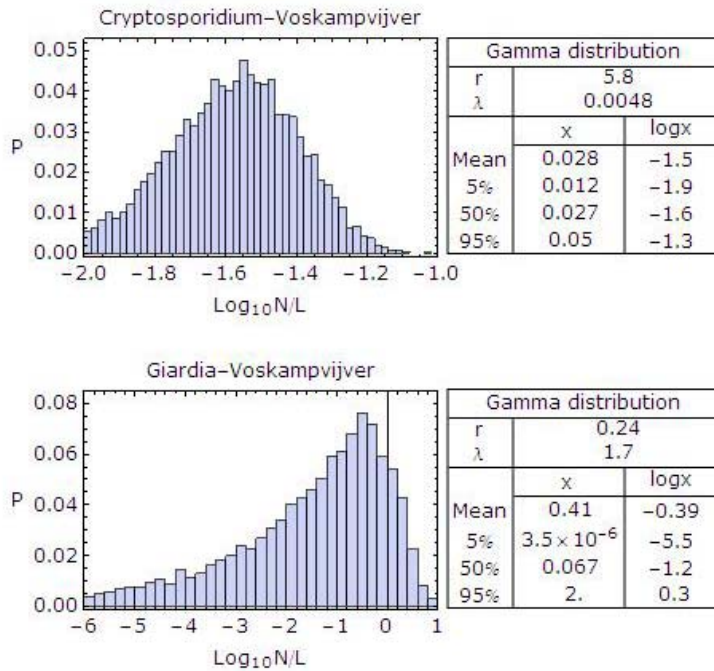
Figuur 7 Geschatte concentraties Campylobacter in afvalwater en de Voskampvijver op basis van metingen



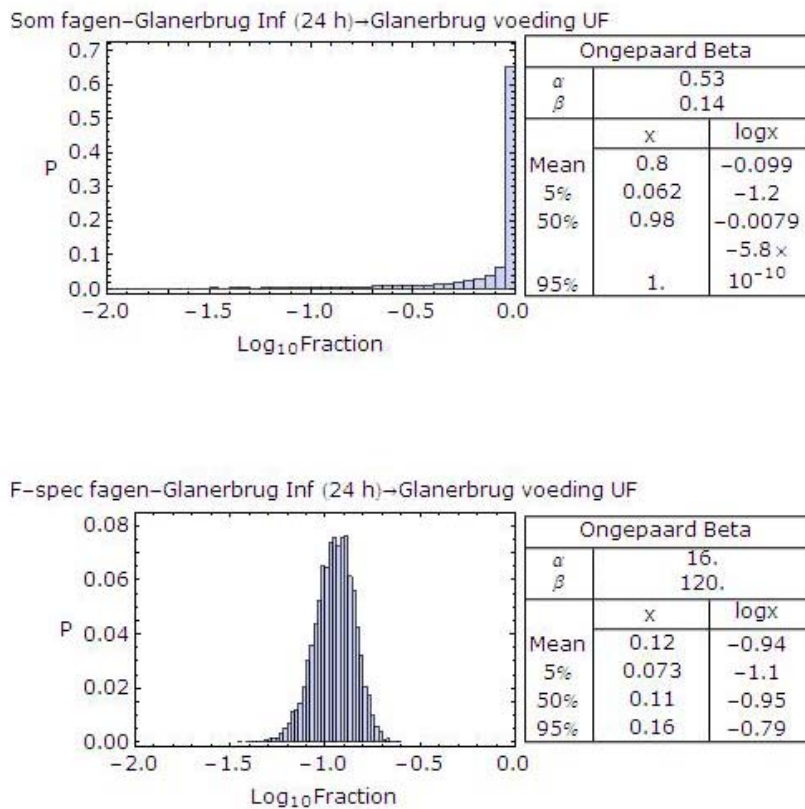
Figuur 8 Geschatte concentraties intestinale enterokokken in afvalwater en de Voskampvijver op basis van metingen



Figuur 9 Geschatte concentraties E. coli in afvalwater en de Voskampvijver op basis van metingen

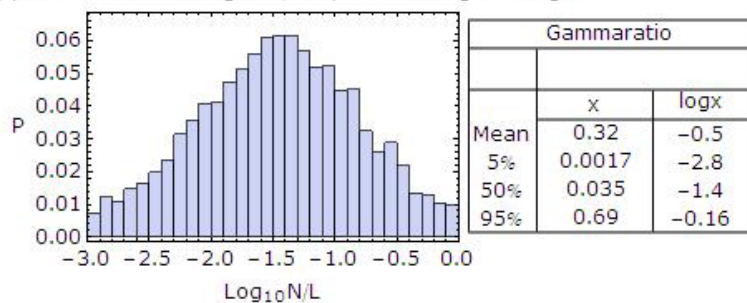


Figuur 10 Geschatte concentraties *Cryptosporidium* en *Giardia* in de Voskampvijver op basis van metingen

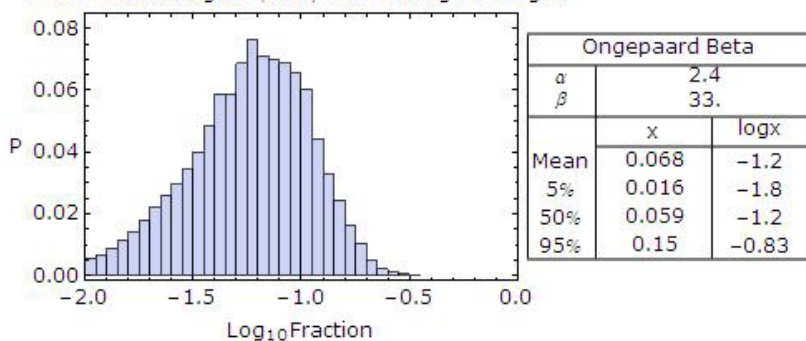


Figuur 11 Geschatte verwijdering van virussen door conventionele afvalwaterzuivering

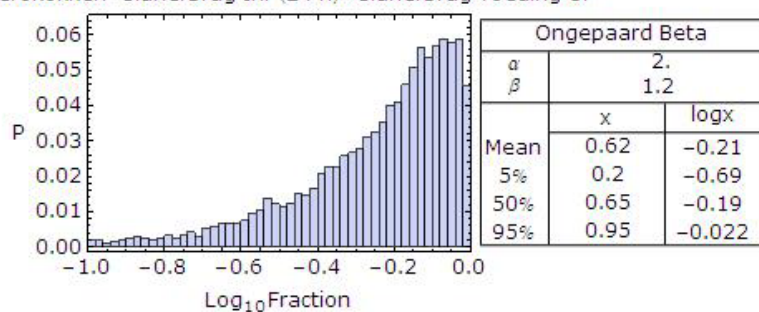
Campylobacter–Glanerbrug Inf (24 h)–Glanerbrug voeding UF



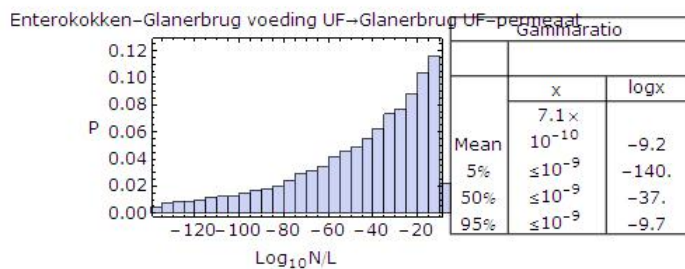
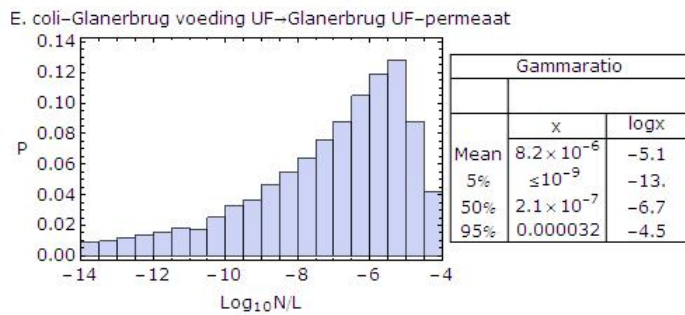
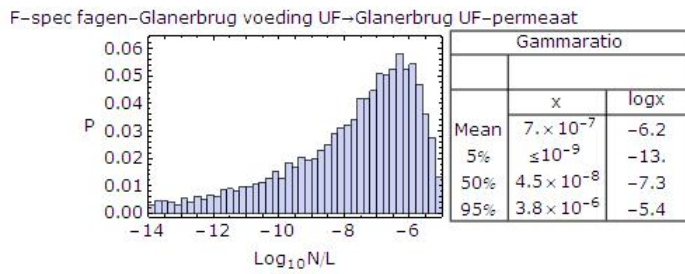
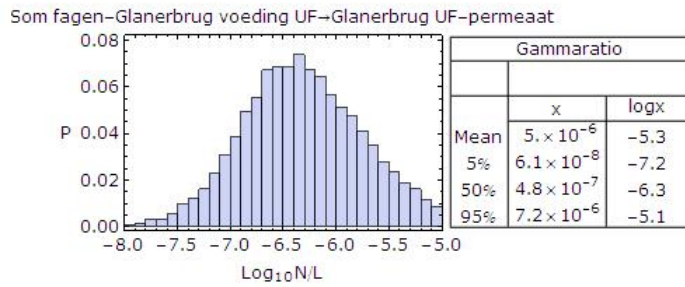
E. coli–Glanerbrug Inf (24 h)–Glanerbrug voeding UF



Enterokokken–Glanerbrug Inf (24 h)–Glanerbrug voeding UF

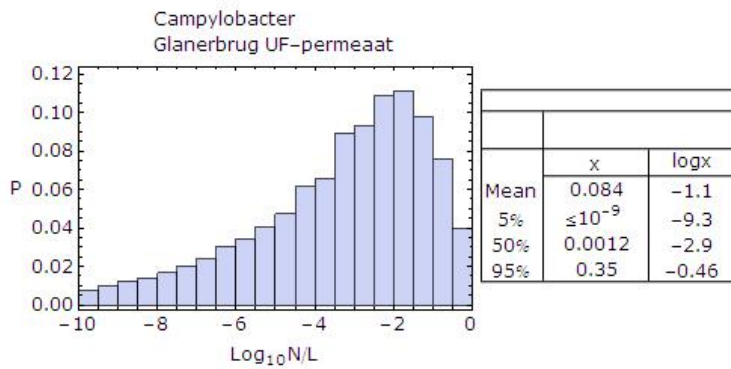
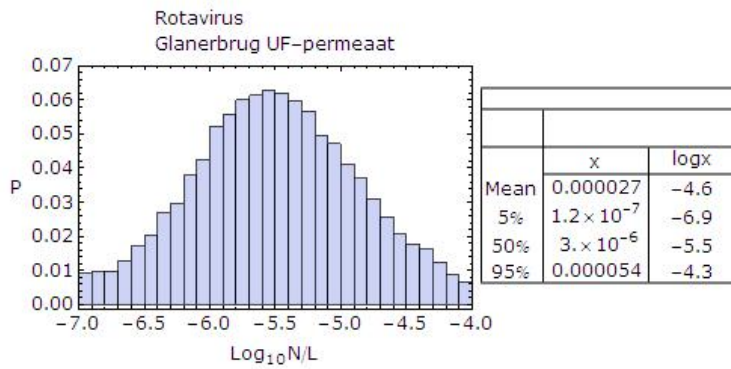
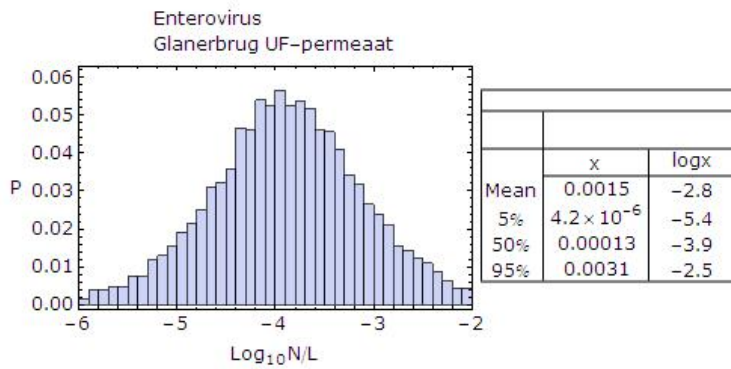


Figuur 12 Geschatte verwijdering van bacteriën door conventionele afvalwaterzuivering

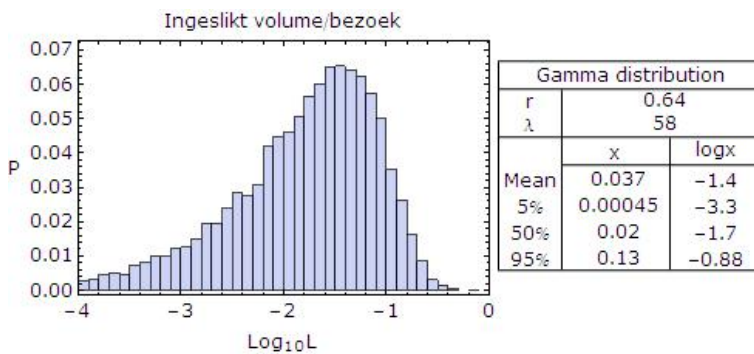


Figuur 13 Geschatte verwijdering van indicatororganismen door UF

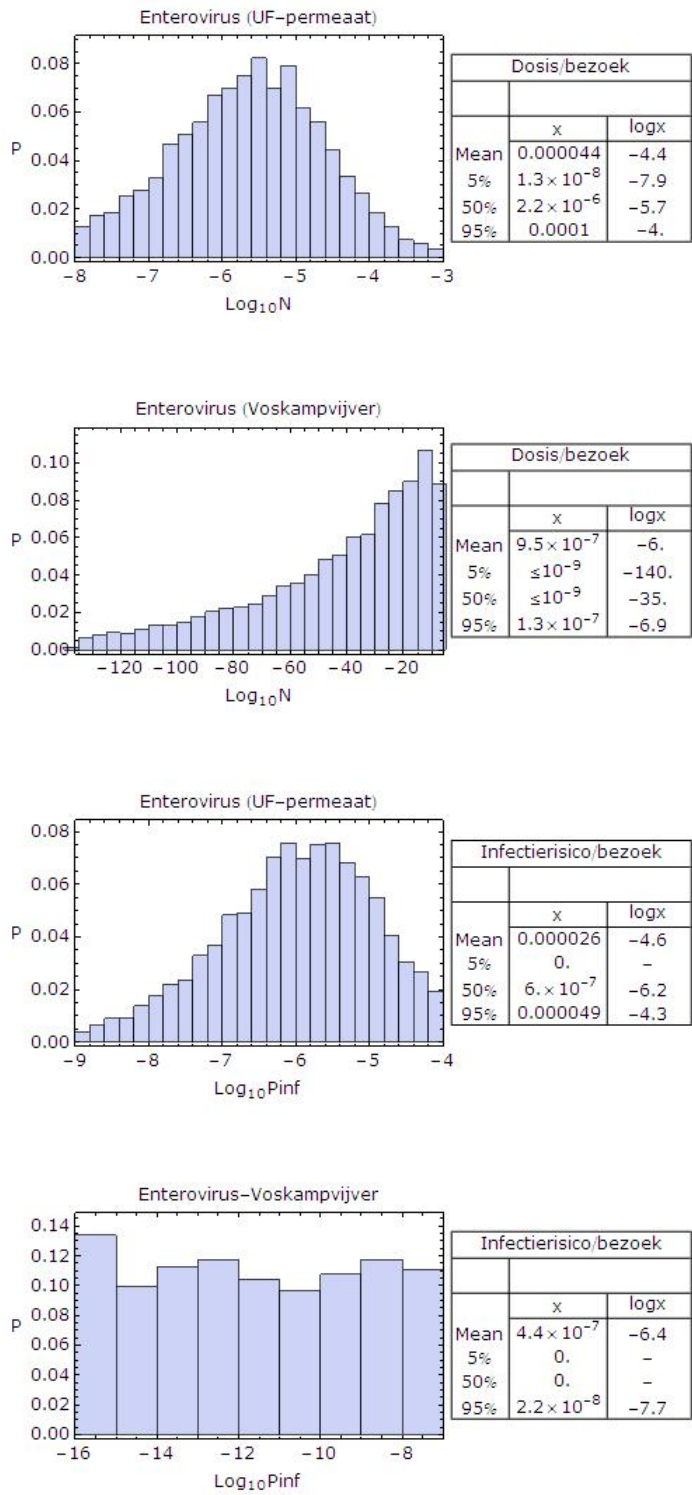




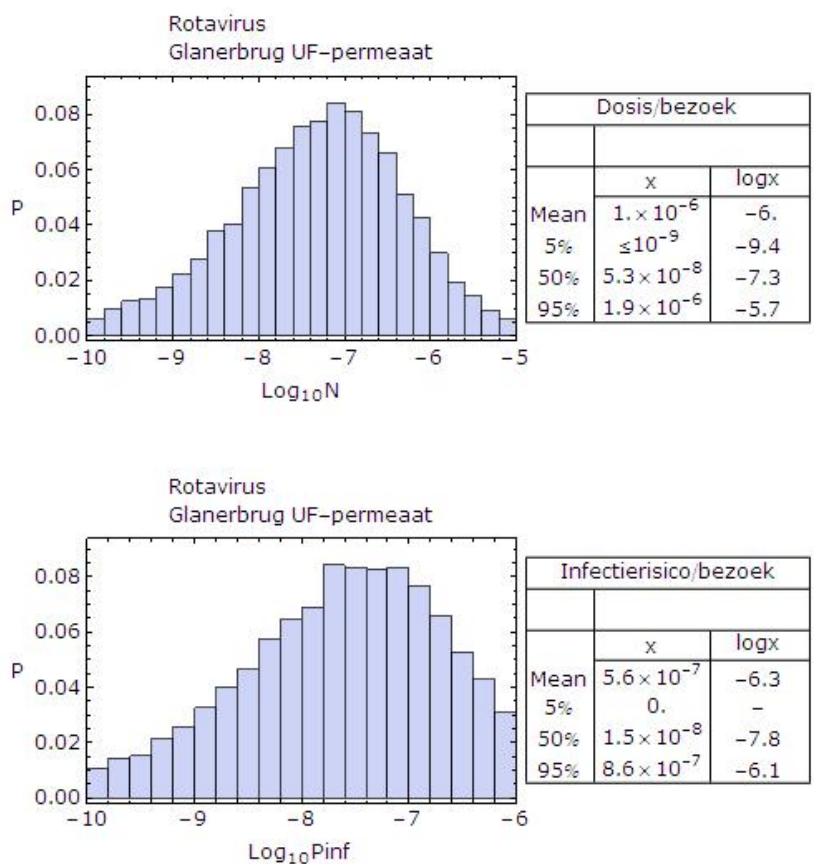
Figuur 14 Berekende concentraties van pathogenen in UF-permeaat



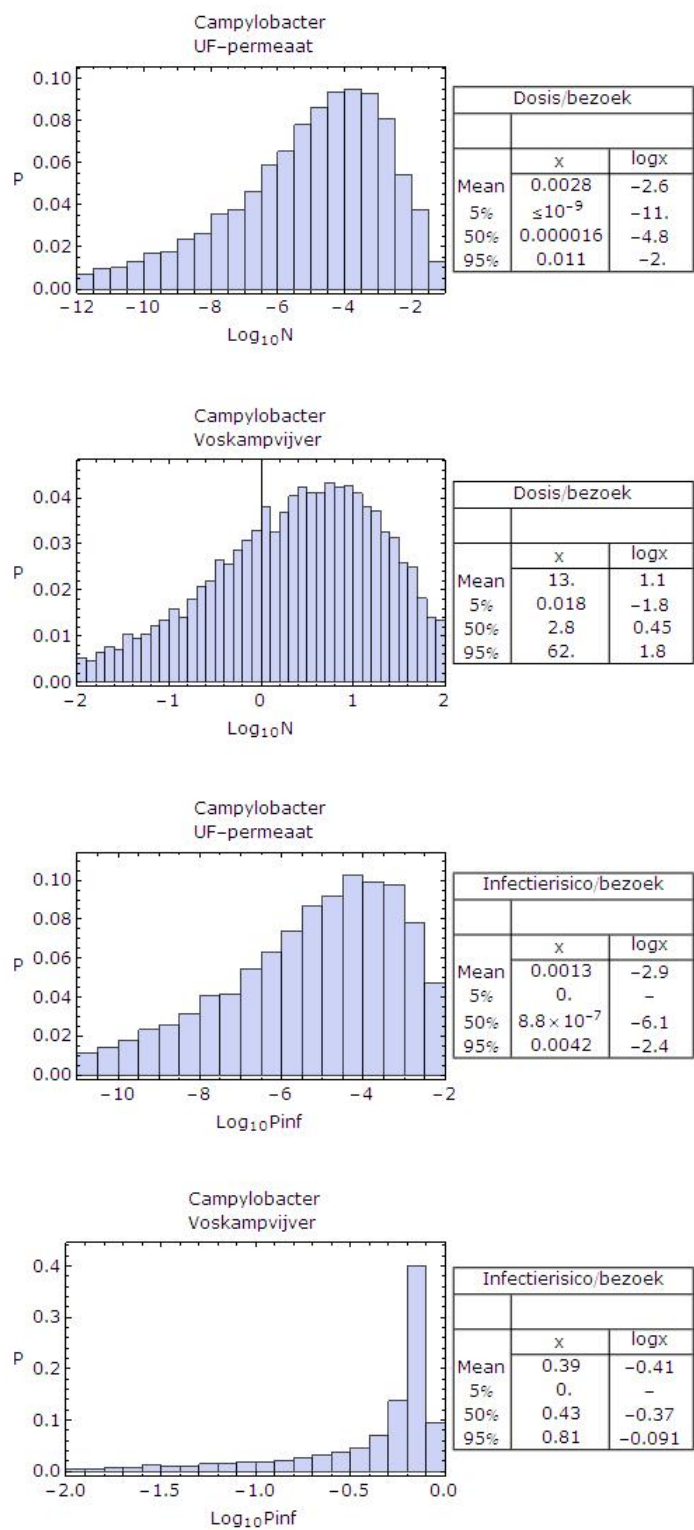
Figuur 15 Ingeslikt volume water door kinderen per zwembadbezoek



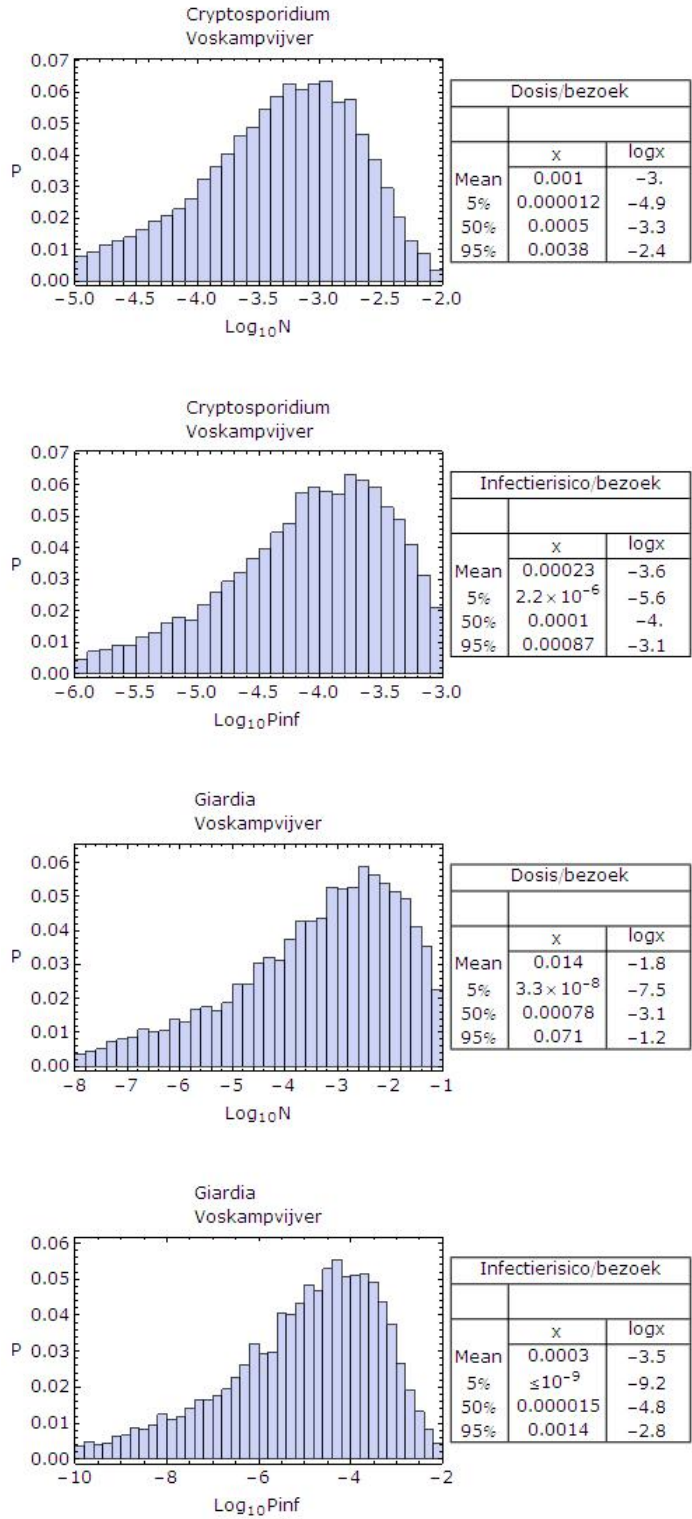
Figur 16 Enterovirus: dosis en infectierisico



Figuur 17 Rotavirus: dosis en infectierisico



Figuur 18 Campylobacter: dosis en infectierisico



Figuur 19 Cryptosporidium en Giardia: dosis en infectierisico



## Ruwe data

Tabel 1 Tellingen en onderzochte volumes van uitgevoerde virusbepalingen

Datum	Omschrijving	Somatische colifagen		F-specifieke fagen		Enterovirus	
		n	Volume (L)	n	Volume (L)	n	Volume (L)
22-2-2011	Hengelo Inf (24 h)	279	0,00004222	347	0,0002422	45	2,359
	Hengelo Aanvoer UF	453	0,0000242	35	0,000622		
	Hengelo UF permeaat	14	63,562	0	67,179	0	323,146
	Glanerbrug Inf (24 h)	302	0,0000422	241	0,0000422	133	3,086
	Glanerbrug Aanvoer UF	94	0,0000422	241	0,000622	21	5,939
	Voskampvijver	23	20,09916263	470	26,6549	0	21,5569
28-6-2011	Glanerbrug Inf (24 h)	208	0,0000022	420	0,000222	39	0,16901
	Glanerbrug Aanvoer UF	62	0,000002	58	0,00022	0	3,85863
	Glanerbrug Aanvoer UF	147	0,000002	60	0,00022	0	2,79649
	Glanerbrug UF permeaat	2463	58,278	46	69,668	0	166,743
	Glanerbrug UF permeaat	443	13,8228	6	62,7229	0	167,065
	Voskampvijver	367	20,6044	0	20,4144	0	189,112

Tabel 1 Vervolg

Datum	Omschrijving	Somatische colifagen		F-specifieke fagen		Enterovirus	
		n	Volume (L)	n	Volume (L)	n	Volume (L)
22-8-2011	Glanerbrug Inf (24 h)	195	0,0000022	164	0,000222	39	0,19765
	Glanerbrug Aanvoer UF	183	0,000002	69	0,00022	5	8,39254
	Glanerbrug Aanvoer UF	181	0,000002	36	0,00022	0	1,12122
	Glanerbrug UF permeaat	321	37,5916	0	65,2687	0	243,555
	Glanerbrug UF permeaat	393	45,7547	0	90,1887	0	246,226
	Voskampvijver	240	1,2834	110	23,4459	0	144,391

Tabel 2 Tellingen en onderzochte volumes van uitgevoerde bacteriebepalingen

Datum	Omschrijving	<b>E. coli</b>		<b>Enterokokken</b>	
		n	Volume (L)	n	Volume (L)
22-2-2011	Hengelo Inf (24 h)	102	0,0000222	117	0,0000222
	Hengelo Aanvoer UF	198	0,0000222	42	0,0000222
	Hengelo UF permeaat	0	0,6	0	0,6
	Glanerbrug Inf (24 h)	131	0,0000222	171	0,0000222
	Glanerbrug Aanvoer UF	46	0,0000222	49	0,0000222
	Voskampvijver	38	0,105	10	0,105
28-6-2011	Glanerbrug Inf (24 h)	48	0,0000022	35	0,0000022
	Glanerbrug Aanvoer UF	57	0,0000022	22	0,0000022
	Glanerbrug Aanvoer UF	23	0,0000022	103	0,0000222
	Glanerbrug UF permeaat	11	0,6	0	0,6
	Glanerbrug UF permeaat	70	0,6	0	0,6
	Voskampvijver	84	0,1	20	0,1
22-8-2011	Glanerbrug Inf (24 h)	52	0,0000022	22	0,0000222
	Glanerbrug Aanvoer UF	153	0,0000222	197	0,0000222
	Glanerbrug Aanvoer UF	141	0,0000222	153	0,0000222
	Glanerbrug UF permeaat	0	0,7	0	0,7
	Glanerbrug UF permeaat	0	0,7	0	0,7
	Voskampvijver	82	0,022	40	0,022



Tabel 3 Tellingen en onderzochte volumes van uitgevoerde bacteriebepalingen

Datum	Omschrijving	<b>Cryptosporidium</b>		<b>Giardia</b>	
		n	Volume (L)	n	Volume (L)
22-2-2011	Voskampvijver	nd	nd	nd	nd
28-6-2011	Voskampvijver	0	20	0	20
22-8-2011	Voskampvijver	1	16	13	16

Tabel 4: Tellingen en onderzochte volumes van directe bacteriofaagbepalingen en bepalingen in concentraat voor het vaststellen van het rendement van de detectiemethode voor virussen

Datum	Omschrijving	<b>Som fagen (voor)</b>		<b>Som fagen (na)</b>	
		n	Volume (L)	n	Volume (L)
22-2-2011	Hengelo Inf (24 h)	279	0,00004222	448	0,000181862
	Glanerbrug Inf (24 h)	302	0,0000422	262	0,000170264
	Glanerbrug Aanvoer UF	94	0,0000422	266	0,001774689
28-6-2011	Glanerbrug Inf (24 h)	208	0,0000022	559	0,000023627
	Glanerbrug Aanvoer UF	62	0,000002	1595	0,000395547
	Glanerbrug Aanvoer UF	147	0,000002	464	0,002075477
22-8-2011	Glanerbrug Inf (24 h)	195	0,0000022	1528	0,000029827
	Glanerbrug Aanvoer UF	183	0,000002	228	0,001728732
	Glanerbrug Aanvoer UF	181	0,000002	802	0,003355705

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven  
[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)