



Oratie

Van grote naar kleine aantallen en van kleine naar grote afstanden

Jack Schijven



Universiteit Utrecht

**Van grote naar kleine aantallen
en van kleine naar grote afstanden**

Inaugurele rede in verkorte vorm uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar 'Kwantitatieve microbiologische waterveiligheid' aan de faculteit Geowetenschappen van de Universiteit Utrecht, op 22 november 2013
door Jack Schijven

COLOFON

ISBN

978 90 6266 348 4

Uitgave

Universiteit Utrecht, 2013

Grafische verzorging

C&M (8525) – Faculteit Geowetenschappen – Universiteit Utrecht

Druk

Bergdrukkerij – Amersfoort

Coverfoto

Seven Star Cave, Guilin, Guangxi, China.

Mijnheer de Rector Magnificus, beste collega's, studenten, vrienden en familie

*Ik draag deze oratie op aan ons vader, die dit helaas net niet meer mee kon maken.
Hij kon orenen als de beste.*

I Inleiding

Met veel plezier maak ik u allen bekend met mijn leerstoel 'Kwantitatieve microbiologische waterveiligheid'.

Verspreiding via water van grote aantallen enterale ziekteverwekkende virussen, bacteriën en eencellige parasieten is een verhaal van alle tijden.

Een persoon met geïnfecteerde darmen kan zich misselijk voelen en kan diarree hebben. De infectie kan ook ongemerkt verlopen of juist ernstige ziektekachten geven. Ruw geschat verlaten per gram ontlasting één miljoen tot één miljard ziekteverwekkende micro-organismen het lichaam (WHO, 2011). De aantallen variëren sterk van micro-organisme tot micro-organisme en van moment tot moment. Daarom drukken we de aantallen vaak uit in orde van grootte, ofwel op logaritmische schaal, in dit geval dus zes tot negen logaritmes. Ik kan er best een paar log naast zitten, het is onzeker.

We volgen de micro-organismen op twee routes van mens via water totdat ze weer thuis zijn in onze darmen. Onderweg komen ze in het gezelschap van zoönotische micro-organismen van mest van landbouwhuisdieren en van in het wild levende dieren en vogels. Zoönotische micro-organismen kunnen ons ook infecteren.

We volgen de rivierroute en de grondwaterroute. De rivierroute is toilet, riool, rioolwaterzuivering, rivier, innamepunt voor drinkwaterproductie, drinkwaterzuivering, drinkwaterdistributie en consumptie van ongekookt drinkwater. De grondwaterroute is toilet, lekkend riool of septische tank, grondwater, grondwaterwinning, eventueel zuivering, drinkwaterdistributie en consumptie van ongekookt drinkwater.

Afspoeling van landbouwmest en poep van in het wild levende dieren en vogels brengt zoönotische micro-organismen op de rivierroute en infiltratie op de grondwaterroute. Afspoeling en infiltratie worden veroorzaakt door regenval. Zoönotische micro-organismen komen ook via industrieel afvalwater of directe inbreng op de rivierroute.

De mens komt natuurlijk ook via andere routes met ziekteverwekkende micro-organismen in aanraking, zoals via recreatiewater, lucht, voedsel en direct contact. Ik laat hier in het midden welke routes het meest belangrijk zijn. De bijdrage van de waterroute aan infectierisico's is zeker van land tot land verschillend.

Vanwege het onderzoek aan deze waterroutes wordt ik in familie- en vriendenkring als poeploloog gezien. Vandaag kan ik hen verzekeren dat ze in het gezelschap zijn van nog veel meer poeplologen. Voorwaar, u bent hier bij het putjesscheppersgilde.

2 De rivierroute

Tijdens de reis van toilet naar rioolwaterzuivering sterven er micro-organismen af en wordt het toiletwater verdund met ander afvalwater en regenwater. Bij een rioolwaterzuivering komen één tot één miljoen ziekteverwekkende micro-organismen per liter water aan, dus nul tot zes logaritmes per liter (WHO, 2011). Incidenteel kunnen dit nog hogere aantallen zijn. Gewone darmbacteriën, zoals *E. coli*'s kunnen zelfs in aantallen tot tien miljard per liter voorkomen. Slechts een klein deel van de *E. coli*'s is ziekteverwekkend. Bij een kleinere rioolwaterzuivering zal de variatie in aantallen navenant groter zijn. Door bezinking en filtratie worden de aantallen gewoonlijk tien tot honderd keer verlaagd. Dat is een tot twee log verwijdering. Eén tot tien procent wordt op de rivier geloosd. Als door hevige regenval een rioolwaterzuivering het water niet kan verwerken wordt er ongezuiverd geloosd, wat pieken in de aantallen micro-organismen in de rivier kan geven.

In de rivier worden geloosde micro-organismen tien tot duizend keer verdund. Vaak wordt een pluim van gedeeltelijk verdund afvalwater met de rivier meegevoerd. Aantallen enterale ziekteverwekkende micro-organismen variëren meestal tussen nul en honderd per liter rivierwater, maar vooral aantallen bacteriën kunnen tot wel honderd keer hoger zijn. Dit is zeer verschillend per micro-organisme en van plaats tot plaats en van tijd tot tijd.

De meeste enterale micro-organismen kunnen zich in water niet vermeerderen, dit geldt zeker voor virussen en eencellige parasieten. Die hebben een gastheer nodig, in dit geval de mens. In het water vindt geleidelijk afsterving of inactivatie plaats. Ze gaan dood of zijn in elk geval niet meer infectieus. Inactivatie gaat sneller in warmer water en bij meer zonneschijn. Desondanks zijn er micro-organismen die lang kunnen overleven en dus ver kunnen reizen.

De grotere micro-organismen en de micro-organismen die aan kleideeltjes of organische stofdeeltjes zijn vastgeplakt zakken deels uit naar de bodem. Bij sterke toename in waterstroming, zoals door hevige regenval, kunnen ze opwerpen en piekaantallen in het water geven.

Rivierwater dat wordt ingenomen voor drinkwaterproductie doorloopt een reeks desinfectie- en filtratiestappen. Desinfectie vindt plaats door ultraviolet licht, door ozon, of chloordioxide. Filtratiestappen zijn snelfiltratie, membraanfiltratie, langzame zandfiltratie, duinpassage of oeverfiltratie. Bij deze laatste drie hechten de micro-organismen aan zand.

Dat gebeurt ook in grondwater. In Nederland bereiken de drinkwaterbedrijven met zuivering een afname in aantallen micro-organismen met een factor honderdduizend tot honderd miljoen, vijf tot acht log verwijdering, en op een aantal locaties zelfs veel meer. Het is de bedoeling om in orde van grootte onder één micro-organisme per miljoen liter drinkwater uit te komen. Dat is niet meetbaar en moet worden uitgerekend. Daartoe worden de aantallen ziekteverwekkende micro-organismen in het rivierwater gemeten en wordt de effectiviteit van de zuiveringstappen gebaseerd op de verwijdering van indicatororganismen, zoals *E. coli* en bacterievirussen, die veel gemakkelijker te meten zijn. We nemen aan dat de verwijdering van de indicatororganismen hetzelfde of meer is als van de ziekteverwekkers. Deels is dat experimenteel aangetoond.

Per persoon per dag drinken we in Nederland maar een kwart liter ongekookt water; dat is gemiddeld; het kan ook een paar liter zijn. In de Verenigde Staten wordt gemiddeld één liter ongekookt water per persoon per dag gedronken. Wij Nederlanders drinken dus relatief weinig water direct uit de kraan. Dat is verbazingwekkend gezien ons zo goed smakende drinkwater van zo goede microbiologische kwaliteit. Mineraalwater uit een fles is niet beter in kwaliteit en duizend keer duurder en zou in Nederland verboden moeten worden. En dat zou in elk land zo moeten zijn. De supermarkt is niet de plaats voor drinkwatervoorziening.

Een ingeslikt micro-organisme geeft een bepaalde kans op infectie. Voor die infectiekans wordt in Nederland een risicogrens toegepast, namelijk maximaal één per tienduizend personen per jaar mag een infectie oplopen. Dit is een hoge kwaliteitseis. Drinkwater met in orde van grootte van maximaal één ziekteverwekker per miljoen liter voldoet daar ongeveer aan. Deze risicogrens is afgeleid van de drinkwaterrichtlijnen van de Wereld Gezondheidsorganisatie en is sinds 2001 vastgelegd in de Nederlandse drinkwaterwetgeving (Anonymous, 2001). Dit is geïnitieerd midden jaren negentig en tot stand gebracht door vooral de grote inspanningen van Professor Arie Havelaar en Professor Gertjan Medema. Met deze wetgeving is Nederland uniek in de wereld. De drinkwaterbedrijven zijn verplicht door middel van QMRA, wat staat voor kwantitatieve microbiologische risicoanalyse, te demonstreren dat hun drinkwater veilig is. De Nederlandse drinkwaterbedrijven houden niet van risico's en spreken hier liever van analyse van de microbiologische veiligheid van drinkwater. Daar ben ik het vanzelfsprekend mee eens, getuige de naam van mijn leerstoel.

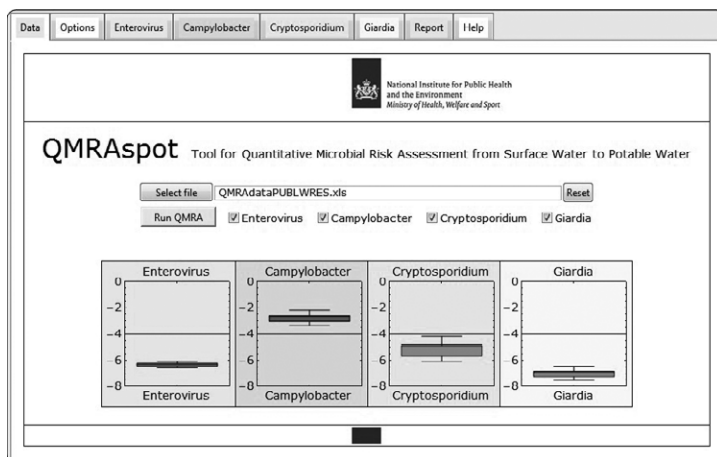
De drinkwaterbedrijven meten de aantallen ziekteverwekkers in de rivier en meten indicator-organismen voor en na zuivering. Al die gegevens worden in een spreadsheet verzameld en met een enkele druk op de knop volledig automatisch door *QMRAspot* geanalyseerd. *QMRAspot* is een rekenprogramma dat we speciaal hebben gemaakt om de risicoschattingen te doen (Schijven et al, 2011). De modellen in *QMRAspot* zijn oorspronkelijk ontwikkeld door Professor Peter Teunis. Peter is op dat

gebied wereldberoemd. De werking van *QMRAspot* en de gebruikte modellen zijn in internationale publicaties vastgelegd. In de wereld zijn al meer dan honderd gratis licenties verspreid. Via een centraal emailadres en een LinkedIn groep zijn er mogelijkheden tot discussie en ondersteuning.

In Nederland worden op elke drinkwaterproductielocatie grote meetinspanningen geleverd. Desondanks zijn niet altijd voldoende eigen meetwaarden voorhanden. Aantallen ziekteverwekkende micro-organismen in het oppervlaktewater kunnen niet meetbaar zijn. In de meest effectieve zuiveringstappen en in de laatste zuiveringstappen zijn ook indicatororganismen vaak niet meer aan te tonen. Voor die zuiveringstappen worden gegevens ontleend aan de literatuur en/of worden er rekenmodellen toegepast. Om dat consistent en transparant te doen, wordt in een samenwerkingsverband van onderzoeksinstituut KWR, de drinkwaterbedrijven en RIVM een referentiedocument opgesteld. Daarin wordt de kennis over de effectiviteit van de zuivering vastgelegd en de interpretatie voor de toepassing in de risicoschattingen beschreven. Het document is een gegevensbestand, waarin nieuwe kennis steeds kan worden ondergebracht.

Er is niets definitief aan risicoschattingen.

Professor Ana Maria de Roda Husman is buitengewoon hoogleraar Global changes en milieuoverdraagbare infectieziekten bij het IRAS van de Universiteit van Utrecht en op het RIVM mijn belangrijkste collega en opdrachtgever. Samen werken we aan uitbreiding van *QMRAspot* voor de Wereldgezondheidsorganisatie. Op dit moment



Figuur 1 Rekentool *QMRAspot*

is het te gebruiken voor enterovirussen, *Campylobacter*, *Cryptosporidium* en *Giardia*. We denken aan uitbreiding met meer wateroverdraagbare ziekteverwekkers, zoals Adenovirus en Norovirus. Elders in de wereld, vooral bij kleine drinkwaterproductielocaties en in ontwikkelingslanden ontbreekt het aan meetwaarden. Zij zouden geholpen zijn met richtwaarden voor aantallen ziekteverwekkers in het inname water als onderdeel van **QMRAspot**. Ook moeten ze kunnen profiteren van de kennis van het referentiedocument over de effectiviteit van zuiveringstappen via **QMRAspot**.

Ana Maria en ik zetten ons in voor de Universiteit van Utrecht om het onderzoeksveld Water en Gezondheid steviger op de kaart te zetten.

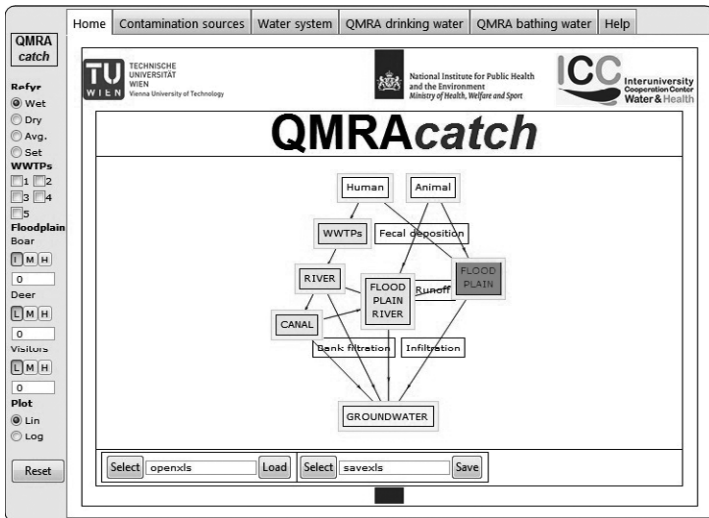
Dr. Saskia Rutjes en ik doen en beoordelen alle risicoschattingen voor de Nederlandse drinkwaterbedrijven. We dienen daarbij de Inspectie Leefomgeving en Transport van advies. In dit werkveld van rekenen, administratie, en heel veel overleg met de Inspectie Leefomgeving en Transport en de drinkwaterbedrijven is Saskia een voor mij onmisbare collega.

De risicoschattingen worden voor elke productielocatie om de drie jaar uitgevoerd. Op dit moment zijn voor bijna alle locaties de risicoschattingen voor de tweede keer gedaan. Van tien locaties is er één waarbij het infectierisico voor enterovirussen te hoog is. Op vier van twaalf wordt de risicogrens voor *Campylobacter* overschreden en op twee van twaalf voor *Cryptosporidium*. Voor een deel wordt hierbij de effectiviteit van de totale zuivering nog onderschat en moet aanvullend onderzoek worden gedaan voor een betere karakterisering van de zuivering. Voor een deel gaat extra of aangepaste zuivering worden ingezet.

Kennis van de rivierroute zetten we op verschillende manieren in.

Rekenmodellen die aantallen micro-organismen in de rivierroute simuleren bieden kansen om de waterkwaliteit beter te beschermen en daartoe maatregelen te formuleren. In dat kader ontwikkelen we op dit moment samen met de Technische Universiteit van Wenen in eerste instantie voor de Donau bij Wenen het rekenmodel **QMRAcatch**. Hiermee kunnen de aantallen micro-organismen in de rivier van dag tot dag worden berekend aan de hand van lozingen van afvalwater en mestafspoeling van land. Ook kan worden berekend hoe effectief oeverfiltratie moet zijn om veilig drinkwater te produceren. Berekende aantallen in **QMRAcatch** kunnen worden gekoppeld aan **QMRAspot**.

Bij oeverfiltratie filtreert rivierwater door het zand van de rivieroever. Oeverfiltratie is een belangrijke en relatief goedkope waterzuiveringstap die wereldwijd schoner en veiliger water voor irrigatie en consumptie levert. Dit is onder andere gedemonstreerd door KWR bij de Maas te Roosteren en door veldwerk van Harold van de Berg en mij in een NATO-project te Jordanië. De effectiviteit van oeverfiltratie hangt sterk af van de waterspiegel, waterverzadiging, zuurgraad en zoutsterkte. Die omstandigheden zijn zeer veranderlijk. Weer en klimaat spelen hierbij een grote rol.



Figuur 2 *Rekentool QMRACatch*

Voor het Europese Centrum voor Ziekte Preventie en Controle hebben we CCQMRA ontwikkeld om effecten van klimaatverandering te voorspellen op infectierisico's door blootstelling aan recreatiewater en via consumptie van drinkwater, schelpdieren en door irrigatiewater besmette sla (Schijven et al, 2013b). Temperatuurstijging en verandering in regenval grijpen in op inactivatie van micro-organismen, verdunning in het water en lozingen van ongezuiverd afvalwater en spelen zo een spel, dat maakt of risico's toe- of afnemen. Temperatuurgevoelige micro-organismen nemen door hogere temperatuur en langere reistijden in aantallen af. Stabiele micro-organismen nemen door minder verdunning en vaker ongezuiverde rioolwaterlozingen in aantallen toe.

Ankie Sterk is als promovenda van IRAS en Aardwetenschappen op het RIVM onder begeleiding van Dr. Ton de Nijs, Professor Ana Maria de Roda Husman en mij hard aan het werk om een soortgelijk model te ontwikkelen en nog veel verder te verfijnen. Afspoeling van zoönotische micro-organismen van het land naar een rivier is nog een grotendeels onontgonnen terrein en zeer complex. Infiltratie in de bodem en oeverfiltratie zijn hier ook onderdeel. Ook hier is het doel effecten van klimaatverandering op infectierisico's te voorspellen.



Figuur 3 *Rekentool CCQMRA*

2 De grondwaterroute

De Nederlandse riolering lekt. Waar riolering onder de grondwaterspiegel ligt gaat er grondwater het riool in en als riolering boven de grondwaterspiegel ligt lekt er rioolwater uit de rioolbuis. Naar schatting is 5% van de droog gelegen riolering lek. Netto komt er bij de rioolwaterzuivering bijna altijd meer water aan dan verwacht. In de winter als het grondwaterpeil het hoogst is kan dat tot 25% oplopen (Voorhoeve en van de Kerk, 2003). In de Verenigde Staten wordt lekkage van afvalwater uit het riool op 30-50% geschat (Hunt et al, 2010).

Volgens de stichting RIONED hebben in Nederland nog maar ongeveer twintigduizend huizen geen rioolaansluiting, omdat hun woningen te ver van een rioolstelsel liggen. Daarom hebben ze hun eigen minizuivering in de tuin. In het buitenland zijn er veel buitengebieden, dus veel septische tanks in gebruik, vaak op korte afstand van een grondwaterput.

In landelijke gebieden overal in de wereld wordt al sinds mensenheugenis vertrouwd op de natuurlijke filtratieprocessen in het grondwater voor de voorziening van drinkwater. Echter heel vaak zijn vooral ondiepe grondwaterwinningen besmet. Recent onderzoek in de Verenigde Staten heeft veelvuldig enterale virussen in het grondwater van private

en gemeentelijke grondwaterwinningen aangetoond. De oorzaak van uitbraken van infectieziekten via consumptie van grondwater wordt vooral aan enterale virussen toegeschreven. Ook elders in de wereld zijn er uitbraken van ziekte door met virussen besmet grondwater gedocumenteerd (Hunt et al, 2010).

Voor Nederland is het onbekend in welke mate grondwater bijdraagt aan infectierisico's via drinkwaterconsumptie.

Grondwater wordt beschermd door grondwaterbeschermingsgebieden, waarbinnen geen besmettingsbronnen aanwezig mogen zijn. In Nederland, maar ook in Denemarken, Duitsland, Ghana, Groot-Brittannië, Indonesië en Oostenrijk is de grootte van die gebieden gebaseerd op de aanname dat een reistijd van zestig dagen tussen besmettingsbron en winput micro-organismen voldoende laat afsterven. Vandaag de dag is al lang bekend dat micro-organismen in grondwater langer kunnen overleven dan zestig dagen.

Omdat ze ver kunnen reizen in het grondwater en zeer infectieus zijn richten we ons in het onderzoek naar de microbiologische veiligheid van grondwater vooral op virussen. De aantallen enterovirussen in afvalwater moeten tijdens bodempassage vanaf een lekkend riool tot aan de grondwaterwinput minstens acht log worden vermindert. Voor bijvoorbeeld Norovirussen kan de benodigde verwijdering nog hoger zijn.

De drinkwaterbedrijven PWN, Waternet, DUNEA en Evides maken allen gebruik van duininfiltratie voor de drinkwaterproductie. Hierbij worden kanalen in de duinen gevoed met voorgezuiverd rivierwater. Met pompen langs de kanalen wordt het water door het duinzand getransporteerd. De voornaamste processen die virussen uit het water verwijderen tijdens deze bodempassage zijn hechting van virussen aan zandkorrels en inactivatie. Deze verwijderingsprocessen zijn ook van toepassing bij grondwaterbescherming.

In een veldstudie in de duinen te Castricum en op een diepinfiltratielocatie te Someren hebben we heel nauwkeurig gemeten hoeveel virussen worden verwijderd (Schijven et al, 1999, 2000). Uit voorzorg gebruikten we bacterievirussen die slecht aan zand hechten als modelvirussen. Door duinpassage werden de virussen acht log verwijderd over een afstand 30 meter met een reistijd van 25 dagen en door diepinfiltratie na 38 meter en 40 dagen. Dat is een heel efficiënte verwijdering. De virusverwijdering was het meest effectief in het begin van de bodempassage. De eerste zes log verwijdering werd in de diepinfiltratie al na acht meter bereikt, voor de volgende twee log was dertig meter nodig.

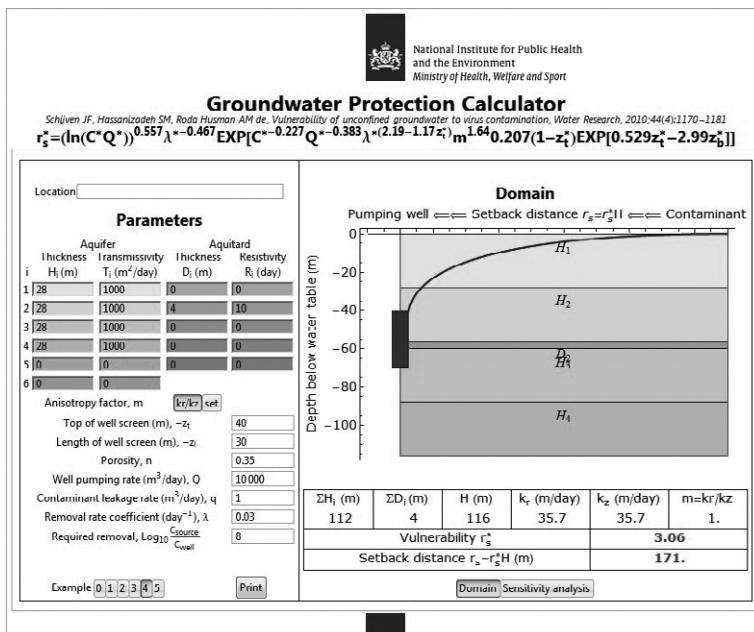
Voor de drinkwaterproductie in de duinen was dit heel goed nieuws. Duinpassage is zeer effectief. Voor de bescherming van natuurlijk grondwater kan het anders liggen. Uit de diepinfiltratiestudie werd duidelijk dat het effectieve deel van de virusverwijdering plaatsvond als er nog zuurstof in het water aanwezig was. Het zuurstofgehalte van het water is een redoxconditie. Het niet-effectieve deel vond plaats in het zuurstofloze gebied. Als water nog zuurstof bevat wordt aanwezig ijzer geoxideerd en slaat dit neer als vlekjes

roest op de zandkorrels. Virusdeeltjes en zandkorrels zijn elektrisch negatief geladen en stoten elkaar af. Roest is positief geladen en trekt virusdeeltjes die dichtbij zijn aan.

Natuurlijk grondwater is meestal zuurstofloos, dat geldt zeker voor het diepere grondwater. Omdat we de omstandigheden bij grondwaterwinningen niet precies kennen, gaan we uit voorzorg uit van deze slechte conditie voor hechting van virussen aan zand.

De grondwatertemperatuur in Nederland is gemiddeld tien graden Celsius. Bij deze temperatuur verloopt de inactivatie van een groot deel van de virussen langzaam. We schatten dit op één honderdste log per dag. Het duurt honderd dagen voor een tienvoudige afname.

Op grond van deze behoudende waarden voor hechting en inactivatie is voor ondiepe winningen in zand een reistijd van één tot twee jaar nodig in plaats van zestig dagen (Schijven et al, 2006). Voor diepere winningen, ook zonder beschermende kleilagen, geldt dat de langere reistijd in verticale richting ze minder kwetsbaar maakt voor besmetting.



Figuur 4 Rekentool GWPcalc

Rekenprogramma *GWPcalc* werd ontwikkeld om de grootte van een grondwaterbeschermingsgebied te berekenen rekening houdende met transport in verticale richting (Schijven et al, 2010). Op dit moment staat gepland om samen met de grondwaterbedrijven te inventariseren welke winningen een kleiner grondwaterbeschermingsgebied hebben dan wordt berekend met *GWPcalc*. *GWPcalc* kan ook laten zien dat bij meer gunstige omstandigheden voor hechting een veel kleiner grondwaterbeschermingsgebied wel voldoende veiligheid kan bieden. Er kan dus veel worden gewonnen als de omstandigheden in het grondwater bekend zijn.

Tot zover de beschrijving van twee waterroutes waarlangs ziekteverwekkende micro-organismen in hoge aantallen hun reis beginnen, en waarvan er maar enkele aan mogen komen.

Tijdens deze reis zijn vier eenvoudig te gebruiken rekenprogramma's in beeld geweest. Het is de hoogste tijd om via een website deze gereedschapskist voor de wereld toegankelijk te maken.

Het tweede deel van het verhaal is gericht op de verwijdering van vooral virussen tijdens hun reis door het grondwater, de bodempassage bij duininfiltratie of oeverfiltratie of in een zandfilter en daar kijken we eerst op de schaal tot één micrometer om de verwijderingsprocessen tot op de kleinste schaal te begrijpen.

3 Nanometers tot micrometers

Virusdeeltjes in grondwater stromen door de poriën tussen zandkorrels. Ze bewegen kriskras omdat ze voortdurend tegen watermoleculen botsen. Dit is Brownse beweging die maakt dat virusdeeltjes ook vaak tegen zandkorrels botsen (Tufenkji en Elimelech, 2004).

Als een virusdeeltje op een zandkorrel botst, dan is er een kans dat het daar blijft plakken. Die kans noemen we de plakkans.

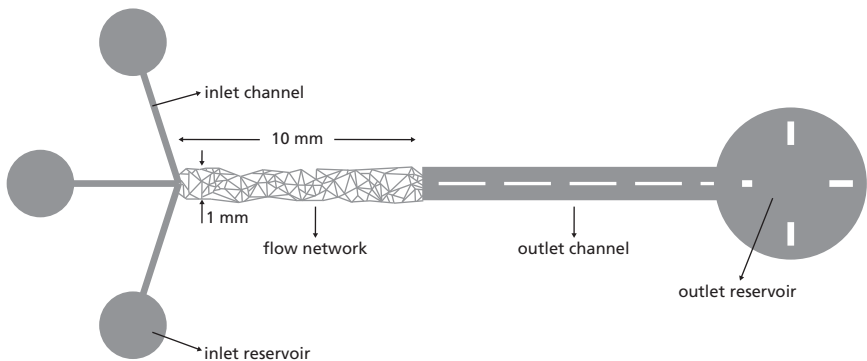
Laten we kijken naar een virusdeeltje met een doorsnee van 25 nanometer. Een virusdeeltje is een stukje erfelijk materiaal omhuld met eiwit. Dat eiwit is meestal elektrisch negatief geladen vanwege de chemische groepen in het eiwit. Een zandkorreltje is ook negatief geladen. Op een afstand tussen één en tien nanometer stoten ze elkaar daarom af. In zuurder water is de elektrische afstoting groter. Dat zijn ongunstige omstandigheden voor hechting. In zouter water is de afstotende barrière smaller. Een virusdeeltje in Brownse beweging heeft een snelheid en als die hoog genoeg is, dan kan het virusdeeltje de afstotende barrière passeren en tot op minder dan één nanometer van het oppervlak van het zandkorreltje komen. Daar overheerst de aantrekkende vanderwaalskracht. Het virusdeeltje plakt dan vast op de zandkorrel en laat moeilijk los.

Seetha Narayanan is promovenda bij professor Mohan Kumar van het Indian Institute of Science in Bangalore en als gaste bij ons om op deze kleine schaal hechting van virussen te modelleren. Ze combineert de wisselwerking van virusdeeltjes met het vaste oppervlak van zandkorrels in een porie met het transport door de porie. Voor de wisselwerking maakt ze gebruik van de elektrostatische en vanderwaalskrachten. Hierin zijn zoutsterkte en elektrische lading, dus indirect ook zuurgraad van het water, opgenomen. De aantallen virusdeeltjes die uit de porie komen reflecteren de wisselwerking in de porie. Als er minder virusdeeltjes uitkomen dan waren er meer virusdeeltjes gehecht en als ze geleidelijk weer loslaten komen er nog langdurig lagere aantallen uit de porie. Zo kan op de kleinste schaal een verband worden gelegd tussen het hechten en loslaten van virusdeeltjes en de fysische en chemische condities in de porie.

4 Micrometers tot centimeters

Het transport van virusdeeltjes door alle poriën kan worden gecombineerd in een porienetwerkmodel. Zo een porienetwerkmodel werd ontwikkeld door Dr. Amir Raouf en kan ook worden gebruikt om de poriën in zand na te bootsen (Raouf en Hassanizadeh, 2010). We zijn dan aangekomen op de millimeterschaal. Op deze schaal kunnen we proeven uitvoeren in een van de kleinste laboratoria ter wereld: Het micromodel.

Kortgeleden promoveerde Dr. Nikos Karadimitriou bij ons met micromodellen om stroming van twee vloeistoffen in poreuze media te testen (Karadimitriou et al, 2012). De micromodellen zijn schaalmodellen waarmee onder de microscoop kan worden gekeken hoe twee niet-mengbare vloeistoffen zich gedragen.



Figuur 5 *Het micromodel*

Over drie dagen promoveert Qiulan Zhang bij ons op het transport, hechting en loslaten van kleine deeltjes tijdens stroming van olie en water in micromodellen van Nikos met afmetingen van 1 mm bij 10 mm met een gemiddelde poriedoorsnee van 30 micrometer. Onder de microscoop bekeek ze het transport van fluorescerende bolletjes met een doorsnee van 300 nanometer in het water. Bij minder water was er meer hechting van de bolletjes op alle grensvlakken. Door tijdens een proef het aandeel water te vergroten gingen oliewatergrensvlakken bewegen en maakten daardoor gehechte bolletjes los (Zhang et al, 2013).

5 Centimeters tot een meter

We zijn nu bij kolomproeven aangeland. Een kolomproef wordt gedaan in een buis gevuld met zand en water en eventueel lucht. Aan de ene kant van de kolom worden voor een korte tijd bacterievirussen in water toegevoegd en aan de andere kant worden monsters genomen.

Dr Saeed Torkzaban is bij ons gepromoveerd op virustransport onder onverzadigde condities. Hij voerde op het RIVM proeven uit met kolommen die waren gevuld met zand, water en lucht (Torkzaban et al, 2006). Wanneer hij het water uit een kolom liet lopen, lieten gehechte virusdeeltjes snel los en kwamen in hoge aantallen uit de kolom. Door een kolom met meer water te verzadigen gebeurde dit ook. De verklaring was dat luchtwatergrensvlakken bewegen en daardoor gehechte virusdeeltjes losmaakten. Dit is hetzelfde fenomeen als gedemonstreerd werd in het micromodel door Qiulan. Qiulan heeft een model ontwikkeld op grond van Saeed's kolomproeven, waarin het loslaten van gehechte virussen als functie van de hoeveelheid beschikbare luchtwatergrensvlakken kan worden berekend (Zhang et al, 2012).

De afgelopen dertig jaren zijn er heel veel kolomproeven gerapporteerd. Vanwege de vele mogelijke proefcondities, typen bodemmateriaal en verschillende micro-organismen is de wetenschappelijke informatie erg fragmentarisch. Samen met Professor Majid Hassanizadeh heb ik in 2000 de meeste van die studies gebruikt in een overzichtsartikel over modellering van de bodempassage van virussen. Met trots kan ik melden dat dit overzicht al bijna 300 keer is geciteerd (Schijven en Hassanizadeh, 2000). Dr. Jan Willem Foppen van UNESCO-IHE te Delft heeft met mij in 2006 ook een dergelijk overzichtsartikel gepubliceerd voor de bodempassage van de *E. coli* bacterie (Foppen en Schijven, 2006). Dit overzicht is ook al meer dan honderd keer geciteerd. Een goed overzichtsartikel is nuttig en lonend als het meer is dan een opsomming van publicaties. Dit belooft veel goeds voor het overzichtsartikel dat Ankie Sterk pas geaccepteerd heeft gekregen en dat gaat over effecten van klimaatverandering op de infectierisico's door

blootstelling aan wateroverdraagbare ziekteverwekkende micro-organismen (Sterk et al, 2013).

Dr. Reza Sadeghi koos in zijn promotieonderzoek voor een systematische aanpak om virusverwijdering in kolommen met schoon zand te onderzoeken voor verschillende zuurgraad, zout- en calciumgehalte van het water. Reza ontwikkelde formules waarmee virushechting voor die verschillende condities kan worden voorspeld (Sadeghi et al, 2011, 2012). Calcium leidt tot meer hechting dan kan worden verklaard door de bijdrage van calcium aan het totale zoutgehalte. Dit werk is afgelopen jaar door MSc. Andrea Waade voortgezet voor meer combinaties van deze condities en ze heeft ook het rekenmodel verder ontwikkeld. Om de gegevens van Reza en Andrea samen te kunnen voegen heeft Andrea een aantal proeven van Reza herhaald met dezelfde resultaten. Voor het begrijpen van de effecten van het calciumgehalte was de theoretische ondersteuning van Dr Thilo Behrends uiterst waardevol.

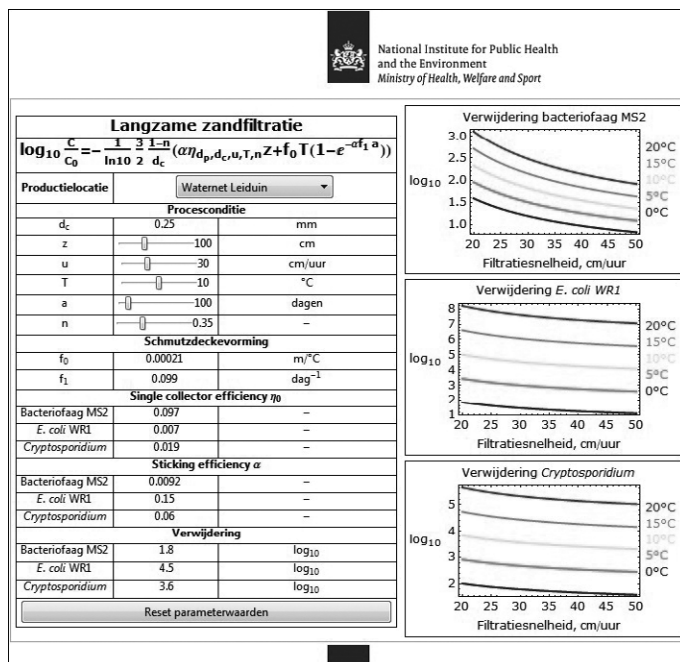
Reza en Andrea lieten ook zien dat wanneer zout- en calciumgehalten tijdens een kolomproef abrupt werden verlaagd, dat gehechte virussen ook snel loslieten en in hoge aantallen uit de kolom kwamen. Voor dit loslaten van virussen door verlaging van zout- en calciumgehalte heeft Andrea ook een rekenmodel ontwikkeld.

Reza heeft bovendien een formule afgeleid voor virusinactivatie bij verschillende temperatuur, zuurgraad, zout- en calciumgehalte. De met deze formule berekende inactivatie valt binnen het bereik van de waarden in de literatuur. Samen met Isabelle Bertrand van de Universiteit van Nancy heb ik een meta-analyse uitgevoerd van alle gepubliceerde virusinactivatiegegevens in water, grond en voedsel over een groot temperatuurbereik (Bertrand et al, 2012). Het door Reza gebruikte bacterievirus PRD1 blijkt daarin een van de meest stabiele virussen te zijn. De eerder genoemde waarde van één honderdste log per dag inactivatie in de berekeningen voor grondwaterbescherming vindt hier ondersteuning. Het onderzoek van Ana Maria de Roda Husman naar inactivatie van de enterovirussen Poliovirus en Cocksackievirus B4 in grondwater en oppervlaktewater ondersteunt dit getal ook (De Roda Husman et al, 2009).

Virussen verschillen sterk van elkaar in de mate van hechting en inactivatie. Omdat altijd onbekend is welke virussen er op een gegeven moment en plaats in het water zitten, is een behoudende keuze gerechtvaardigd. Op de rivierroute en de grondwaterroute verdwijnen virussen die snel inactiveren en/of gemakkelijk aan oppervlakken hechten het eerst uit beeld en zijn virussen die uiteindelijk aankomen op de plaats voor drinkwaterproductie de meest stabiele virussen, die ook nog slecht hechten. Cocksackie B virussen worden in de Nederlandse oppervlaktewatermonsters het vaakst gedetecteerd. Kennelijk overleeft dit virustype lang en reist het ver in het water. In kolomproeven op het RIVM hebben we ook getoond dat Cocksackievirus B4 net zo weinig aan zand hecht als de bacterievirussen MS2 en PRD1 (Schijven et al, 2003).

PRD1 is een prima modelvirus voor hechting en inactivatie en MS2 voor hechting. MS2 is minder stabiel bij hogere temperatuur.

In het rijtje van kolomproeven zit een speciale kolom, die dicht tegen de veldschaal zit, namelijk de proefinstallatie voor langzame zandfiltratie. In Nederland wordt langzame zandfiltratie op zes locaties toegepast. Omdat het de laatste zuiveringstap is, zijn indicatororganismen meestal niet meer te detecteren. Door de drinkwaterbedrijven, KWR en RIVM werden dertien experimenten uitgevoerd in proefinstallaties voor Weesperkarspel, Leiduin, DUNEA en Groningen (Schijven et al, 2013a). De proefinstallaties werden parallel aan de praktijkfilters bedreven met hetzelfde zand, water, temperatuur en filterbeddiepte. In de proeven werden modelvirussen en modelbacteriën toegevoegd om hun verwijdering te meten. Op basis daarvan is een rekenformule ontwikkeld waarmee verwijdering van virussen en bacteriën kan worden uitgerekend



Figuur 6 Rekenool LZF

als functie van zandkorrelgrootte, watertemperatuur, filtratiesnelheid en leeftijd van de Schmutzdecke, een biologische slijmlaag op een filter. Het is de bedoeling om dit model te combineren met *QMRAspot* voor de risicoschattingen.

6 Enkele meters tot honderd meter

We zijn eindelijk in het veld aangekomen. Alle veldproeven die ik aanhaal zijn uitgevoerd in nauwe samenwerking met de betrokken drinkwaterbedrijven en KWR. Dat stond garant voor zeer nauwgezette voorbereiding en uitvoering en leidde steevast tot waardevolle informatie. Ik noemde al de duininfiltratie van PWN te Castricum en de diepinfiltratie te Someren waarop de behoudende berekeningen voor de grondwaterbescherming zijn gebaseerd. De lage mate van hechting in zuurstofloos water werd uitgedrukt in een waarde voor de plakkans van een virusdeeltje dat op een zandkorrel botst van slechts ongeveer drie op honderdduizend. De inactivatie was gesteld op één honderdste log per dag.

Omdat voor ondiepe grondwaterwinningen op basis van deze waarden dan een grondwaterbeschermingsgebied wordt berekend met een verblijftijd van één tot twee jaar in plaats van zestig dagen werd door Dr. Paul van der Wielen van KWR op het KWR terrein onder zuurstofloze condities een veldstudie uitgevoerd om de lage waarde voor hechting te verifiëren (Wielen et al, 2008). Deze lage waarde werd inderdaad weer vastgesteld.

Kortgeleden heeft Dr. Luc Hornstra van KWR in de duinen te Leiduin succesvol een veldstudie uitgevoerd om virusverwijdering onder gedeeltelijk verzadigde zuurstofcondities te onderzoeken. Daarbij is wederom een schat aan gegevens verzameld. Samen met Luc heeft Andrea Waade de gegevens met transportmodellen geanalyseerd.

Om een verband te leggen tussen virushechting en redoxcondities kwamen Andrea en ik tot de conclusie dat we hierbij alle Nederlandse veldstudies moeten combineren.

In de veldstudies Castricum, Someren, Nieuwegein, en Leiduin werden steeds dezelfde bacterievirussen gebruikt en werden water en zand steeds op dezelfde wijze fysisch en chemisch gekarakteriseerd. Daardoor is er een unieke verzameling van gegevens ontstaan. Er zitten nog wat gaten in de gegevensverzameling die ik in overleg met Professor Pieter Stuyfzand en Dr. Luc Hornstra van KWR wil opvullen om daarop binnenkort een aantal rekenformules voor de mate van virushechting op veldschaal te baseren. Welke formule gebruikt kan worden hangt van af welke kenmerken van water en zand bekend zijn. Dit belooft een flinke stap vooruit te zijn in de berekening van de grondwaterbeschermingsgebieden.

Daarmee is het onderzoek niet afgerond.

7 Vervolg

Veldstudies zijn kostbaar en tijdrovend. Bovendien zijn niet alle omstandigheden bekend of onder controle. Meestal wordt niet eens toestemming gegeven voor een veldstudie om de productie van drinkwater niet te verstoren. Kolom- en micromodelproeven kunnen onder gecontroleerde omstandigheden worden uitgevoerd. Op microschaal zijn de waarden voor hechting afhankelijk van de fysische en chemische condities in de porie. In een porienetwerk en op kolomschaal moet rekening gehouden worden met verdelingen die variaties van de fysische en chemische condities beschrijven. Op veldschaal gaan verdelingen in bodemeigenschappen en redoxcondities nog veel meer een rol spelen.

Het is nu nog onduidelijk of met porienetwerkmodellen en gegevens uit proeven met micromodellen de juiste voorspellingen voor virusverwijdering op de centimeter- en meterschaal kunnen worden gedaan. Vaak zijn voorspellingen vanuit kolomschaal overschattingen op veldschaal.

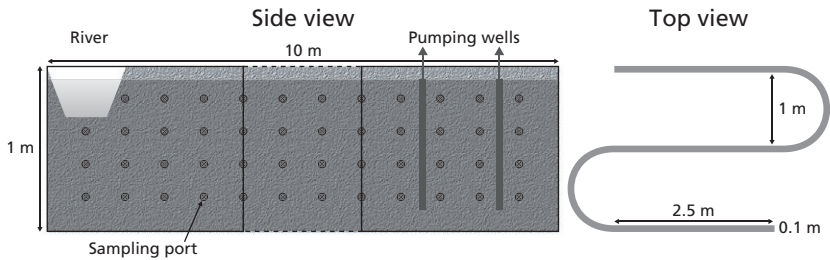
Er ligt een grote uitdaging in het verbinden van alle schalen.

Volgens mij kunnen we die verbinding maken door binnenshuis gecontroleerde veldstudies uit te voeren in een zogenaamde aquifertank met een transportlengte van tien meter. Zo een tank bestaat uit plexiglaswanden met allerlei meet- en bemonsteringsvoorzieningen en is gevuld met zand en water. Om die tank te bouwen en te bedienen, en om allerlei fysische, chemische en microbiologische metingen te verrichten en met rekenmodellen de gegevens te analyseren is een handige snuiter nodig.

Ik heb in een eerder groot waterproject samengewerkt met een handige snuiter en dat heeft geleid tot de vijver van 5000 kubieke meter in mijn achtertuin, die geen ultravioletlampen en kunstmatige filters nodig heeft en door de hele wereld kan worden bewonderd (IJsendijk en Schijven, 2007).

De tank in het laboratorium simuleert oeverfiltratie. We kunnen voorspellingen doen van de werking van die kunstmatige oeverfiltratie met alle modellen die we al voor de verschillende schalen hebben ontwikkeld en die testen met proeven in de tank. Tijdens oeverfiltratie treden veel veranderingen in waterspiegel en watersamenstelling op. Onze kolomproeven hebben al laten zien dat door zulke veranderingen gehechte micro-organismen snel los kunnen laten en daardoor mogelijk een risico voor de volksgezondheid kunnen zijn. In welke mate dat werkelijk een rol speelt op veldschaal is nog onbekend. Dat kan met de aquifertank onderzocht worden.

Naast de experimenten met de aquifertank nemen we ook deel aan nieuw onderzoek aan de effectiviteit van oeverfiltratie op veldschaal. Plannen daartoe zijn in voorbereiding met de Technische Universiteit van Wenen. Via een joint doctorate met Waterloo University in Canada gaan we onderzoek doen aan een locatie voor oeverfiltratie in Canada. Voorspellingen van de microschaal en kolomschaal zijn de basis voor proeven



Figuur 7 *Aquifertank (10 m x 1 m x 0.1 m).*

met de aquifertank. Bevindingen met de aquifertank kunnen worden gebruikt om voorspellingen voor de echte veldlocaties te verifiëren.

De aquifertankproeven zijn uitdagend en zeer complex. Ik heb echter het volste vertrouwen dat deze aanpak succesvol is, omdat ik deel uitmaak van de multidisciplinaire wereld van hydrogeologen, microbiologen, wiskundigen en statistici van de Universiteit van Utrecht, RIVM, KWR, Deltares, UNESCO-IHE en de drinkwaterbedrijven. Samen hebben we alle nodige kennis en ervaring in huis op het hoogste niveau.

Dankwoord

Ik dank zowel het College van Bestuur als de Directie van het RIVM voor hun vertrouwen in mij om de leerstoel 'Kwantitatieve microbiologische waterveiligheid' te mogen bekleden.

Als toegevoegd universitair hoofddocent heb ik al een jaar of zes de bevoorrechte positie om een dag per week samen met studenten onderzoek te doen naast mijn werk op het RIVM. De samenwerking RIVM en Universiteit van Utrecht is heel bijzonder. Het RIVM biedt een omgeving van maatschappelijk relevant onderzoek, die ik vanuit de universiteit met de broodnodige diepgang kan ondersteunen en omgekeerd straalt zo het RIVM al die maatschappelijke relevantie uit naar de studenten. In mijn positie als buitengewoon hoogleraar zet ik dit voort met nog grotere inzet.

Ik ben al die tijd en nog steeds het meest gesteund door Majid. Voor Majid heb ik veel respect. Ik ben geweldig door hem vereerd, doordat hij de helft van zijn Darcy lectures besteed heeft aan ons onderzoek aan virustransport in grondwater en ik dank Majid daarvoor. Ik dank alle studenten die hun onderzoek met mij hebben gedeeld voor hun enthousiaste inzet en ik heb bewondering voor wat ze bereiken. Ik dank Thilo en Amir voor het delen van hun inzichten en hun interesse voor ons onderzoeksveld.

Ik dank Rien voor zijn wijze en inspirerende adviezen en zijn bereidheid om met ons en iedereen mee te denken.

Ook speciale dank aan Jan, Bas en Frederike van Deltares voor het ter beschikking stellen van hun laboratoriumfaciliteit en ik spreek hier nogmaals mijn hoop uit voor gezamenlijke projecten.

Ik dank vooral mijn meest naaste RIVM-collega's Ana Maria, Saskia, Willemijn, Ciska, Harold, Martijn en Peter maar ook alle collega's bij Z&O en RIO/SMG voor een stimulerende en uitdagende werkomgeving.

Ik dank Wim, Gertjan, Luc, Patrick en Pieter van KWR voor hun grote bijdrage in al het veldwerk en ook in de aanpak van risicoschattingen.

Ik geniet van het wederzijdse respect van alle collega's van de drinkwaterbedrijven; in alle bijeenkomsten wordt voortdurend duidelijk gemaakt waarvoor ons onderzoek dient.

Ik prijs mij gelukkig met mijn lieve vrouw Sylvia en mijn twee zonen Kevin en Dominic en te zijn omgeven met experts, fijne collega's en studenten, die allen mij gemaakt hebben tot de persoon die hier vandaag voor u staat.

Ik dank alle aanwezigen om naar me te komen luisteren.

Ik dank Martin voor mijn wereldberoemde vijver.

Ik heb gezegd.

Referenties

- Anonymous (2001). Besluit van 9 januari 2001 tot wijziging van het waterleidingbesluit in verband met de richtlijn betreffende de kwaliteit van voor menselijke consumptie bestemd water. Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden, 31:1-53.
- Bertrand, I., Schijven, J. F., Sanchez, G., Wyn-Jones, P., Ottoson, J., Morin, T., ... & Gantzer, C. (2012). The impact of temperature on the inactivation of enteric viruses in food and water: a review. *Journal of applied microbiology*, 112(6), 1059-1074.
- De Roda Husman, A. M., Lodder, W. J., Rutjes, S. A., Schijven, J. F., & Teunis, P. F. M. (2009). Long-term inactivation study of three enteroviruses in artificial surface and groundwaters, using PCR and cell culture. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(4), 1050-1057.
- Foppen, J. W. A., & Schijven, J. F. (2006). Evaluation of data from the literature on the transport and survival of *Escherichia coli* and thermotolerant coliforms in aquifers under saturated conditions. *Water Research*, 40(3), 401-426.
- Hunt, R. J., Borchardt, M. A., Richards, K. D., & Spencer, S. K. (2010). Assessment of sewer source contamination of drinking water wells using tracers and human enteric viruses. *Environmental science & technology*, 44(20), 7956-7963.
- Ijsendijk, M., Schijven, J. (2007). Construction of a garden pond on six Sundays. *J DIY Almere*, 1(1)1-1.
- Karadimitriou, N. K., Joekar-Niasar, V., Hassanizadeh, S. M., Kleingeld, P. J., & Pyrak-Nolte, L. J. (2012). A novel deep reactive ion etched (DRIE) glass micro-model for two-phase flow experiments. *Lab on a Chip*, 12(18), 3413-3418.
- Raouf, A., & Hassanizadeh, S. M. (2010). A new method for generating pore-network models of porous media. *Transport in porous media*, 81(3), 391-407.
- Sadeghi, G., Behrends, T., Schijven, J. F., & Hassanizadeh, S. M. (2012). Effect of dissolved calcium on the removal of bacteriophage PRD1 during soil passage: The role of double-layer interactions. *Journal of contaminant hydrology*.
- Sadeghi, G., Schijven, J. F., Behrends, T., Hassanizadeh, S. M., Gerritse, J., & Kleingeld, P. J. (2011). Systematic study of effects of pH and ionic strength on attachment of phage PRD1. *Ground water*, 49(1), 12-19.
- Schijven, J. F., & Hassanizadeh, S. M. (2000). Removal of viruses by soil passage: Overview of modeling, processes, and parameters. *Critical reviews in environmental science and technology*, 30(1), 49-127.
- Schijven, J. F., De Bruin, H. A. M., Hassanizadeh, S. M., & de Roda Husman, A. M. (2003). Bacteriophages and clostridium spores as indicator organisms for removal of pathogens by passage through saturated dune sand. *Water Research*, 37(9), 2186-2194.

- Schijven, J. F., De Bruin, H. A. M., Hassanizadeh, S. M., & de Roda Husman, A. M. (2003). Bacteriophages and clostridium spores as indicator organisms for removal of pathogens by passage through saturated dune sand. *Water Research*, 37(9), 2186-2194.
- Schijven, J. F., Hassanizadeh, S. M., & de Roda Husman, A. M. (2010). Vulnerability of unconfined aquifers to virus contamination. *Water Research*, 44(4), 1170-1181.
- Schijven, J. F., Hoogenboezem, W., Hassanizadeh, M., & Peters, J. H. (1999). Modeling removal of bacteriophages MS2 and PRD1 by dune recharge at Castricum, Netherlands. *Water Resources Research*, 35(4), 1101-1111.
- Schijven, J. F., Medema, G., Vogelaar, A. J., & Hassanizadeh, S. M. (2000). Removal of microorganisms by deep well injection. *Journal of Contaminant Hydrology*, 44(3), 301-327.
- Schijven, J. F., Teunis, P. F., Rutjes, S. A., Bouwknegt, M., & de Roda Husman, A. M. (2011). QMRASpot: A tool for Quantitative Microbial Risk Assessment from surface water to potable water. *water research*, 45(17), 5564-5576.
- Schijven, J. F., van den Berg, H. H., Colin, M., Dullemont, Y., Hijnen, W. A., Magic-Knezev, A., ... & Wubbels, G. (2013a). A mathematical model for removal of human pathogenic viruses and bacteria by slow sand filtration under variable operational conditions. *Water research*.
- Schijven, J., Bouwknegt, M., Husman, R., Maria, A., Rutjes, S., Sudre, B., ... & Semenza, J. C. (2013b). A Decision Support Tool to Compare Waterborne and Foodborne Infection and/or Illness Risks Associated with Climate Change. *Risk Analysis*.
- Schijven, J., Mülschlegel, J., Hassanizadeh, S., Teunis, P., & Husman, A. (2006). Determination of protection zones for Dutch groundwater wells against virus contamination-uncertainty and sensitivity analysis. *J Water Health*, 4, 297-312.
- Sterk, A., Schijven, J., de Nijs, A. De Roda Husman, A.M., (2013) Direct and indirect effects of climate change on the risk of infection by water-transmitted pathogens. *Environmental Science & Technology*, geaccepteerd.
- Torkzaban, S., Hassanizadeh, S. M., Schijven, J. F., de Bruin, H. A. M., & de Roda Husman, A. M. (2006). Virus transport in saturated and unsaturated sand columns. *Vadose Zone Journal*, 5(3), 877-885.
- Tufenkji, N., & Elimelech, M. (2004). Correlation equation for predicting single-collector efficiency in physicochemical filtration in saturated porous media. *Environmental science & technology*, 38(2), 529-536.
- Voorhoeve, J.G., Kerk van de, A.J. (2003). Rioolvreemd water – Onderzoek naar hoeveelheden en oorsprong afvalwater STOWA, Rapportnummer 2003-08, ISBN 90-5773-213-8
- WHO (2011). Guidelines for drinking-water quality: incorporating 1st and 2nd addenda. 4th ed. Geneva, CH: World Health Organisation.

- Wielen, P.W.V.D., Senden, W.J., & Medema, G. (2008). Removal of bacteriophages MS2 and ØX174 during transport in a sandy anoxic aquifer. *Environmental science & technology*, 42(12), 4589-4594.
- Zhang, Q., Hassanizadeh, S. M., Raouf, A., van Genuchten, M.T., & Roels, S. M. (2012). Modeling Virus Transport and Remobilization during Transient Partially Saturated Flow. *Vadose Zone Journal*, 11(2).
- Zhang, Q., Karadimitriou, N. K., Hassanizadeh, S. M., Kleingeld, P. J., & Imhof, A. (2013). Study of colloids transport during two-phase flow using a novel polydimethylsiloxane micro-model. *Journal of colloid and interface science*.



Jack Schijven (1957) doorliep Hoger Natuurwetenschappelijk Onderwijs in Breda en rondde een opleiding tot AMBI Wetenschappelijk programmeur af. In 2001 promoveerde hij cum laude aan de TU Delft op het proefschrift 'Virusverwijdering door grondwaterpassage'.

Hij is sinds 1986 in dienst bij het RIVM. Momenteel is hij modelleur bij de afdeling Statistiek, Modelling en Gegevenslogistiek van de RIVM I-Organisatie. Hij verricht voor de afdeling Milieu van het centrum Zoönosen en Omgevingsmicrobiologie onderzoek aan het transport van (ziekteverwekkende) micro-organismen in oppervlaktewater en grondwater en kwantitatieve microbiologische risicoschattingen van de drinkwaterproductie in Nederland. Sinds 2006 is Jack Schijven een dag per week werkzaam als UHD bij de Faculteit Geowetenschappen van de Universiteit Utrecht binnen de afdeling Geohydrologie. Op 1 april 2013 werd hij benoemd als bijzonder hoogleraar op de leerstoel Kwantitatieve Microbiologische Veiligheid van Water. Het vakgebied combineert kwantitatieve watermicrobiologie, hydrologie, geochemie en risicoanalyse in een milieu- en gezondheids-wetenschappelijke context. Transportmodellen worden ontwikkeld en ingebed in kwantitatieve microbiologische risicoschattingen ten behoeve van de volksgezondheid. De problematiek speelt een belangrijke rol in het drinkwaterbeleid in Nederland, maar microbiologische waterveiligheid vergt ook in de rest van de wereld veel aandacht.