

RIVM rapport 734301 021

**TAPWAT berekeningen pathogene
micro-organismen;** in het kader van de Nationale
Milieuverkenning 2000-2030

N. Jonker, P. Cleij, J.H.C. Mülschlegel,
E.J.T.M. Leenen en J.F.M. Versteegh

Oktober 2000

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Directoraat Generaal Milieubeheer, Directie Bodem, Water, Landelijk Gebied, in het kader van project 734301, Normstelling en Handhaving Drinkwater.

Abstract

TAPWAT (Tool for the Analysis of the Production of drinkingWAter) calculations for pathogenic microorganisms

Of the total quantity of drinking water in the Netherlands about one-third is produced from surface water, usually from national waters. The quantity of groundwater used for drinking-water production is stabilising and water use will - according to the prognoses - continue to rise. National policy is geared to realising surface water of a quality which will allow production of drinking water using simple means and methods. Based on the present policies, the quality of the surface water will hardly show any change. In general, the greatest risk factor for drinking water produced from surface water is the occurrence of pathogenic microorganisms (e.g. viruses and protozoa) .

In the framework of the National Environmental Outlook 2000-2030, the risk for infections has been determined for a number of pathogenic microorganisms (entero-viruses, *Cryptosporidium* and *Giardia*) occurring in national and regional surface water sources used for drinking-water production. In the study presented here the risk of infections from the entero-viruses, *Cryptosporidium* and *Giardia*, was determined for 19 current and future intake centres and drinking-water purification locations. When applying the method used in this determination, simple purification based only on chemical means of disinfection was found to be insufficient. If an acceptable infection risk for pathogens is one infected person per 10,000 residents, this requirement will be exceeded. Conventional purification (with reservoirs) meets the entero-virus risk requirement for all locations, but not for *Cryptosporidium* and *Giardia* occurrences at the locations considered. The purification techniques of soil passage and double-membrane filtration are sufficient to guarantee a safe drinking-water production at all the locations investigated.

The concentrations of the pathogens investigated are lower in the regional surface waters considered than in the national waters. Conventional purification methods are sufficient here for producing safe drinking water. In future, this may be one of the factors making regional waters attractive as a source of drinking water for relatively small production units.

Voorwoord

Dit rapport is tot stand gekomen met medewerking van Ing. J.F. Schijven werkzaam bij het Microbiologisch Laboratorium voor Gezondheidsbescherming (MGB) van het RIVM. Bij deze willen wij hem graag bedanken voor het aanleveren van emissie- en verspreidingsgegevens.

Inhoud

Samenvatting	5
1. Inleiding	6
2. Aanpak en methodiek	7
2.1 <i>Micro-organismen</i>	7
2.2 <i>Rijks- en regionale onderzoekswateren</i>	7
2.3 <i>Emissie</i>	8
2.4 <i>Verspreiding</i>	8
2.5 <i>Zuivering</i>	9
2.5.1 <i>Zuiveringsschema's</i>	9
2.5.2 <i>Zuiveringsmodel TAPWAT</i>	9
2.5.2.1 <i>Waterkwaliteitsparameters</i>	10
2.5.2.2 <i>Procesparameters</i>	10
2.6 <i>Infectierisico</i>	10
3. Resultaten	12
3.1 <i>Emissie</i>	12
3.2 <i>Verspreiding</i>	13
3.3 <i>Drinkwaterkwaliteit</i>	14
3.4 <i>Infectierisico</i>	14
4. Discussie	17
4.1 <i>Emissie en verspreiding</i>	17
4.2 <i>Zuiveringsmodellering met TAPWAT</i>	18
4.3 <i>Infectierisico</i>	20
4.4 <i>Onzekerheden</i>	20
5. Conclusies	21
6. Aanbevelingen voor verder onderzoek	22
Afkortingen	23
Literatuur	24
Bijlage 1 Verzendlijst	27
Bijlage 2 Verwijderingspercentages	28
Bijlage 3 Drinkwaterconcentraties	29

Samenvatting

In het kader van de realisatie van de Nationale Milieuverkenning 2000-2030 is het infectierisico bepaald voor een aantal pathogene micro-organismen (enterovirussen, *Cryptosporidium* en *Giardia*) bij het gebruik van rijks- en regionale oppervlaktewateren als bron voor de bereiding van drinkwater. Dit rapport beschrijft de wijze waarop deze analyse is uitgevoerd.

In Nederland wordt van de totale hoeveelheid drinkwater ongeveer éénderde deel bereid uit oppervlaktewater, meestal rijkswater. In de toekomst zal dit aandeel toenemen omdat de hoeveelheid grondwater bestemd voor drinkwaterproductie wordt gestabiliseerd en het watergebruik volgens de prognoses verder zal stijgen.

Het overheidsbeleid is gericht op een kwaliteit oppervlaktewater waaruit met eenvoudige middelen drinkwater geproduceerd kan worden. Op basis van het huidige beleid zal de kwaliteit van het oppervlaktewater nauwelijks veranderen. In het algemeen is de grootste risicofactor voor de kwaliteit van drinkwater bereid uit oppervlaktewater het voorkomen van pathogene micro-organismen (o.a. virussen en protozoa). In dit onderzoek is het risico op infectie met enterovirussen, *Cryptosporidium* en *Giardia* bij toepassing van 19 huidige en toekomstige innamepunten en zuiveringslocaties voor de drinkwaterproductie bepaald. Bij gebruik van de rijkswateren blijkt dat een eenvoudige zuivering gebaseerd op alleen chemische desinfectie niet voldoet. Indien men uitgaat van een acceptabel infectierisico voor pathogenen van één geïnfecteerde persoon per 10.000 inwoners per jaar, wordt deze eis overschreden. Een conventionele zuivering (met spaarbekkens) voldoet voor alle locaties aan de risico-eis voor enterovirussen, maar niet voor *Cryptosporidium* en *Giardia* op alle beschouwde locaties. De zuiveringstechnieken bodempassage en dubbele membraanfiltratie zijn voldoende om een veilige drinkwaterproductie te garanderen op alle onderzochte locaties.

De concentraties van de onderzochte pathogenen zijn lager in de beschouwde regionale oppervlaktewateren dan in de rijkswateren. Een conventionele zuivering kan hier voldoende zijn voor veilig drinkwater. In de toekomst is dit mogelijk één van de factoren die regionale wateren als drinkwaterbron voor relatief kleine productie-eenheden aantrekkelijk maakt.

1. Inleiding

In Nederland wordt van de totale hoeveelheid drinkwater ongeveer éénderde deel bereid uit oppervlaktewater, meestal rijkswater. Het toekomstige beleid is vanwege het verdrogingsaspect gericht op een stabilisatie van de omvang van grondwaterwinningen (VROM, 1995). In de toekomst zal meer gebruik gemaakt gaan worden van oppervlaktewater als bron voor de drinkwatervoorziening. Naast rijkswater biedt de inzet van regionale wateren de mogelijkheid om de voorgenomen stabilisatie van grondwaterwinningen te realiseren. Het beleid is daarbij gericht op een kwaliteit oppervlaktewater waaruit met eenvoudige middelen drinkwater geproduceerd kan worden (VROM, 1995).

In het kader van de Nationale Milieuverkenning 2000-2030 is het infectierisico bepaald voor een aantal pathogene micro-organismen (enterovirussen, *Cryptosporidium* en *Giardia*) bij toepassing van 19 rijks- en regionale wateren als bron voor de bereiding van drinkwater. Hierbij zijn zowel huidige als toekomstige zuiveringslocaties beschouwd. Voor deze pathogenen zijn mogelijk toekomstige infectierisico's bepaald aan de hand van de ketenbenadering van emissie van een micro-organisme in het milieu tot en met de uiteindelijk concentratie in drinkwater. Bij het berekenen van de infectierisico's is uitgegaan van een acceptabel risico voor pathogenen van één geïnfecteerde persoon per 10.000 inwoners per jaar.

Dit rapport beschrijft de wijze waarop de analyse is uitgevoerd voor de Nationale Milieuverkenning 2000-2030.

Het rapport geeft een overzicht van de uitgevoerde analyse van het infectierisico met de micro-organismen enterovirussen, *Cryptosporidium* en *Giardia* bij de inzet van 19 rijks- en regionale watersystemen voor de drinkwatervoorziening. In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven van het onderzoek en de daarbij toegepaste methodiek. In hoofdstuk 3 zijn de verkregen resultaten weergegeven. Hoofdstuk 4 omvat een discussie over de resultaten en gebruikte methodiek. Tenslotte volgen de conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 5 en 6.

2. Aanpak en methodiek

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van het onderzoek en de gebruikte methodiek (Mons *et al*, 1996; Jonker *et al*, 1997; Jonker *et al*, 1999). Het onderzoek is uitgevoerd aan de hand van de ketenbenadering van emissie van een aantal micro-organismen in het milieu tot en met de concentratie in drinkwater: emissie → verspreiding → zuivering/drinkwaterbereiding → concentratie in drinkwater → infectierisico.

2.1 Micro-organismen

In het algemeen is de grootste risicofactor voor de kwaliteit van drinkwater bereid uit oppervlaktewater het voorkomen van pathogene micro-organismen. De micro-organismen enterovirussen, *Cryptosporidium* en *Giardia* zijn vanwege hun hoge resistentie in waterzuiveringsprocessen, hun persistentie in het milieu en hun hoge infectiviteit van groot belang bij het vaststellen van de kwaliteit van oppervlaktewater welke dient als grondstof voor drinkwater (Schijven *et al*, 1995).

Om deze reden is in dit onderzoek een analyse uitgevoerd van het infectierisico voor de volgende groepen pathogene micro-organismen:

- enterovirussen
- *Cryptosporidium* sp
- *Giardia* sp

2.2 Rijks- en regionale onderzoekswateren

Om het effect van zuivering te kunnen berekenen zijn eerst diverse rijks- en regionale wateren geselecteerd. De selectie van de wateren is gebaseerd op de resultaten van het onderzoek 'Toepassing Atlantis; in het kader van de Nationale Milieuverkenning 2000-2030' (Galen van en Mülschlegel, 2000) waarbij op basis van regionaal verdeelde waterbehoefte en huidige en potentiële projecten een watervoorzienings-infrastructuur wordt bepaald. Hierbij spelen o.a. de voor dit onderzoek geselecteerde wateren als project een grote rol. Voor dit onderzoek zijn de volgende 19 rijks- en regionale watersystemen c.q. zuiveringslocaties geselecteerd (regionale wateren zijn wateren die niet onder directe invloed staan van de Rijn, Maas en IJsselmeer):

Watersysteem/zuiveringslocatie	type water
- Itteren-Borgharen (Maas)	rijkswater
- Maas-Waalkanaal	rijkswater
- PIM-Lith (Maas)	rijkswater
- Andelse Maas	rijkswater
- Rotterdam-Berenplaat (Maas)	rijkswater
- Haringvliet	rijkswater
- Amsterdam-Weesperkarspel (Bethunepolder)	rijkswater
- Waterleidingplas Amsterdam (Bethunepolder)	rijkswater
- Zuid-Willemsvaart	rijkswater
- Andijk (IJsselmeer)	regionaal water
- Markermeer (IJsselmeer)	regionaal water
- Zuid-Flevoland (IJsselmeer)	regionaal water
- Van-Harinxmakanaal	regionaal water
- Groningen-de-Punt (Drentsche Aa)	regionaal water
- Meppelerdiep	regionaal water

- Gronings/Drentsche beken	regionaal water
- Enschede-Weerseloseweg (Twentekanaal)	regionaal water
- Overijsselsche Vecht	regionaal water
- Beatrixkanaal	regionaal water

2.3 Emissie

De emissies van de onderzochte micro-organismen zijn berekend aan de hand van het economische toekomstscenario 'European Coordination (EC)'. Het EC-scenario is opgesteld door het CPB en heeft betrekking op het zichtjaar 2020 (CPB, 1997; RIVM, 1997); vanwege gebrek aan nieuwe gegevens is in dit onderzoek gebruik gemaakt van de resultaten van de berekeningen uitgevoerd voor de Nationale Milieuverkenning 1997-2020 (Jonker *et al*, 1997).

Het EC-scenario gaat uit van een normale economische groei en geldt alleen voor de Nederlandse situatie. Na aanvulling van het economische EC-scenario met de voor de te onderzoeken micro-organismen desbetreffende milieubeleidsmaatregelen, zijn de emissies berekend met het emissiemodel PROMISE (PROgnosis Model for Inputs to Surface water and Emission). Het model PROMISE is een reken- en scenariomodel en kwantificeert per micro-organisme de oppervlaktewaterbelasting in Nederland voor zowel het verleden, het heden als de toekomst. Voor meer informatie over het model PROMISE wordt verwezen naar Verstappen *et al* (1995) en Schijven *et al* (1995).

Pathogene micro-organismen komen voornamelijk in het oppervlaktewater terecht door lozing van al dan niet gezuiverd rioolwater en zuiveringsslib en drainagewater afspoeling van mest van landbouwhuisdieren vanuit landbouwgronden. Bij het berekenen van de emissie van micro-organismen naar oppervlaktewater wordt geen rekening gehouden met de aanvoer vanuit het buitenland (Duitsland: Rijn; België: Maas). Voor de bepaling van de hoeveelheden micro-organismen in (drink)water is deze buitenlandse aanvoer echter een zeer belangrijke factor. Voor de micro-organismen is daarom een extra aanvulling voor de aanvoer vanuit het buitenland aan het EC-scenario toegevoegd.

2.4 Verspreiding

Na het berekenen van de emissies volgt de berekening van de verspreiding in het oppervlaktewater van de te onderzoeken pathogene micro-organismen. De verspreiding van de micro-organismen in oppervlaktewater is berekend met het verspreidingsmodel WATNAT (WATERberekeningen NATionaal). In het kader van de Nationale Milieuverkenning 1997-2020 zijn reeds berekeningen uitgevoerd met PROMISE en gebruikt voor berekeningen met WATNAT. Voor dit onderzoek is gebruikt gemaakt van deze berekeningsresultaten.

Het model WATNAT is een nationaal waterkwaliteitsmodel en berekent het transport en de verspreiding van micro-organismen in oppervlaktewater. Het WATNAT model is gebaseerd op de PAWN-schematisatie (Policy Analysis for Watermanagement in the Netherlands) en omvat alle belangrijke wateren in Nederland; naast de grote Nederlandse binnenwateren (PAWN-segmenten) zijn tevens op sterk geschematiseerde wijze de kleinere Nederlandse binnenwateren (PAWN-districten) opgenomen. Voor meer informatie over het model WATNAT wordt verwezen naar de Nijs *et al* (1993).

2.5 Zuivering

2.5.1 Zuiveringsschema's

Tijdens zuivering wordt het overgrote deel van de te onderzoeken micro-organismen verwijderd uit het ruwe water. De output (ruwwaterconcentratie) van het verspreidingsmodel WATNAT dient als input voor de zuivering. De zuivering is doorgerekend met het model TAPWAT (zie §2.5.2). Voor het berekenen van het effect van zuivering is voor elk geselecteerd watersysteem een viertal zuiveringsschema's doorgerekend. Bij zogenoemde 'eenvoudige zuivering' dient de kwaliteit van de bron(nen) dusdanig te zijn dat met een eenvoudige zuivering kan worden volstaan. Dit type zuivering is als meest wenselijke zuivering meegenomen ter vergelijking met de overige zuiveringsprocessen (VROM, 1995). De zuiveringsschema's zien er als volgt uit:

Zuivering I ('eenvoudige zuivering')

- Hoofddesinfectie (ozon)
- Flocculatie/coagulatie
- Snelle zandfiltratie
- Nadesinfectie (Cl₂)

Zuivering III (bodempassage)

- Bodempassage (open winning)
- Ultrafiltratie
- Snelle zandfiltratie

Zuivering II (spaarbekken)

- Spaarbekken
- Hoofddesinfectie (ozon)
- Flocculatie/coagulatie
- Snelle zandfiltratie
- Actief koolfiltratie
- Beluchting
- Nadesinfectie (Cl₂)

Zuivering IV (membraanfiltratie)

- Flocculatie/coagulatie
- Snelle zandfiltratie
- Ultrafiltratie
- Hyperfiltratie
- pH correctie

2.5.2 Zuiveringsmodel TAPWAT

Voor elk geselecteerd rijks- en regionaal watersysteem zijn alle zuiveringsschema's doorgerekend met het model TAPWAT (Tool for the Analysis of the Production of drinkingWATER) (Kragt *et al*, 1996; Gaalen van *et al*, 2000). Het zuiveringsmodel TAPWAT beschrijft de drinkwaterzuivering van ruwwater tot het water dat de zuivering verlaat (in dit geval drinkwater). Hierbij dient de berekende (geprognostiseerde) waterkwaliteit per beschouwde zuiveringslocatie van de geselecteerde rijks- en regionale oppervlaktewateren als inputgegeven voor het TAPWAT model. Voor elk watersysteem zijn alle zuiveringsschema's, waaronder de 'eenvoudige zuivering' doorgerekend met versie 1.1.1 van het zuiveringsmodel TAPWAT (Cleij, in voorbereiding).

Het model kan zowel uitgaan van verwijderingspercentages per micro-organisme per zuiveringsstap, als met procesmodules. Procesmodules zijn alleen beschikbaar en toegepast voor de zuiveringsstappen chloring en ozonisatie; voor alle overige zuiveringsstappen zijn verwijderingspercentages gebruikt. In bijlage 2 is een overzicht gegeven van de verwijderingspercentages gebruikt in deze studie (Gaal van *et al*, 2000). Bij elke berekening van TAPWAT met verwijderingspercentages is gebruik gemaakt van het geometrisch gemiddelde van de minimum en maximum verwijderingspercentages. Bij het doorrekenen van de zuivering(en) met de procesmodules wordt gebruik gemaakt van een aantal waterkwaliteits- en procesparameters. Deze worden in §2.5.2.1 en §2.5.2.2 besproken.

2.5.2.1 Waterkwaliteitsparameters

De procesmodules voor chloring en ozonisatie maken gebruik van de kwaliteitsparameters temperatuur, pH en DOC-gehalte.

Op basis van DONAR-gegevens (Data Omgang Natte Rijkswaterstaat) (Rijkswaterstaat, 1999) van het temperatuurverloop voor de zuiveringslocatie Itteren-Borgharen in 1994, 1995, 1996, 1997 en 1998 is een gemiddeld jaarverloop van de temperatuur geconstrueerd met hulp van een TAPWAT voorbewerkingsfunctie.

Er is gekozen voor de zuiveringslocatie Itteren-Borgharen, omdat naast de representatieve ligging van dit water voor de Nederlandse situatie tevens van deze locatie de meeste gegevens voorhanden bleken te zijn.

Het geconstrueerde gemiddelde jaartemperatuurverloop is meegenomen in de TAPWAT-berekeningen en gebruikt voor alle geselecteerde wateren. In tabel 1 staat het gemiddelde, minimum en maximum van het geconstrueerde gemiddelde jaartemperatuurverloop weergegeven.

Tabel 1: Waarden geconstrueerde gemiddelde jaartemperatuurverloop

Gemiddelde	Minimum	Maximum
12.8 °C	4.0 °C	21.8 °C

Voor dit onderzoek is een constante pH-waarde aangenomen van 8.3. Deze waarde is bepaald door de jaar-gemiddelde pH-waarden in de periode 1992-1997 voor winplaatsen van oppervlaktewater uit REWAB (REgistratie WAterkwaliteitsgegevens Bedrijven) te middelen over alle winplaatsen.

Ook het DOC-gehalte is constant gehouden en vastgesteld op 3.2; deze parameter is echter niet van invloed op de berekeningsresultaten van dit onderzoek, maar dient bij het zuiveringsmodel TAPWAT wel ingevoerd te worden.

2.5.2.2 Procesparameters

Bij gebruik van de procesmodules voor chloring en ozonisatie is een aantal procesparameters van belang, namelijk dosis, contacttijd en restconcentratie.

Voor *chloring* zijn op basis van literatuurgegevens de volgende procesparameters opgesteld voor de TAPWAT-berekeningen:

Dosis:	1 mg/l Cl ₂	(Stichting Wateropleidingen 1996; Kiwa, 1996)
Contacttijd:	30 min.	(Stichting Wateropleidingen 1996)
Restconcentratie:	0.3 mg/l Cl ₂	(Stichting Wateropleidingen 1996)

Voor *ozonisatie* zijn op basis van literatuurgegevens de volgende procesparameters opgesteld voor de TAPWAT-berekeningen:

Dosis:	1 mg/l ozon	(Evers, 1996)
Contacttijd:	12 min.	(Evers, 1996; Kiwa, 1999)
Restconcentratie:	0.1 mg/l ozon	(Evers, 1996)

2.6 Infectierisico

Na het berekenen van de concentraties van de te onderzoeken pathogene micro-organismen in drinkwater met behulp van het zuiveringsmodel TAPWAT, zijn mogelijk toekomstige infectierisico's berekend. Bij het berekenen van deze risico's is uitgegaan van een acceptabel risico voor pathogenen van één geïnfecteerde persoon per 10.000 inwoners per jaar met behulp van dosis-respons modellering (Teunis *et al*, 1996; Versteegh *et al*, 1997). Hierbij is uitgegaan van een consumptie van 0.50 liter ongekookt drinkwater per persoon per dag en een extra veiligheidsfactor van 10.

Voor enterovirussen is gebruik gemaakt van het Beta-Poisson dosis-respons model voor rotavirus, als meest infectieuze darmvirus en voor *Giardia* en *Cryptosporidium* van het exponentiële dosis-respons model (Teunis *et al*, 1996).

In dit onderzoek is voor elk micro-organisme het jaarinfectierisico (de kans voor één persoon op één of meerdere infecties gedurende een jaar) bepaald uitgaande van een over een jaar constante dag-dosis, bepaald op basis van de jaargemiddelde concentratie in drinkwater (Versteegh *et al*, 1997). De berekening van de jaarrisico's is uitgevoerd met het TAPWAT model, waarbij een rekenfunctie is gebruikt die het mogelijk maakt berekeningen te doen waarin door TAPWAT berekende concentraties zijn verwerkt. Dergelijke berekeningen in de vorm van wiskundige formules kunnen als input aan TAPWAT worden opgegeven. Tevens is een samengesteld jaarrisico op infectie bepaald in de vorm van de kans voor één persoon op één of meerdere infecties met enterovirussen, *Cryptosporidium* en/of *Giardia* gedurende een jaar.

3. Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten besproken van de emissieberekeningen naar en de verspreidingsberekeningen in oppervlaktewater van de pathogene micro-organismen enterovirussen, *Cryptosporidium* en *Giardia*. Aan de hand van de concentraties van de pathogene micro-organismen in drinkwater na het doorlopen van de diverse zuiveringsschema's zijn tenslotte mogelijk toekomstige gezondheidsrisico's geïnventariseerd.

3.1 Emissie

Zoals in paragraaf 2.3 is aangegeven, zijn de emissies van de micro-organismen via huishoudelijk afvalwater berekend in relatie tot de bevolkingsgroei volgens het EC-scenario. Tevens is uitgegaan van een toename van het aantal huishoudens dat is aangesloten op rwzi's. Het blijkt dat vanaf 1990 de emissie van enterovirussen en *Giardia* tot het jaar 2000 afneemt ten gevolge van het toegenomen percentage aansluitingen van huishoudens op rwzi's met 14%, respectievelijk 10% en daarna toeneemt ten gevolge van de bevolkingsgroei. Tot 2020 nemen daardoor de emissies van enterovirussen en *Giardia* via huishoudelijk afvalwater uiteindelijk af met 7% respectievelijk 2% t.o.v 1990. *Cryptosporidium* wordt minder efficiënt gezuiverd dan *Giardia* en enterovirussen. Hierdoor heeft de toename in het aantal aangesloten huishoudens op rwzi's minder effect en overheerst de toename ten gevolge van de bevolkingsgroei. Naar verwachting neemt de emissie van *Cryptosporidium* daardoor toe met 24% in de periode 1990-2020.

Voorgenomen technische maatregelen ter verbetering van de zuiverings-efficiëntie of vermindering van ongezuiverde lozingen in Nederland leveren nauwelijks een bijdrage aan de verbetering van de kwaliteit van oppervlaktewater dat wordt gebruikt voor de drinkwatervoorziening.

De concentraties van de pathogene micro-organismen in (drink)water worden momenteel vooral bepaald door buitenlandse aanvoer (Duitsland: Rijn; België: Maas) (Schijven, 1996). Uit de geprognostiseerde emissie-berekeningen blijkt dat de emissie van enterovirussen en *Giardia* via huishoudelijk afvalwater naar de Maas in België met een factor 3 afneemt en die van *Cryptosporidium* met een factor 2 (Schijven, 1996). Volgens de prognoses voor de vracht aan totaal stikstof, is de afname hierin voornamelijk het gevolg van de toename in de zuivering van huishoudelijk afvalwater en vindt er geen reductie plaats van de stikstofemissie door de landbouw. Derhalve is er naar verwachting geen afname van betekenis in de aanvoer van *Cryptosporidium* en *Giardia* vanuit België via dierlijke mest (Schijven, 1996).

Via de Rijn vanuit Duitsland is een soortgelijke situatie van betekenis. Naar verwachting vindt er dus tot 2020 geen verandering van betekenis plaats in de aanvoer vanuit het buitenland (Schijven, 1996).

De emissies naar oppervlaktewater van de onderzochte micro-organismen zullen dus tot 2020 niet tot nauwelijks veranderen t.o.v 1990. Tabel 2 geeft de totale emissies naar oppervlaktewater weer van enterovirussen, *Cryptosporidium* en *Giardia* via huishoudelijk afvalwater in Nederland in 1990.

Zoals eerder aangegeven, hebben de berekeningen betrekking op het zichtjaar 2020.

Aangezien echter de emissies van de onderzochte micro-organismen naar het oppervlaktewater tot 2020 niet tot nauwelijks zullen veranderen t.o.v 1990, kan verondersteld worden dat de berekeningsresultaten tevens gelden tot 2030.

Tabel 2: Totale emissies naar oppervlaktewater via huishoudelijk afvalwater van enterovirussen, *Cryptosporidium* en *Giardia* in 1990 berekend met PROMISE (Jonker et al, 1997)

Micro-organisme	Totale emissie naar oppervlaktewater in 1990
Enterovirussen (in pvp*)	2.4E+13
<i>Cryptosporidium</i> (in oöcysten)	8.0E+12
<i>Giardia</i> (in cysten)	1.9E+13

* plaquevormende partikels

3.2 Verspreiding

De ruwwaterconcentraties van de onderzochte micro-organismen in de 19 geselecteerde rijk- en regionale wateren zijn berekend met het verspreidingsmodel WATNAT voor 1994. Deze berekeningen zijn gebaseerd op de berekende emissies van 1990. In tabel 3 zijn voor de pathogene micro-organismen de berekende gemiddelde ruwwaterconcentraties in 1994 weergegeven voor alle geselecteerde watersystemen.

Tabel 3: Berekende gemiddelde ruwwaterconcentraties enterovirussen, *Cryptosporidium* en *Giardia* in 1994 (geldend tot 2020/2030) in alle geselecteerde watersystemen cq zuiveringslocaties

Rijks- en regionale wateren/zuiveringslocaties	Enterovirussen (in pvp*/l)	<i>Cryptosporidium</i> (in oöcysten/l)	<i>Giardia</i> (in cysten/l)
Itteren-Borgharen (Maas)	7.55	7.78	71.80
Maas-Waalkanaal	2.00	6.11	28.64
PIM-Lith (Maas)	1.68	5.91	22.87
Andelse Maas	1.34	5.26	17.47
Rotterdam-Berenplaat (Maas)	1.13	5.03	14.29
Haringvliet	0.22	4.10	3.51
Amsterdam-Weesperkarspel (Bethunepolder)	0.28	4.15	5.43
Waterleidingplas Amsterdam (Bethunepolder)	0.13	3.26	0.35
Zuid-Willemsvaart	0.71	4.67	5.37
Andijk (IJsselmeer)	0.02	1.87	0.38
Markermeer (IJsselmeer)	0.0002	0.15	0.001
Zuid-Flevoland (IJsselmeer)	0.006	0.39	0.004
Van-Harinxmakanaal	0.006	0.17	0.005
Groningen-de-Punt (Drentsche Aa)	0.02	0.38	0.01
Meppelerdiep	0.22	0.96	0.14
Gronings/Drentsche beken	0.22	1.00	0.14
Enschede-Weerseloseweg (Twentekanaal)	0.10	0.30	0.09
Overijsselsche Vecht	0.85	5.55	78.54
Beatrixkanaal	0.10	1.35	0.42

* plaquevormende partikels

Gezien de nauwelijks veranderende emissies, zal tot 2020/2030 ook de oppervlaktewaterkwaliteit t.o.v. 1994 voor de onderzochte micro-organismen vrijwel niet veranderen. De oppervlaktewaterkwaliteit van de regionale wateren (behalve Overijsselsche Vecht) is beduidend beter dan die van de rijkswateren. Het IJsselmeer (zuiveringslocatie Markermeer) en het Van-Harinxmakanaal hebben voor alle onderzochte micro-organismen de beste oppervlaktewaterkwaliteit.

3.3 Drinkwaterkwaliteit

Na het doorlopen van de diverse zuiveringschema's zijn de reinwaterconcentraties bepaald voor enterovirussen, *Cryptosporidium* en *Giardia*. In bijlage 3 zijn de berekende drinkwaterconcentraties weergegeven bij de geselecteerde zuiveringslocaties.

Bij de procesmodules chlooring en ozonisatie wordt gebruik gemaakt van kwaliteits- en procesparameters. De sterke temperatuursafhankelijkheid van de chlooring, verandering van de pH, de chloordosis en de contacttijd zijn variabel en spelen een grote rol bij de berekening van de reinwaterconcentraties.

3.4 Infectierisico

In de tabellen 4, 5 en 6 is een overzicht gegeven van de berekende jaar-infectierisico's voor enterovirussen, respectievelijk *Cryptosporidium* en *Giardia* bij de geselecteerde zuiveringslocaties. In tabel 7 is vervolgens een overzicht gegeven van de samengestelde jaarrisico's voor enterovirussen/*Cryptosporidium*/*Giardia*, berekend volgens:

$R = 1 - (1 - R_{Ent}) * (1 - R_{Cry}) * (1 - R_{Gia})$, waarbij R = risico. Vet gedrukt zijn de waarden weergegeven boven het jaar-infectierisico van één geïnfecteerde persoon per 10.000 inwoners (10^{-4}).

Tabel 4: Jaarrisico's op basis van de gemiddelde concentraties enterovirussen in drinkwater

Rijks- en regionale wateren/zuiveringslocaties	Zuivering I	Zuivering II	Zuivering III	Zuivering IV
Itteren-Borgharen (Maas)	7.77E-02	8.10E-06	4.53E-10	4.53E-08
Maas-Waalkanaal	3.86E-02	3.94E-06	1.20E-10	1.20E-08
PIM-Lith (Maas)	3.41E-02	3.47E-06	1.01E-10	1.01E-08
Andelse Maas	2.82E-02	2.86E-06	8.05E-11	8.05E-09
Rotterdam-Berenplaat (Maas)	2.46E-02	2.49E-06	6.77E-11	6.77E-09
Haringvliet	4.83E-03	4.84E-07	1.31E-11	1.31E-09
Amsterdam-Weesperkarspel (Betunepolder)	4.44E-03	4.45E-07	1.66E-11	1.66E-09
Waterleidingplas Amsterdam (Betunepolder)	2.43E-03	2.44E-07	7.50E-12	7.50E-10
Zuid-Willemsvaart	1.09E-02	1.09E-06	4.23E-11	4.23E-09
Andijk (IJsselmeer)	3.81E-04	3.81E-08	9.73E-13	9.86E-11
Markermeer (IJsselmeer)	3.53E-06	3.53E-10	9.03E-15 ¹⁾	8.92E-13
Zuid-Flevoland (IJsselmeer)	1.53E-04	1.53E-08	3.65E-13	3.69E-11
Van-Harinxmakanaal	1.49E-04	1.49E-08	4.05E-13	3.89E-11
Groningen-de-Punt (Drentsche Aa)	4.03E-04	4.03E-08	1.05E-12	1.06E-10
Meppelerdiep	3.38E-03	3.38E-07	1.33E-11	1.33E-09
Gronings/Drentsche beken	2.95E-03	2.95E-07	1.32E-11	1.32E-09
Enschede-Weerseloseweg (Twentekanaal)	2.11E-03	2.11E-07	6.00E-12	5.99E-10
Overijsselsche Vecht	6.03E-03	6.05E-07	5.11E-11	5.12E-09
Beatrixkanaal	1.28E-03	1.28E-07	5.84E-12	5.82E-10

¹⁾ Berekend met behulp van de benaderingsformule uit Versteegh *et al* (1997); toegepast omdat de 'gewone' formule het getal '0' opleverde vanwege afrondingsfouten

Voor enterovirussen geldt dat de 'eenvoudige zuivering' (zuivering I) niet voldoet aan de risico-eis van één geïnfecteerde persoon per 10.000 inwoners per jaar, behalve bij het Markermeer als zuiveringslocatie. De zuiveringen II, III en IV met spaarbekkens, respectievelijk bodempassage en membraanfiltratie zijn voldoende om microbiologisch veilig drinkwater te garanderen voor enterovirussen op alle zuiveringslocaties.

Tabel 5: Jaarrisico's op basis van gemiddelde concentraties *Cryptosporidium* in drinkwater

Rijks- en regionale wateren/zuiveringslocaties	Zuivering I	Zuivering II	Zuivering III	Zuivering IV
Itteren-Borgharen (Maas)	4.23E-03	2.38E-04	3.11E-07	9.34E-11
Maas-Waalkanaal	3.51E-03	1.97E-04	2.44E-07	7.33E-11
PIM-Lith (Maas)	3.40E-03	1.91E-04	2.37E-07	7.10E-11
Andelse Maas	3.04E-03	1.71E-04	2.11E-07	6.32E-11
Rotterdam-Berenplaat (Maas)	2.91E-03	1.64E-04	2.01E-07	6.04E-11
Haringvliet	2.60E-03	1.46E-04	1.64E-07	4.92E-11
Amsterdam-Weesperkarspel (Bethunepolder)	2.53E-03	1.43E-04	1.66E-07	4.99E-11
Waterleidingplas Amsterdam (Bethunepolder)	1.57E-03	8.84E-05	1.30E-07	3.91E-11
Zuid-Willemsvaart	2.65E-03	1.49E-04	1.87E-07	5.60E-11
Andijk (IJsselmeer)	1.20E-03	6.75E-05	7.47E-08	2.24E-11
Markermeer (IJsselmeer)	8.46E-05	4.76E-06	6.20E-09	1.86E-12
Zuid-Flevoland (IJsselmeer)	2.70E-04	1.52E-05	1.58E-08	4.74E-12
Van-Harinxmakanaal	9.97E-05	5.61E-06	6.95E-09	2.07E-12
Groningen-de-Punt (Drentsche Aa)	2.03E-04	1.14E-05	1.53E-08	4.58E-12
Meppelerdiep	5.16E-04	2.90E-05	3.84E-08	1.15E-11
Gronings/Drentsche beken	4.89E-04	2.75E-05	4.00E-08	1.20E-11
Enschede-Weerseloseweg (Twentekanaal)	1.87E-04	1.05E-05	1.19E-08	3.57E-12
Overijsselsche Vecht	2.85E-03	1.61E-04	2.22E-07	6.67E-11
Beatrixkanaal	7.21E-04	4.06E-05	5.42E-08	1.63E-11

Voor *Cryptosporidium* geldt dat de 'eenvoudige zuivering' (zuivering I) niet voldoet aan het jaar-infectierisico van 10^{-4} per persoon, behalve bij de zuiveringslocaties Markermeer en Van-Harinxmakanaal. Bij zuivering II (spaarbekkens) voldoet de helft van de wateren aan de risico-eis; dit zijn Waterleidingplas Amsterdam en de regionale watersystemen behalve de Overijsselsche Vecht. De zuiveringen III en IV met bodempassage en membraanfiltratie zijn voldoende om microbiologisch veilig drinkwater te garanderen voor *Cryptosporidium* op alle zuiveringslocaties.

Tabel 6: Jaarrisico's op basis van gemiddelde concentraties *Giardia* in drinkwater

Rijks- en regionale wateren/zuiveringslocaties	Zuivering I	Zuivering II	Zuivering III	Zuivering IV
Itteren-Borgharen (Maas)	1.19E-02	6.73E-04	1.43E-05	4.28E-09
Maas-Waalkanaal	7.28E-03	4.11E-04	5.70E-06	1.71E-09
PIM-Lith (Maas)	6.37E-03	3.59E-04	4.55E-06	1.36E-09
Andelse Maas	5.18E-03	2.92E-04	3.48E-06	1.04E-09
Rotterdam-Berenplaat (Maas)	4.48E-03	2.53E-04	2.84E-06	8.53E-10
Haringvliet	1.13E-03	6.35E-05	6.98E-07	2.09E-10
Amsterdam-Weesperkarspel (Bethunepolder)	1.32E-03	7.42E-05	1.08E-06	3.24E-10
Waterleidingplas Amsterdam (Bethunepolder)	1.06E-04	5.98E-06	6.90E-08	2.07E-11
Zuid-Willemsvaart	1.17E-03	6.59E-05	1.07E-06	3.21E-10
Andijk (IJsselmeer)	1.32E-04	7.41E-06	7.51E-08	2.25E-11
Markermeer (IJsselmeer)	1.90E-07	1.07E-08	2.05E-10	8.10E-14
Zuid-Flevoland (IJsselmeer)	1.56E-06	8.75E-08	8.12E-10	2.43E-13
Van-Harinxmakanaal	1.82E-06	1.02E-07	1.03E-09	3.24E-13
Groningen-de-Punt (Drentsche Aa)	4.80E-06	2.70E-07	2.66E-09	8.10E-13
Meppelerdiep	3.45E-05	1.94E-06	2.87E-08	8.59E-12
Gronings/Drentsche beken	2.99E-05	1.68E-06	2.70E-08	8.10E-12
Enschede-Weerseloseweg (Twentekanaal)	2.89E-05	1.63E-06	1.78E-08	5.35E-12
Overijsselsche Vecht	8.47E-03	4.78E-04	1.56E-05	4.69E-09
Beatrixkanaal	3.59E-05	2.02E-06	8.36E-08	2.51E-11

Voor *Giardia* geldt dat bij de ‘eenvoudige zuivering’ (zuivering I) iets meer dan de helft van de zuiveringslocaties niet voldoet aan het jaar-infectierisico van 10^{-4} per persoon; behalve zuiveringslocatie Andijk en de Overijsselsche Vecht voldoen alle regionale watersystemen aan de risico-eis. Een conventionele zuivering met spaarbekkens (zuivering II) voldoet niet aan de risico-eis bij inzet van de Maas en de Overijsselsche Vecht. De zuiveringen III en IV met bodempassage en membraanfiltratie zijn voldoende om microbiologisch veilig drinkwater te garanderen voor *Giardia* op alle zuiveringslocaties.

Tabel 7: Samengestelde jaarrisico's voor enterovirussen/*Cryptosporidium*/*Giardia* op basis van de gemiddelde concentraties in drinkwater

Rijks- en regionale wateren/zuiveringslocaties	Zuivering I	Zuivering II	Zuivering III	Zuivering IV
Itteren-Borgharen (Maas)	9.26E-02	9.19E-04	1.46E-05	4.96E-08
Maas-Waalkanaal	4.90E-02	6.12E-04	5.94E-06	1.38E-08
PIM-Lith (Maas)	4.35E-02	5.54E-04	4.79E-06	1.15E-08
Andelse Maas	3.62E-02	4.66E-04	3.69E-06	9.15E-09
Rotterdam-Berenplaat (Maas)	3.18E-02	4.19E-04	3.04E-06	7.68E-09
Haringvliet	8.54E-03	2.10E-04	8.62E-07	1.57E-09
Amsterdam-Weesperkarspel (Bethunepolder)	8.27E-03	2.17E-04	1.25E-06	2.03E-09
Waterleidingplas Amsterdam (Bethunepolder)	4.11E-03	9.46E-05	1.99E-07	8.10E-10
Zuid-Willemsvaart	1.46E-02	2.16E-04	1.26E-06	4.61E-09
Andijk (IJsselmeer)	1.71E-03	7.50E-05	1.50E-07	1.44E-10
Markermeer (IJsselmeer)	8.83E-05	4.77E-06	6.40E-09	2.84E-12
Zuid-Flevoland (IJsselmeer)	4.25E-04	1.53E-05	1.66E-08	4.19E-11
Van-Harinxmakanaal	2.51E-04	5.72E-06	7.98E-09	4.13E-11
Groningen-de-Punt (Drentsche Aa)	6.10E-04	1.17E-05	1.79E-08	1.11E-10
Meppelerdiep	3.92E-03	3.13E-05	6.71E-08	1.35E-09
Gronings/Drentsche beken	3.47E-03	2.95E-05	6.71E-08	1.34E-09
Enschede-Weerseloseweg (Twentekanaal)	2.33E-03	1.23E-05	2.97E-08	6.08E-10
Overijsselsche Vecht	1.73E-02	6.39E-04	1.58E-05	9.87E-09
Beatrixkanaal	2.04E-03	4.27E-05	1.38E-07	6.24E-10

Voor het samengesteld jaar-infectierisico voor enterovirussen/*Cryptosporidium*/*Giardia* geldt dat de ‘eenvoudige zuivering’ (zuivering I) niet voldoet aan de risico-eis van één geïnfecteerde persoon per 10.000 inwoners per jaar, behalve bij de zuiveringslocatie Markermeer. Bij een conventionele zuivering met spaarbekkens (zuivering II) voldoet de helft van de wateren aan de risico-eis; dit zijn Waterleidingplas Amsterdam en de regionale watersystemen behalve de Overijsselsche Vecht. De zuiveringen III en IV met bodempassage en membraanfiltratie zijn voldoende om microbiologisch veilig drinkwater te garanderen voor alle onderzochte pathogene micro-organismen op alle zuiveringslocaties.

4. Discussie

In de discussie zullen de resultaten besproken worden. Hierbij wordt voornamelijk ingegaan op het zuiveringsmodel TAPWAT en het effect van de toegepaste kwaliteits- en procesparameters op de berekeningsresultaten. Doordat de resultaten zijn gebaseerd op berekende getallen, is het van belang rekening te houden met kwantitatieve onzekerheden.

4.1 Emissie en verspreiding

- Voor een uitgebreide discussie over het emissiemodel PROMISE en het verspreidingsmodel WATNAT wordt verwezen naar Mons *et al* (1996) en Jonker *et al* (1997).
- De aanvoer van de pathogene micro-organismen vanuit het buitenland is in belangrijke mate bepalend voor de oppervlaktewaterkwaliteit op de beschouwde locaties. Er is daarom een extra aanvulling voor de aanvoer vanuit het buitenland aan het EC-scenario toegevoegd (Schijven, 1996). De buitenlandse aanvoer van de protozoa en enterovirussen met huishoudelijk afvalwater als bron is daarbij echter onvoldoende gekwantificeerd (Schijven *et al*, 1996). Hierdoor is een bepaalde onzekerheid in de uiteindelijke berekende concentraties in oppervlaktewater (en dus in drinkwater) geïntroduceerd.
- Bij het bepalen van de oppervlaktewaterbelasting ontbreken kwantitatieve gegevens over lozingen van *Cryptosporidium* en *Giardia* via mest van landbouwhuisdieren. Een kwantitatieve relatie tussen mestafspoeling en emissie van *Cryptosporidium* en *Giardia* naar oppervlaktewater ontbreekt, alsmede gegevens over de verhouding uit- en afspoeling van mest. Hierdoor zal de concentratie micro-organismen in het oppervlaktewater waarschijnlijk hoger zijn dan berekend. In een recent onderzoek naar de emissie van *Cryptosporidium* en *Giardia* door landbouwhuisdieren zijn concentraties van deze protozoa gemeten in een groot aantal monsters mest van landbouwhuisdieren (Schijven *et al*, 1999). De bijdrage aan de daadwerkelijke belasting via bijvoorbeeld mestafspoeling van het oppervlaktewater is echter nog (steeds) onbekend (Schijven *et al*, 1999).
- Bij het berekenen van de emissies naar oppervlaktewater met PROMISE zijn de van toepassing zijnde emissiefactoren (bevolkingsgroei, productie afvalwater, lozingen door overstort e.d.) constant gehouden, waardoor voornamelijk piekconcentraties niet als zodanig tot uiting komen. Bij het bepalen van de oppervlaktewaterbelasting met micro-organismen zijn deze piekconcentraties echter van zeer groot belang. Voor een uitgebreide discussie wordt verwezen naar Mons *et al* (1996) en Schijven *et al* (1996).
- Bij het berekenen van de emissies met PROMISE en de verspreiding met WATNAT van de pathogene micro-organismen naar en in oppervlaktewater moet rekening gehouden worden met het feit dat modellering concentraties ruimtelijk afvlakt. Het verspreidingsmodel WATNAT gaat uit van een volledige menging in een PAWN-segment, waardoor lokale verschillen met modellering niet zichtbaar zijn. Hierdoor zal een bepaalde onzekerheid geïntroduceerd worden bij het uitvoeren van de modelberekeningen.
- Voor dit onderzoek zijn de berekeningsresultaten gebruikt van de Nationale Milieuverkenning 1997-2020. Enkele basisdata (bemestingsfactoren, buitenlandse aanvoer, bevolkingsgroei e.d.) gebruikt voor de Nationale Milieuverkenning 1997-2020 zullen echter anders zijn dan de basisdata gebruikt voor de Nationale Milieuverkenning 2000-2030.

4.2 Zuiveringsmodellering met TAPWAT

• Bij gebruik van het zuiveringsmodel TAPWAT is gebruik gemaakt van de kwaliteitsparameters temperatuur, pH en DOC-gehalte. Het DOC-gehalte is in dit onderzoek niet van invloed op de berekeningsresultaten; de temperatuur en de pH daarentegen hebben wel invloed op de berekeningsresultaten waarbij procesmodules zijn toegepast (zuivering I en II). Tabel 8 geeft een overzicht van de berekende jaarrisico's voor enterovirussen, *Cryptosporidium* en *Giardia* bij verandering van de kwaliteitsparameters temperatuur en pH op basis van de gemiddelde concentraties in drinkwater voor de zuiveringslocatie Itteren-Borgharen.

Tabel 8: Jaarrisico's pathogene micro-organismen bij verandering van de kwaliteitsparameters temperatuur en pH voor de zuiveringslocatie Itteren-Borgharen (Maas) (dik gedrukt = boven jaarinfectierisico van 10^{-4})

Micro-organisme	Kwaliteits-parameters	Zuivering I	Zuivering II
enterovirussen	Zie tabel 4	7.77E-02	8.10E-06
	minimum temp.*	1.62E-01	1.77E-05
	pH = 7.3	1.07E-02	1.08E-06
	pH = 6.3	4.57E-03	4.58E-07
<i>Cryptosporidium</i>	Zie tabel 5	4.23E-03	2.38E-04
	minimum temp.*	4.95E-03	2.79E-04
	pH = 7.3	4.22E-03	2.38E-04
	pH = 6.3	4.22E-03	2.38E-04
<i>Giardia</i>	Zie tabel 6	1.19E-02	6.73E-04
	minimum temp.*	2.29E-02	1.30E-03
	pH = 7.3	1.05E-02	5.94E-04
	pH = 6.3	8.86E-03	5.00E-04
Samengesteld enterovirussen/ <i>Cryptosporidium</i> / <i>Giardia</i>	Zie tabel 7	9.26E-02	9.19E-04
	minimum temp.*	1.85E-01	1.60E-03
	pH = 7.3	2.53E-02	8.33E-04
	pH = 6.3	1.76E-02	7.38E-04

* in °C

- temperatuur: bij toepassing van het geconstrueerde minimum jaartemperatuurverloop (zie tabel 9) i.p.v. het gemiddelde jaartemperatuurverloop (tabel 1) wordt een 'worst-case' situatie gesimuleerd, omdat de desinfectiestappen bij lage temperaturen minder effectief verlopen. Uit de berekeningsresultaten blijkt dan ook dat het jaarrisico op infectie bij toepassing van het minimum jaartemperatuurverloop groter is dan bij gebruik van het gemiddelde jaartemperatuurverloop. De desinfectie van enterovirussen en *Giardia* is gevoelig voor temperatuurswisselingen, het jaarinfectierisico bij toepassing van het minimum jaartemperatuurverloop is een factor 2 groter dan bij het gemiddelde jaartemperatuurverloop. Desinfectie van *Cryptosporidium* is het minst gevoelig voor temperatuursverlaging. Het samengesteld jaarrisico voor enterovirussen/ *Cryptosporidium*/*Giardia* is bij toepassing van het minimum jaartemperatuurverloop een factor 2 groter dan bij het gemiddelde jaartemperatuurverloop. Het blijkt dat lage temperaturen een verhoogd jaarrisico geven op infectie, dit betekent dat het infectierisico in de winter incidenteel kan worden overschreden.

Tabel 9: Waarden geconstrueerde minimum jaartemperatuurverloop

Gemiddelde	Minimum	Maximum
10.8 °C	0.5 °C	20.0 °C

- pH: om de invloed van de pH-waarde op de berekeningsresultaten te toetsen, is de pH-waarde verlaagd van 8.3 naar 7.3 en naar 6.3. Vooral enterovirussen blijken gevoelig te zijn voor pH-veranderingen, het jaarrisico is bij een pH-waarde van 7.3 een factor 7 lager en bij een pH-waarde van 6.3 zelfs een factor 17 lager dan bij een pH-waarde van 8.3. *Giardia* is nauwelijks en *Cryptosporidium* is vrijwel niet gevoelig voor pH-verlaging.

Het samengesteld jaarrisico voor enterovirussen/*Cryptosporidium*/*Giardia* is bij een pH-waarde van 7.3 meer dan een factor 3.5 lager en bij een pH van 6.3 een factor 5 lager dan bij een pH-waarde van 8.3.

Het blijkt dat verlaging van de pH-waarde een lager jaarrisico geeft.

- Bij gebruik van de procesmodules voor de zuiveringsstappen chloring en ozonisatie (zuivering I en II) zijn de procesparameters dosis, contacttijd en restconcentratie van belang. In tabel 10 is een overzicht gegeven van de berekende jaarrisico's bij verandering van de procesparameters bij chloring. De jaarrisico's zijn berekend op basis van de gemiddelde concentraties in drinkwater voor de zuiveringslocatie Itteren-Borgharen.

- chloring: de chloordosis is verhoogd van 1 naar 3.1 mg/l, de contacttijd is verlengd van 30 naar 47 minuten en de restconcentratie is verhoogd van 0.3 naar 1.3 mg/l. Het blijkt dat verhoging van de chloordosis, de contacttijd en de restconcentratie voornamelijk invloed heeft op enterovirussen en geeft een enorme verlaging van het jaarrisico met een factor 53. *Giardia* is tevens gevoelig voor verandering van de procesparameters, het jaarrisico is een factor 4 lager. *Cryptosporidium* is nauwelijks gevoelig voor chloring en de procesparameterveranderingen. Het samengesteld jaarrisico voor enterovirussen/*Cryptosporidium*/*Giardia* is bij verandering van de procesparameters een factor 2 tot 10 lager. Het blijkt dat verhoging van de procesparameters voor chloring (chloordosis, contacttijd en restconcentratie) het jaarrisico op infectie verlaagt.

Tabel 10: Jaarrisico's pathogene micro-organismen bij verandering van de procesparameters chloordosis, contacttijd en restconcentratie bij chloring (dik gedrukt = boven jaarinfectierisico van 10^{-4})

Micro-organisme	Zuivering	Dosis Cl ₂ = 1 mg/l Contacttijd = 30 min. Restconc. = 0.3 mg/l	Dosis Cl ₂ = 3.1 mg/l Contacttijd = 47 min. Restconc. = 1.3 mg/l
Enterovirussen	I	7.77E-02	1.53E-3
	II	8.10E-06	1.53E-7
<i>Cryptosporidium</i>	I	4.23E-3	4.22E-3
	II	2.38E-4	2.37E-4
<i>Giardia</i>	I	1.19E-2	2.90E-3
	II	6.73E-4	1.64E-4
Samengesteld entero/ <i>Crypto</i> / <i>Giardia</i>	I	9.26E-2	8.63E-3
	II	9.19E-4	4.01E-4

4.3 Infectierisico

- Voor een uitgebreide discussie over de infectierisico's en de gebruikte dosis-respons modellering voor enterovirussen, *Cryptosporidium* en *Giardia* wordt verwezen naar Teunis *et al* (1994), Teunis *et al* (1996) en Versteegh *et al* (1997).
- Bij het bepalen van de infectierisico's is uitgegaan van een acceptabel risico voor pathogenen van één geïnfecteerde persoon per 10.000 inwoners per jaar met behulp van dosis-respons modellering (Teunis *et al*, 1996; Versteegh *et al*, 1997). Dit houdt in dat voor de pathogene micro-organismen elke berekende concentratie een bepaald infectierisico met zich meebrengt. Veilige concentraties (het 0-risico) zijn in principe niet haalbaar.

4.4 Onzekerheden

In deze studie zijn op diverse punten aannames gedaan over aspecten die kwalitatief en kwantitatief niet altijd juist zullen zijn. Hierdoor zijn onzekerheden geïntroduceerd. In de voorgaande hoofdstukken zijn deze onzekerheden in meer of mindere mate kwalitatief benaderd. Het gaat dan om:

- factoren waar geen rekening mee gehouden is (afspoeling van mest)
- invoergegevens met onzekerheden (invoerdata PROMISE en temperatuurgegevens TAPWAT)
- onzekerheden in modelparameters (verwijderingspercentages)
- variatie in procesparameters voor TAPWAT (chloordosis, contacttijd, restconcentratie)

De onzekerheden zijn in dit kader niet kwantitatief uitgewerkt, omdat hierover te weinig gegevens beschikbaar zijn.

5. Conclusies

- De methodiek volgens de ketenbenadering kan met succes worden toegepast. Voor inhoudelijke conclusies ten aanzien van de toegepaste methodiek (de ketenbenadering) wordt verwezen naar Mons *et al* (1996) en Jonker *et al* (1997).
- De emissies van de pathogene micro-organismen (enterovirussen, *Cryptosporidium* en *Giardia*) naar het oppervlaktewater zullen tot 2020/2030 niet tot nauwelijks veranderen t.o.v. 1990.
- Tot 2020/2030 zal de oppervlaktewaterkwaliteit t.o.v. 1994 voor de pathogene micro-organismen vrijwel niet veranderen.
- De oppervlaktewaterkwaliteit van de regionale wateren is in de beschouwde periode beter dan die van de rijkswateren. Kanttekening hierbij is wel dat er geen rekening is gehouden met afspoeling van mest van landbouwhuisdieren vanuit landbouwgronden.
- De temperatuur van het ruwe water heeft invloed op de TAPWAT-berekeningsresultaten. Verlaging van de temperatuur verhoogt het jaarrisico op infectie met enterovirussen en *Giardia*; *Cryptosporidium* is nauwelijks gevoelig voor temperatuursverandering.
- De pH van het ruwe water heeft invloed op de TAPWAT-berekeningsresultaten. Verlaging van de pH verlaagt het jaarrisico op infectie voor enterovirussen; *Giardia* is nauwelijks en *Cryptosporidium* is vrijwel niet gevoelig voor pH-verlaging.
- De procesparameters dosis, contacttijd en restconcentratie gebruikt in de TAPWAT-procesmodules ozonisatie en chlooring beïnvloeden de berekeningsresultaten. Verhoging van de procesparameters voor chlooring verlaagt het jaarrisico op infectie voor enterovirussen. Alhoewel *Giardia* minder gevoelig is, wordt ook hiervoor een verlaging van het jaarinfectierisico geconstateerd; *Cryptosporidium* is nauwelijks gevoelig voor chlooring en de procesparameterveranderingen.
- Voor de pathogene micro-organismen geldt dat de ‘eenvoudige zuivering’ niet voldoet aan de risico-eis van één geïnfecteerde persoon per 10.000 inwoners per jaar voor enterovirussen en *Cryptosporidium*; voor *Giardia* geldt dat de onderzochte regionale watersystemen wel voldoen aan de risico-eis.
- Een conventionele zuivering met spaarbekkens voldoet wel aan het jaar-infectierisico van 10^{-4} per persoon voor enterovirussen maar niet op alle zuiveringslocaties voor *Cryptosporidium* en *Giardia*; voor *Cryptosporidium* en *Giardia* geldt dat de onderzochte regionale watersystemen wel voldoen aan de risico-eis.
- De zuiveringen met bodempassage en membraanfiltratie zijn voldoende om microbiologisch veilig drinkwater te garanderen voor de pathogene micro-organismen op alle onderzochte zuiveringslocaties.

6. Aanbevelingen voor verder onderzoek

- Voor aanbevelingen omtrent de gebruikte methodiek wordt verwezen naar Mons *et al* (1996) en Jonker *et al* (1997).
- Het toepassen van verwijderingspercentages waarbij gebruik is gemaakt van het geometrisch gemiddelde van de minimum en maximum waarden brengt onzekerheden met zich mee. Het verdient daarom aanbeveling uitbreiding van de procesmodules in het zuiveringsmodel TAPWAT te stimuleren. Met een goed ontwikkeld en gevalideerd zuiveringsmodel kan een meer nauwkeurige uitspraak worden gedaan ten aanzien van mogelijke infectierisico's.
- Het gebruik van bodempassage of membraanfiltratie tijdens zuivering dient gestimuleerd te worden.

Afkortingen

CPB	Centraal Plan Bureau
DOC	dissolved organic carbon
DONAR	Data Omgang NATte Rijkswaterstaat
EC	European Coordination
MGB	Microbiologisch Laboratorium voor Gezondheidsbescherming
PAWN	Policy Analysis for Watermanagement in the Netherlands
PROMISE	PROgnosis Model for Inputs to Surface water and Emission
REWAB	REgistratie Waterkwaliteitsgegevens Bedrijven
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
TAPWAT	Tool for the Analysis of the Production of drinkingWATer
VROM	Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieu
WATNAT	WATer NATionaal

Literatuur

- Cleij P (in voorbereiding)
TAPWAT versie 1.1.1,
LWD-rapport, Bilthoven

- CPB (1997)
Lange Termijn Verkenning,
Centraal Plan Bureau, Den Haag, 1997.

- Evers EG (1996)
Chloring en ozonisatie: de empirische benadering,
RIVM Bilthoven, Tweede concept, 23 september 1996.

- Gaalen van FW en Mülschlegel JHC (2000)
Toepassing Atlantis; in het kader van de Nationale Milieuverkenning 2000-2030,
RIVM-rapport 703717009, Bilthoven, 2000.

- Gaalen van FW, Rietveld LC, Evers EG, Versteegh JFM, Aldenberg TA (2000)
TAPWAT 1.0 Definition, structure and applications for modelling drinking water treatment,
RIVM-report 734301019, Bilthoven, 2000.

- Jonker N, Versteegh JFM, Schijven JF en van Gaalen FW (1997)
Oppervlaktewater als bron voor drinkwater: prognose van de gezondheidsrisico's,
RIVM-rapport 734301015, Bilthoven, december 1997.

- Jonker N, van Puijenbroek PJTM, Lips F, Schijven JF en Versteegh JFM (1999)
Oppervlaktewater als bron voor drinkwater: regionale oppervlaktewateren, diagnose,
prognose en inzet van regionale watersystemen voor de drinkwatervoorziening,
RIVM rapport 703717005, Bilthoven, juni 1999.

- Kiwa (1996)
Inventarisatie informatie drinkwaterzuiveringsmiddelen en monitorsystemen,
Kiwa KOA 96.069, Nieuwegein, maart 1996.

- Kiwa (1999)
Opbouw en kentallen drinkwaterzuiveringen; De Nederlandse drinkwatervoorziening in
1999,
Kiwa KOA 99.057, Nieuwegein, maart 1999.

- Kragt FJ, van Gaalen FW, Rietveld LC en Schijven JF (1996)
Definitiestudie Zuiveringsmodel Drinkwater,
RIVM-rapport 734301009, Bilthoven, augustus 1996.

- Mons MN, Verweij W, de Nijs ACM, Schijven JF, Medema GJ en Versteegh JFM (1996)
Oppervlaktewater als bron voor drinkwater: diagnose van de gezondheidsrisico's,
RIVM-rapport 734301013, Bilthoven, december 1996.

- Nijs de ACM, Janse JH, Wortelboer FG, Kramer PRG en Aldenberg TA (1993)
WATNAT, Model documentation version 1.0,
LWD-notitie 93-13, december 1993.

- Rijkswaterstaat (1999)
DONAR Gebruikershandleiding Opslagsysteem deel 1 Algemeen,
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, versienummer 4.0, juli 1999.

- RIVM (1997)
Achtergronden bij Nationale Milieuverkenning 4 1997-2020,
Samson H.D. Tjeenk Willink bv, Alphen aan de Rijn, 1997.

- Schijven JF (1996)
Prognose emissie en verspreiding van enterovirussen, *Cryptosporidium* en *Giardia*,
Bijdrage MGB aan Milieuverkenningen 1997, RIVM Bilthoven, december 1996.

- Schijven JF, Annema JA, de Nijs ACM, Theunissen JJH en Medema GJ (1995)
Enterovirussen in het oppervlaktewater in Nederland-Emissie en verspreiding berekend met
PROMISE en WATNAT-Pilotstudie,
RIVM-rapport 289202006, Bilthoven, juni 1995.

- Schijven JF, de Bruin HAM, Engels GB en Leenen EJTM (1999)
Emissie van *Cryptosporidium* en *Giardia* door landbouwhuisdieren,
RIVM-rapport 289202023, Bilthoven, november 1999.

- Schijven JF, Medema GJ, de Nijs ACM en Elzenga JG (1996)
Emissie en verspreiding van *Cryptosporidium*, *Giardia* en enterovirussen via huishoudelijk
afvalwater,
RIVM-rapport 289202014, Bilthoven, oktober 1996.

- Stichting Wateropleidingen, 1996,
“Waterzuivering”, Utrecht.

- Teunis PFM, Havelaar AH en Medema GJ (1994)
A literature survey on the assesment of microbiological risk for drinking water,
RIVM-report 734301006, Bilthoven, july 1994.

- Teunis PFM, van der Heijden OG, van der Giessen JWB en Havelaar AH (1996)
The dose-response relation in human volunteers for gastro-intestinal pathogens,
RIVM-report 284550002, Bilthoven, May 1996.

- Verstappen G, Quarles van Ufford C, Annema JA, Slootweg J en Elzenga JG (1995)
PROMISE, Concept scenariomodel voor de berekening van de belasting van het
oppervlaktewater,
RIVM/RIZA, februari 1995.

- Versteegh JFM, Evers EG en Havelaar AH (1997)
Gezondheidsrisico's en normstelling voor huishoudwater,
RIVM-rapport 289202019, Bilthoven, september 1997.

- VROM (1995)
Beleidsplan Drink- en Industriewatervoorziening, deel 3,
Kabinetsstandpunt, Sdu Uitgeverij, Den Haag, 1995.

Bijlage 1 Verzendlijst

- 1 De Directeur van de Directie DGM/BWL van het Ministerie van VROM
- 2 Dr. Ir. B.C.J. Zoeteman, Plv. DG van DGM van het Ministerie van VROM
- 3 Ir. G.W. Ardon, DGM/BWL van het Ministerie van VROM
- 4 Ir. W. Cramer, DGM/BWL van het Ministerie van VROM
- 5 Depot Nederlandse Publicaties en Nederlandse Bibliografie
- 6 Directie Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
- 7 Prof. Ir. N.D. van Egmond
- 8 Ir. F. Langeweg
- 9 Dr. Ir. A.M. Henken, MGB
- 10 Dr. A.M. de Roda Husman, MGB
- 11 Ing. J.F. Schijven, MGB
- 12 Ir. A.H.M. Bresser, LWD
- 13-17 Auteurs
- 18 Hoofd Bureau Voorlichting en Public Relations
- 19 Bureau Rapportenregistratie
- 20 Bibliotheek Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
- 21-30 Bureau Rapportenbeheer
- 31-40 Reserve exemplaren

Bijlage 2 Verwijderingspercentages

Verwijderingspercentages minimum en maximum (in %) voor enterovirussen, *Cryptosporidium* en *Giardia* voor de in dit onderzoek van toepassing zijnde zuiveringsstappen (Galen van *et al*, 2000).

	Min. %	Max. %
Spaarbekken		
Enterovirussen	99	99.9999
<i>Cryptosporidium</i>	68.4	99
<i>Giardia</i>	68.4	99
Flocculatie/coagulatie en snelle zandfiltratie		
Enterovirussen	90	99
<i>Cryptosporidium</i>	99	99.7
<i>Giardia</i>	99	99.7
Bodempassage (open winning)		
Enterovirussen	99.999999	99.999999
<i>Cryptosporidium</i>	99.9	99.9
<i>Giardia</i>	99.9	99.9
Hyperfiltratie		
Enterovirussen	99.9	99.9999
<i>Cryptosporidium</i>	99.9	99.9997
<i>Giardia</i>	99.9	99.9997
Ultrafiltratie		
Enterovirussen	99	99.99997
<i>Cryptosporidium</i>	99.9	99.9997
<i>Giardia</i>	99.9	99.9997

Bij de zuiveringsstappen actief koolfiltratie, beluchting en pH-correctie zijn de verwijderingspercentages voor de pathogene micro-organismen 0 %.

Bijlage 3 Drinkwaterconcentraties

Berekende gemiddelde concentraties enterovirussen in drinkwater (in pvp/l). Vet gedrukt zijn de concentraties boven de gezondheidkundige risicogrens voor enterovirussen in drinkwater van $1.8 \cdot 10^{-7}$ pvp/l.

Rijks- en regionale wateren/zuiveringslocaties	Zuivering I	Zuivering II	Zuivering III	Zuivering IV
Itteren-Borgharen (Maas)	7.40E-04	7.40E-08	4.14E-12	4.14E-10
Maas-Waalkanaal	3.60E-04	3.60E-08	1.10E-12	1.10E-10
PIM-Lith (Maas)	3.17E-04	3.17E-08	9.20E-13	9.20E-11
Andelse Maas	2.61E-04	2.61E-08	7.36E-13	7.36E-11
Rotterdam-Berenplaat (Maas)	2.27E-04	2.27E-08	6.18E-13	6.18E-11
Haringvliet	4.43E-05	4.43E-09	1.20E-13	1.20E-11
Amsterdam-Weesperkarspel (Betunepolder)	4.07E-05	4.07E-09	1.51E-13	1.51E-11
Waterleidingplas Amsterdam (Betunepolder)	2.23E-05	2.23E-09	6.85E-14	6.85E-12
Zuid-Willemsvaart	9.98E-05	9.98E-09	3.87E-13	3.87E-11
Andijk (IJsselmeer)	3.48E-06	3.48E-10	9.01E-15	9.01E-13
Markermeer (IJsselmeer)	3.23E-08	3.23E-12	8.25E-17	8.25E-15
Zuid-Flevoland (IJsselmeer)	1.40E-06	1.40E-10	3.37E-15	3.37E-13
Van-Harinxmakanaal	1.37E-06	1.37E-10	3.55E-15	3.55E-13
Groningen-de-Punt (Drentsche Aa)	3.68E-06	3.68E-10	9.68E-15	9.68E-13
Meppelerdiep	3.09E-05	3.09E-09	1.22E-13	1.22E-11
Gronings/Drentsche beken	2.70E-05	2.70E-09	1.21E-13	1.21E-11
Enschede-Weerseloseweg (Twentekanaal)	1.93E-05	1.93E-09	5.48E-14	5.48E-12
Overijsselsche Vecht	5.53E-05	5.53E-09	4.68E-13	4.68E-11
Beatrixkanaal	1.17E-05	1.17E-09	5.32E-14	5.32E-12

Berekende gemiddelde concentraties *Cryptosporidium* in drinkwater (in oöcysten/l). Vet gedrukt zijn de concentraties boven de gezondheidkundige risicogrens voor *Cryptosporidium* in drinkwater van $2.6 \cdot 10^{-5}$ oöcysten/l.

Rijks- en regionale wateren/zuiveringslocaties	Zuivering I	Zuivering II	Zuivering III	Zuivering IV
Itteren-Borgharen (Maas)	5.80E-03	3.26E-04	4.26E-07	1.28E-10
Maas-Waalkanaal	4.81E-03	2.70E-04	3.34E-07	1.00E-10
PIM-Lith (Maas)	4.66E-03	2.62E-04	3.24E-07	9.71E-11
Andelse Maas	4.17E-03	2.34E-04	2.88E-07	8.65E-11
Rotterdam-Berenplaat (Maas)	3.99E-03	2.24E-04	2.75E-07	8.26E-11
Haringvliet	3.56E-03	2.00E-04	2.25E-07	6.74E-11
Amsterdam-Weesperkarspel (Betunepolder)	3.47E-03	1.95E-04	2.28E-07	6.83E-11
Waterleidingplas Amsterdam (Betunepolder)	2.15E-03	1.21E-04	1.78E-07	5.35E-11
Zuid-Willemsvaart	3.63E-03	2.04E-04	2.56E-07	7.67E-11
Andijk (IJsselmeer)	1.64E-03	9.24E-05	1.02E-07	3.07E-11
Markermeer (IJsselmeer)	1.16E-04	6.51E-06	8.48E-09	2.54E-12
Zuid-Flevoland (IJsselmeer)	3.70E-04	2.08E-05	2.16E-08	6.47E-12
Van-Harinxmakanaal	1.36E-04	7.67E-06	9.51E-09	2.85E-12
Groningen-de-Punt (Drentsche Aa)	2.77E-04	1.56E-05	2.09E-08	6.27E-12
Meppelerdiep	7.06E-04	3.97E-05	5.26E-08	1.58E-11
Gronings/Drentsche beken	6.69E-04	3.76E-05	5.48E-08	1.64E-11
Enschede-Weerseloseweg (Twentekanaal)	2.55E-04	1.43E-05	1.63E-08	4.90E-12
Overijsselsche Vecht	3.91E-03	2.20E-04	3.04E-07	9.13E-11
Beatrixkanaal	9.87E-04	5.55E-05	7.42E-08	2.23E-11

Berekende gemiddelde concentraties *Giardia* in drinkwater (in cysten/l). Vet gedrukt zijn de concentraties boven de gezondheidskundige risicogrens voor *Giardia* in drinkwater van $5.5 \cdot 10^{-6}$ cysten/l.

Rijks- en regionale wateren/zuiveringslocaties	Zuivering I	Zuivering II	Zuivering III	Zuivering IV
Itteren-Borgharen (Maas)	3.30E-03	1.85E-04	3.93E-06	1.18E-09
Maas-Waalkanaal	2.01E-03	1.13E-04	1.57E-06	4.71E-10
PIM-Lith (Maas)	1.76E-03	9.90E-05	1.25E-06	3.76E-10
Andelse Maas	1.43E-03	8.03E-05	9.57E-07	2.87E-10
Rotterdam-Berenplaat (Maas)	1.24E-03	6.95E-05	7.82E-07	2.35E-10
Haringvliet	3.11E-04	1.75E-05	1.92E-07	5.76E-11
Amsterdam-Weesperkarspel (Betunepolder)	3.64E-04	2.04E-05	2.97E-07	8.92E-11
Waterleidingplas Amsterdam (Betunepolder)	2.93E-05	1.65E-06	1.90E-08	5.70E-12
Zuid-Willemsvaart	3.23E-04	1.82E-05	2.94E-07	8.83E-11
Andijk (IJsselmeer)	3.63E-05	2.04E-06	2.07E-08	6.20E-12
Markermeer (IJsselmeer)	5.23E-08	2.94E-09	5.66E-11	1.70E-14
Zuid-Flevoland (IJsselmeer)	4.29E-07	2.41E-08	2.24E-10	6.71E-14
Van-Harinxmakanaal	5.00E-07	2.81E-08	2.83E-10	8.49E-14
Groningen-de-Punt (Drentsche Aa)	1.32E-06	7.42E-08	7.31E-10	2.19E-13
Meppelerdiep	9.49E-06	5.34E-07	7.90E-09	2.37E-12
Gronings/Drentsche beken	8.24E-06	4.63E-07	7.45E-09	2.23E-12
Enschede-Weerseloseweg (Twentekanaal)	7.97E-06	4.48E-07	4.90E-09	1.47E-12
Overijsselsche Vecht	2.34E-03	1.32E-04	4.30E-06	1.29E-09
Beatrixkanaal	9.89E-06	5.56E-07	2.30E-08	6.91E-12