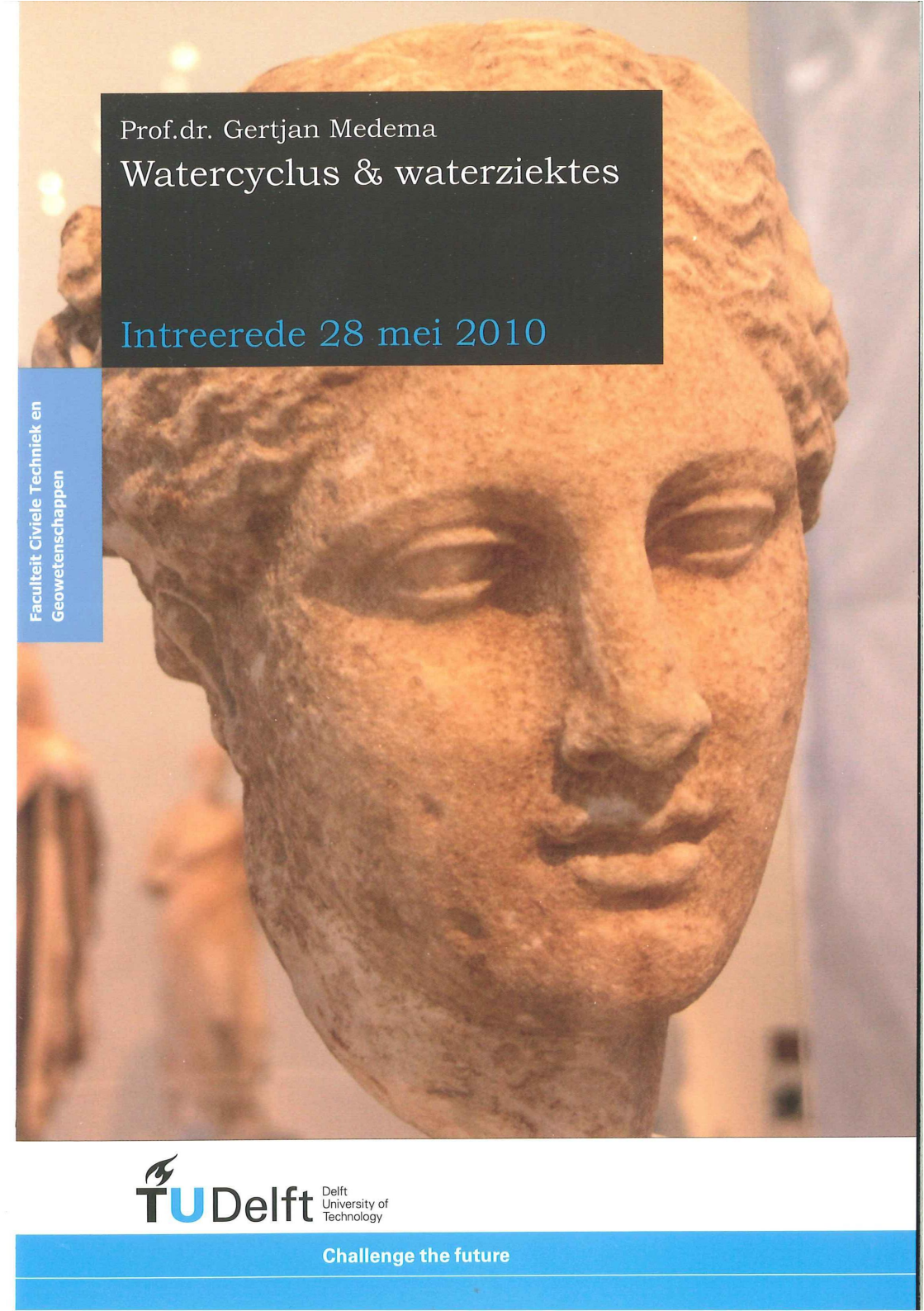




Prof.dr. Gertjan Medema

Watercyclus & waterziektes

Intreerede 28 mei 2010

Faculteit Civiele Techniek en
Geowetenschappen

Watercyclus & waterziektes

Oratie uitgesproken op
28 mei 2010

door Prof. dr. Gertjan Medema

ter gelegenheid van de aanvaarding van het
ambt van hoogleraar in het vakgebied

Water & Gezondheid

Aan de Technische Universiteit Delft
Sectie Gezondheidstechniek
Afdeling Watermanagement
Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen

De groote beteekenis van de bacteriologie voor het drinkwater-onderzoek ligt - het blijkt duidelijk - slechts voor een klein deel in het bacteriologisch onderzoek zelf. Eerder moet zij worden gezocht in de door de bacteriologische studiën vermeerderde kennis van het wezen en de verspreiding der smetstoffen. Het grootste gewicht legt evenwel een aanvankelijk weinig getelde omstandigheid in de schaal: het bacteriologisch onderzoek heeft den onderzoeker op het terrein [van het waterbedrijf] gebracht!

Amsterdam 1893

M. Straub,

Hoogleraar oogheelkunde (trachoom, een besmettelijke oogziekte die blindheid kan veroorzaken en wordt veroorzaakt door slechte hygiëne kwam rond de 20e eeuw wisseling massaal voor bij de arme bevolking van Amsterdam)

Foto voorkant: Hygeia, Griekse godin van de preventieve gezondheidszorg
(Nationaal Archeologisch Museum, Athene)

*Mijnheer de Rector Magnificus.
Leden van het College van Bestuur,
Collegae hoogleraren en andere leden van de universitaire gemeenschap.
Zeer gewaardeerde toehoorders.
Dames en heren,*

De titel van mijn oratie is: "Watercyclus & waterziektes". De rode draad van mijn verhaal is dat deze twee erg dicht tegen elkaar aan liggen. Een kleine ontsporing in de watercyclus en je hebt waterziektes. Hoe verspreiden ziekteverwekkers zich via de watercyclus? Wat kunnen we doen om dat te stoppen? Dat zijn de kernvragen van mijn vakgebied Water & Gezondheid.

Als eerste neem ik u mee naar het najaar van 1681. We gaan naar Delft. Daarvoor moeten we van hier naar het noorden lopen want we zijn nog buiten de stad. We lopen langs de scheepswerven en de haven aan de Kolk. We gaan de stad binnen via de Rotterdamse poort. Dat beeld is bekend geworden door Vermeers' "Gezicht op Delft" van 20 jaar eerder. We lopen naar de Hippolytusbuurt in het centrum. Bij het huis dat 'Het Gouden Hoofd' heet kloppen we aan. We worden binnengelaten door Maria Thonisdochter.



Fig. 1

Zij heeft de afspraak met haar vader geregeld. Ik was zo verstandig om het met Maria te regelen, want haar vader staat er bekend om mensen voor de deur te laten staan als hij bezig is met zijn ontdekkingen. Ze laat ons binnen in een grote, lichte kamer. Daar zien we haar vader, Anthoni van Leeuwenhoek, voor het raam zitten. Hij lijkt naar buiten te kijken, maar als we dichterbij komen zien we dat hij door zijn zelfgemaakte microscoop tuurt. Hij merkt ons op en vertelt enthousiast over de diertjes die ziet. Ze zijn klein, hebben een platte buik en bewegen met kleine pootjes sierlijk door het preparaat. Hij laat ons kijken. Het kost

moeite, maar we zien ze ook. We vragen nieuwsgierig waar we naar kijken. Anthoni van Leeuwenhoek verteld dat we naar zijn diarree kijken. Hij heeft wel vaker last van diarree, maar de laatste dagen was het echt raak. Het moest iets zijn wat hij had gegeten of gedronken. Dat hield hij nu nauwkeurig bij, maar wat hij ook at of dronk, het bleef niet langer dan 4 uur binnen. Dat bracht hem ertoe om zijn eigen excrement te bekijken. Hij zag daar telkens die dierkens in die hij ons ook heeft laten zien. Hij heeft het al opgeschreven in zijn brief aan de Royal Society in Londen. Die beschrijving in zijn brief van 4 november 1681¹ komt heel sterk overeen met wat we nu kennen als de parasiet *Giardia lamblia*. Dat was waarschijnlijk de veroorzaker van zijn klachten. Hij legde het verband niet, maar was wel de eerste mens ter wereld die micro-organismen als protozoa en bacteriën heeft gezien en beschreven. We staan hier dus aan de wieg van de microbiologie, in Delft. Van Leeuwenhoek wil verder, we bedanken hem voor het onderhoud en Maria doet ons uitgeleide. Maria is overigens de enige van de 6 kinderen van van Leeuwenhoek die de volwassen leeftijd heeft gehaald. De annalen vertellen niet wat de doodsoorzaak van de andere 5 kinderen was, maar de kans is groot dat dit een infectieziekte is geweest, zoals tuberculose, dysenterie, tyfus, malaria of darmontsteking. Dat waren de belangrijkste doodsoorzaken in die tijd, zeker voor kinderen. De levensverwachting voor mensen die toen geboren werden was 35 jaar en dat werd vooral veroorzaakt door de hoge kindersterfte (gemiddeld 30%), waar het gezin van Leeuwenhoek dus een wrange illustratie van is.

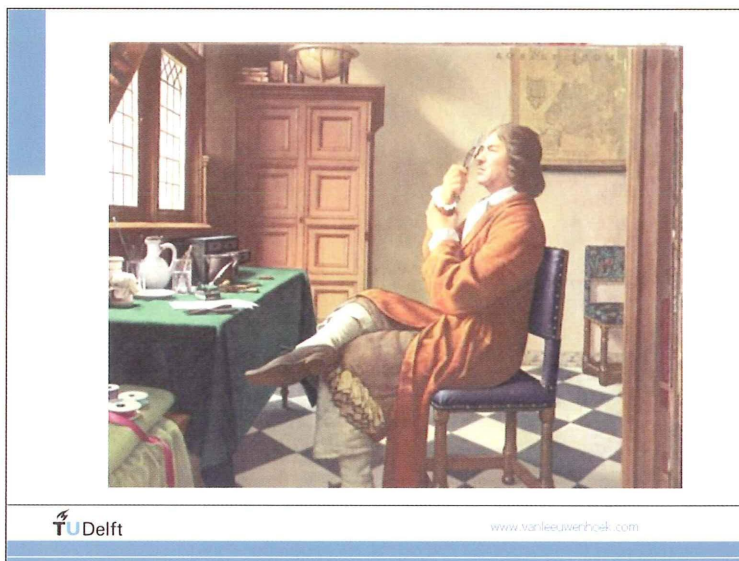


Fig. 2

Infectieziekten de wereld uit?

We laten 1681 achter ons en springen naar het heden. Kinderen die nu in Nederland worden geboren hebben een levensverwachting van 80 jaar en de kindersterfte is 0,03%². We leven langer en gezonder dan ooit. Verreweg het grootste deel van de gezondheidswinst komt door preventie: voorkomen is beter dan genezen. De grootste successen liggen op het terrein van de infectieziektebestrijding. Centrale drinkwatervoorziening en sanitatie, betere huisvesting, tuberculosebestrijding, vaccinatie en antibiotica hebben de sterfte door infectieziekten met meer dan 90 procent verminderd.

Lezers van het British Medical Journal kozen in 2007 de invoering van drinkwatervoorziening en sanitatie (de sanitaire revolutie, of liever transitie) tot de grootste medische vooruitgang sinds 1840, boven vaccinatie en antibiotica³. Er is geen wetenschappelijke basis voor deze nummer 1 positie, maar duidelijk is dat de sanitaire transitie heel veel jonge levens heeft verlengd.

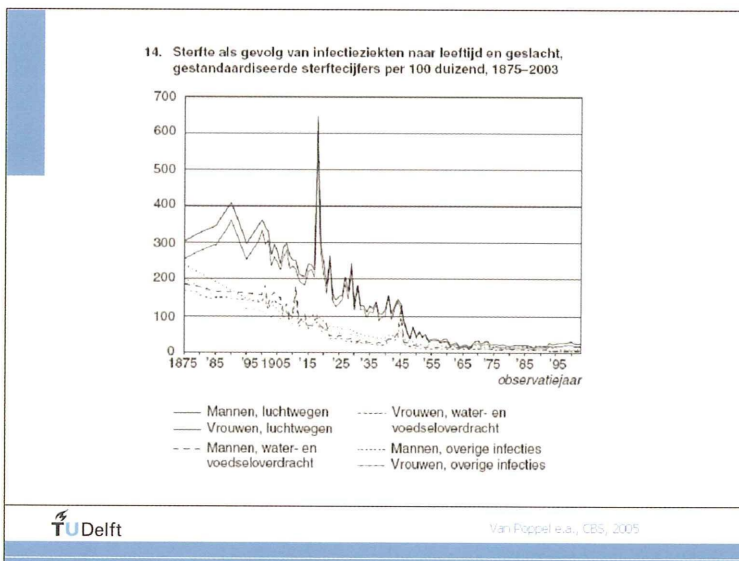


Fig. 3

Vaccinatie

De strijd tegen infectieziekten in de 20e eeuw ging zo voortvarend dat we dachten we de infectieziekten zouden overwinnen. Hygiëne, sanitatie en ziektebestrijdingsprogramma's werden ingevoerd. Vaccinatieprogramma's werden ingezet. Veel van u zullen nog een pokkenprik hebben gekregen. In 1957 werd het Rijksvaccinatieprogramma ingevoerd⁴: ik ben in mijn jeugd ingeënt tegen difterie, kinkhoest, tetanus en polio, mijn kinderen bovendien tegen bof, mazelen en rode hond en Haemophilus, de jongste ook nog tegen meningococcen C en mijn jongste dochters nu ook tegen humaan papilloma virus. Deze preventie van ziektes door vaccinatie kost relatief weinig en is zeer effectief. De kinderziektes waartegen we ingeënt worden zijn goeddeels uit Nederland verdwenen. Uit het oog, uit het hart: de kinderziektes raken vergeten en we zien geen noodzaak meer voor vaccinatie. Of zelfs sterker, de perceptie over vaccinatie verschuift onterecht van heilzaam naar risicovol.

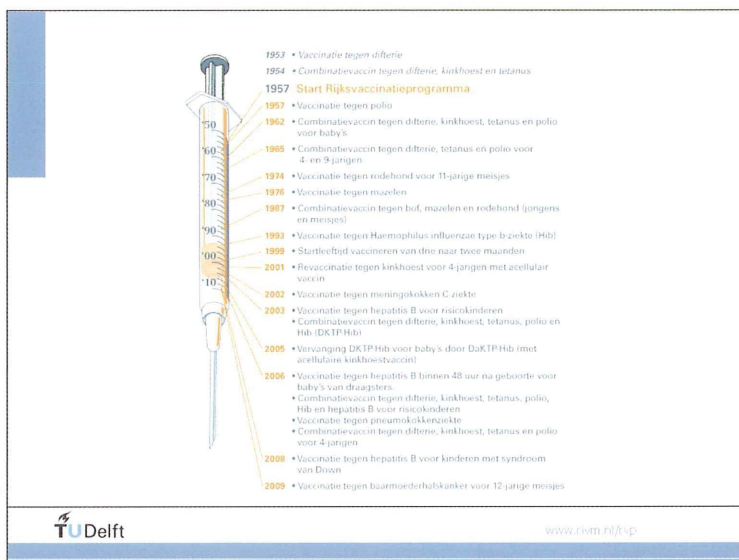


Fig. 4

Maar tot nu toe is door vaccinatie alleen pokken de wereld uit gewerkt. Na de pokken zouden snel de andere ziekteverwekkers volgen, was het idee. De Wereldgezondheidsorganisatie lanceerde in 1988 een eradicatiecampagne: polio de wereld uit in 2000. Hoewel er spectaculaire resultaten bereikt zijn in het terugdringen van het aantal ziekte- en sterfgevallen (99%) is polio nog niet uitgeroeid, zoals blijkt uit de polio-epidemie dit voorjaar in Tadzjikistan⁵. Het gaat niet zo eenvoudig als we hoopten. En voor veel belangrijke ziekteverwekkers zijn nog geen vaccins voorhanden.

Bestrijding van ziekteverspreiders

We hadden nog andere middelen in tegen infectieziekten, zoals bijvoorbeeld DDT. DDT was in 1955 de kern van het malaria eradicatie programma in Nederland en in de wereld. Ik ben benieuwd welk van deze twee woorden nu meer afgrijzen bij u heeft opgewekt: DDT of malaria? Ik vrees DDT, terwijl het gebruik van dit goedkope en effectieve middel vele miljoenen levens heeft gered. Het succes van DDT werd uiteindelijk ook het falen. Er werd zo ruim gespoten dat de malariamug resistent werd en DDT zich ophoopte in de voedselketen. DDT werd de schietschijf van de milieubeweging en werd in de ban gedaan. Onterecht, en gelukkig heeft de WHO in 2006 DDT weer aanbevolen voor het spuiten op wanden en plafonds als effectief middel in de strijd tegen malaria⁶. Die strijd hebben we nog lang niet gewonnen er lijden 250 miljoen mensen aan malaria en elk jaar sterven er bijna een miljoen mensen aan deze ziekte.

Antibiotica

Maar we ontdekten nog meer wapens. De toepassing van antibiotica heeft sinds 1947 miljoenen levens gered. De sterfte van veel infectieziekten is door antibiotica enorm teruggelopen. Maar ook hier is er tegenslag; onze microbiologische belagers zitten niet passief te wachten tot we ze uitroeien, maar worden resistent tegen antibiotica. In de EU sterven jaarlijks 25000 mensen aan infecties met multiresistente bacteriën⁷. De MRSA-bacterie is de schrik van elk ziekenhuis. Vorige maand kwam de ESBL bacteriën in het nieuws⁸. Die bacteriën maken enzymen die penicillines en cephalosporines afbreken. Die bacterie is in opkomst door intensief antibiotica gebruik in de kippenhouderij. Er is een verband gelegd tussen ESBL op kippenvlees en het voorkomen van ESBL in bacteriën bij de mens. De Minister vond dat we kip nog wel veilig kunnen eten, maar er moet zuiniger worden omgegaan met antibiotica in de veehouderij. ESBL bacteriën zitten ook in oppervlaktewater en zou via irrigatie groente kunnen besmetten.



Fig. 5

Micro-organismen blijken genetisch zeer versatiel te zijn. Ze ontdoeken onze immuniteit, verwerven antibiotica resistentie en wisselen pathogeniteitsfactoren uit. Er wordt onderzoek gedaan naar nieuwe typen antibiotica. We zullen moeten opschieten om de bacteriën voor te blijven.

Infectieziekten veranderen

Tot nu toe heb ik het gehad over ziektes die we al lang kennen. Maar we moeten ons niet alleen ontdoen van deze oude belagers, er komen ook nieuwe bij. AIDS kenden we voor 1970 nog niet. Het HIV is waarschijnlijk overgesprongen van mensapen op de mens. En nu zijn er 33 miljoen mensen met AIDS, per jaar komen er 2.7 miljoen bij en er sterven 2 miljoen mensen per jaar aan AIDS⁹. Een stijger met stip in de ranglijst van doodsoorzaken en ziekte-last. Ziekteverwekkers springen over van dieren naar mensen. Geiten hebben Q-koorts en in

Nederland worden al drie zomers mensen die in de buurt van besmette stallen komen ziek. We maken ons nu op voor de vierde Q-koortszomer. Gek van koeien, griep van vogels, SARS van civetkatten, Lyme via teken, West Nijl virus via muggen. De lijst is lang en zal in de toekomst nog langer worden.

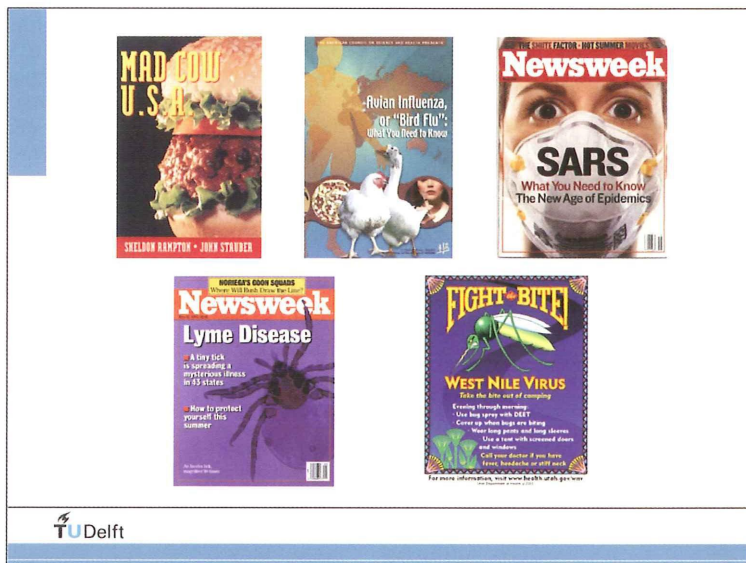


Fig. 6

Wij worden ouder en gevoeliger

Niet alleen onze belagers veranderen, ook wij veranderen. We worden steeds ouder. Nu is het aandeel 65-plussers 15%; in 2050 is dat naar verwachting 25%. In het RIVM rapport "De staat van infectieziekten in Nederland in 2008"¹⁰ wordt aangegeven dat luchtweg-infecties, urineweginfecties en gordelroos vaker bij ouderen voorkomen en een ernstiger verloop hebben. RIVM verwacht dat de last van deze ziektes in de komende decennia sterk toeneemt. Deze infecties verlopen ernstiger en daarom zal vaker ziekenhuisopname en behandeling met antibiotica nodig zijn, wat het probleem van de antibioticaresistentie weer versterkt.

Nieuwe mogelijkheden

Niet alleen onze gevoeligheid neemt toe, we maken het onze belagers soms ook wel makkelijk. De woontorens in Hong Kong staan zo dicht op elkaar dat SARS via de badkamer-ventilatoren van het ene naar het andere appartement kon overspringen. We bouwen air-conditioning en koeltorens die broeinesten kunnen worden voor Legionella. We reizen de hele wereld over en nemen ziekteverwekkers mee als reisgenoot. SARS nam het vliegtuig en verspreide zich in enkele weken naar diverse hoeken van de wereld. Hepatitis A virus lifte mee op gedroogde tomaten uit Australië om dit voorjaar in Nederland leverinfecties te veroorzaken.

SARS via de ventilator



TU Delft

Fig. 7

Wapenwedloop

U begrijpt het, we zijn minder succesvol in de strijd tegen infectieziekten dan we hoopten. Om mijn voorganger Joop Huisman te citeren uit zijn afscheidsrede hier bij de TU11: "Infectious diseases are here to stay". Ik zou het iets dynamischer willen maken: "infectious diseases co-evolve with us"; we zijn verwikkeld in een evolutionaire wapenwedloop.

Drinkwater en sanitatie

Ik meldde al dat de invoering van centrale drinkwatervoorziening en riolering een van onze succesvolle wapens zijn in deze wedloop. In de tijd van van Leeuwenhoek waren watergerelateerde infectieziekten belangrijke oorzaken voor de hoge kindersterfte. Het water dat werd gedronken kwam uit de kanalen, grachten en putten. In het westen van ons land was er 's zomers veel stilstaand water, waardoor de kwaliteit sterk achteruit ging. Ook werden de uitwerpselen niet afgevoerd. In Zeeland en Noord Holland kwam veel brak water voor, ideaal milieu voor de malaria muggen. In de 19e eeuw werden de steden groter en voller. De grachten stroomden in de zomer niet of nauwelijks door. Die onhygiënische toestanden hadden dodelijke gevolgen. Van 1830 – 1892 teisterden een reeks choleraepidemieën Europa en die deden ook ons land aan. Elke pandemie eiste honderdduizenden levens in Europa, vooral onder de armere bevolking. In korte tijd vielen veel slachtoffers, zoals de 20.000 doden in Nederland bij de vierde pandemie in 1866. Na deze cholera pandemie werd een commissie ingesteld met als opdracht te onderzoeken of er een relatie was tussen de aard van het drinkwater en de cholera epidemie. Voorzitter was Beijerinck, de hoofdopzichter van Rijkswaterstaat (en achteroom van de eerste Delftse hoogleraar bacteriologie). De tweede vraag voor de commissie was of de zorg voor drinkwater het best aan de particuliere nijverheid werd overgelaten of dat er maatregelen van overheidswege nodig waren. In die commissie zaten ook L.C. Levoir van de Polytechnische school Delft, de net opgerichte voorloper van deze universiteit, en J.G. Jäger van de eveneens net opgerichte Amsterdamse duinwatermaat-

schappij. De commissie onderzocht in steden en dorpen waar veel cholera voorkwam zowel de cholera als de oorsprong en kwaliteit van het drinkwater. Hun 'Rapport aan den Koning' stelt dat vermenging van zelfs een kleine hoeveelheid ontlasting van een choleralijder met drinkwater cholera kan veroorzaken bij degenen die dat water drinken¹². Ze geven aanbevelingen voor de verbetering van het drinkwater dat wordt gewonnen uit rivier- en polderwater door chemische klaring of filtratie, aanbevelingen voor de verbeteringen van putten en van de distributie. Ook beveelt de commissie overheidstoezicht aan op drinkwater om de burgers te vrijwaren van schadelijke gevolgen van slecht drinkwater. Dit rapport is de aanzet voor de publieke drinkwatervoorziening in Nederland.

De aanleg van de centrale drinkwatervoorziening en van riolering en doorspoeling van de grachten hebben een groot effect op de volksgezondheid gehad. Dick van der Kooij illustreerde dit effect in de introereede aan de WUR in 1998 met de relatie tussen buiktyfus en huisaansluitingen op de waterleiding in de eerste helft van de 20e eeuw¹³.

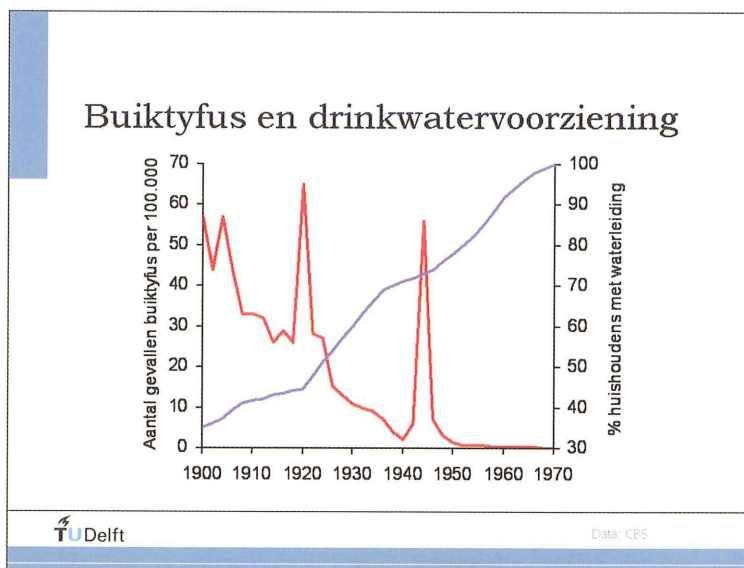


Fig. 8

Realiseren we ons de verworven gezondheidswinst? Zien we dat de investeringen in drinkwatervoorziening en sanitatie ook nu nog levens redden? Nee, want vermeden ziektegevallen zijn onzichtbaar. Maar ze zijn er wel. We geven met zijn allen ook veel geld uit aan gezondheidszorg en gezondheidsbescherming, jaarlijks zo'n 70 miljard, zo'n 15% van ons nationale huishoudboekje en bijna 4400 euro per Nederlander. Bijna 60 miljard gaat naar ziekenzorg, 12,5 miljard gaat naar gezondheidsbeschermingsmaatregelen zoals drinkwatervoorziening en riolering (samen goed voor 2,3 miljard, ofwel zo'n 150 euro per Nederlander), afvalophaal en verwerking, luchtkwaliteitsmaatregelen, verkeersveiligheid en geluidshinder. Is dat het waard? Han Bleichrodt van de Erasmus Universiteit stelde in zijn introereede over Gezondheidseconomie¹⁴ dat de kosten-baten verhouding van medische zorg (27000 euro per gewonnen levensjaar) veel beter was dan van de bestrijding van milieuvervuiling (4 miljoen

euro per gewonnen levensjaar). Verschuiving van het budget van milieu naar gezondheidszorg zou dus veel extra levens kunnen redden. Hoe is de kosten-baten verhouding voor onze sanitaire transitie? We hebben in Nederland daar geen echte analyse van. Als we alleen de gezondheidswinst die we elk jaar weer hebben van onze watervoorzieningen meewegen (en niet naar het comfort en de tijdswinst van water uit de kraan en een gespoeld toilet) is het dan een zinvolle investering? We pakken even een sigarenkistje. De Raad voor Volksgezondheid heeft in de discussie over de zinvolle investeringen in de gezondheidszorg de waarde van een levensjaar op 80.000 euro gesteld¹⁵. (U wist het misschien niet, maar bij uw geboorte was u dus stuk voor stuk zo'n 6,5 miljoen waard.) Jaarlijks geven we 2,3 miljard uit aan drinkwater en sanitatievoorzieningen; in onze huidige samenleving moet die investering dus elk jaar zo'n 30.000 levensjaren redden voor break-even. Dat weten we natuurlijk niet, want nogmaals, vermeden sterfte is onzichtbaar. Maar we kunnen deze verhouding meenemen naar 1900, voor de grootschalige invoering van drinkwatervoorziening en sanitatie. In 1900 zijn jaarlijks zo'n 5000 sterfgevallen door dysenterie en diarree en 500 door tyfus¹⁶. En dat zijn vooral jonge kinderen. Gemiddelde levensverwachting was 50 jaar. Dus die sterfte kostte elk jaar bijna 275000 levensjaren. Dat is 9 x zoveel als ons break-even punt. Nu zal de sanitaire transitie niet al deze sterfgevallen voorkomen hebben, maar we zien de sterfte aan tyfus, dysenterie en diarree tussen 1900 en 1939 met zo'n 90% teruglopen. Een harde retrospectieve kosten-batenanalyse is niet mogelijk, maar duidelijk is dat het een zeer rendabele investering was.

Onderzoek

De invoering van de centrale drinkwatervoorziening ging gepaard met veel onderzoek en ontwikkeling op allerlei terreinen, van verbeteringen in de zuivering, winningstechnieken, waterkwaliteit en distributiematerialen. Vanaf 1900 heeft de VWN al commissies die waterbedrijven adviseren over onderwerpen als materialen, bacteriologisch onderzoek, tarieven, dienstleidingen¹⁷. Vanaf 1913 werd veel onderzoek gedaan door het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening. In 1947 wordt de directeur van het RID buitengewoon hoogleraar om onderzoeken te verzorgen over drinkwatervoorziening hier aan de TU. Een jaar later startte hij de eerste Vakantiecursus. In 1946 werd door de VWN het KIWA opgericht, het Keurings-Instituut voor Waterleiding Artikelen. Het keuren van materialen was een belangrijke taak, maar al snel werd uit de marge van dat werk ook spoorwerk gedaan. In 1966 werd dat een spoorwerkprogramma. In 1970 stelde de VEWIN de spoorwerkcommissie in om een meerjaren spoorwerkprogramma op te stellen waarvan de eerste in 1972 werd ondertekend. Het huidige meerjaren-spoorwerkprogramma is het Bedrijfstakonderzoek. Het doet mij genoeg te kunnen melden dat de directeurs van de waterbedrijven vorige maand de hoofdlijnen van het nieuwe Bedrijfstakonderzoek 2013-2017 hebben vastgesteld. Onderzoek bij de waterbedrijven, bij KWR en bij de TU Delft is het fundament voor een gezonde, duurzame, efficiënte en vooruitstrevende watervoorziening, nu en in de toekomst.

Shit happens

De choleracommissie concludeerde al dat de besmetting van drinkwater met de ontlasting van een cholerajilder de ziekte kon verspreiden. Deze transmissieroute, die we netjes de fecaal-orale route noemen, is de typische kringloop van ziekteverwekkers van het maag-darmkanaal. Ziektes zoals cholera en tyfus, dysenterie en darminfecties verspreiden zich via deze route. De ziekteverwekkende micro-organismen (bacteriën, virussen of parasieten) gebruiken onze darm als groeimedium en vermenigvuldigen zich daarin tot hoge aantallen. Ons lichaam wil graag van deze indringers af en probeert ze weg te spoelen door veel water af te scheiden. Het woord diarree is afgeleid van dia (door) en reo (stromen), doorstromen

dus. U kunt zich daar iets bij voorstellen. Per toiletgang kunnen zo wel vele miljarden ziekteverwekkers naar buiten worden gebracht.

Contact met diarree of braaksel via aanraking, voedsel of water brengt de ziekteverwekkers weer naar de mond en een nieuwe cyclus kan beginnen. Als u denkt: dat gebeurt niet zo vaak in onze hygiënische samenleving, verwijst ik u naar de grote stapel wetenschappelijke literatuur over het uitbreken van buikgriep in kinderdagverblijven, bejaardenhuizen, restaurants en via drink- en zwemwater. En als u denkt aan een cruise deze zomer, weet dan dat Norovirus zeeziek zijn een nieuwe invulling heeft gegeven. Arie Havelaar heeft in zijn intreerede aan de UU aangegeven dat het RIVM het aantal gevallen van maagdarminfectie raamt op 4,8 miljoen per jaar¹⁸. De consequenties zijn minder ernstig dan in de tijden van cholera, maar ze zijn er wel: ca 25000 ziekenhuisopnames per jaar en 135 doden. De kosten van de zorg voor deze ziektegevallen en verloren productiviteit zijn meer dan 160 miljoen per jaar. Dus nu weet u wat uw kans is om ziek te worden door aanraking met de diarree of braaksel van een ander: 1 op 3, elk jaar weer.

Hygiënisch omgaan met onze excrementen is een belangrijk middel tegen de verspreiding van deze ziektes. Dat wisten we al lang, getuige het volgende fragment uit Deuteronomium 23 vers 12-13: "Gij zult ook eene plaats hebben buiten het leger, en daarhenen zult gij uitgaan naar buiten. En gij zult een schopje hebben, benevens uw gereedschap; en het zal geschieden, als gij buiten gezeten hebt, dat zult gij daarmede graven, en u omkeeren, en bedekken wat van u uitgegaan is."

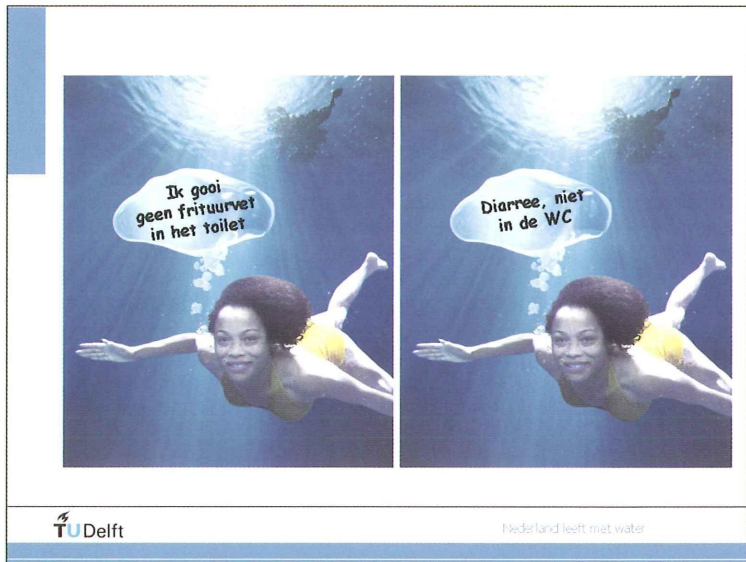


Fig. 9

Ik heb gespeeld met de gedachte een pleidooi te houden om, eendachtig de recente campagne van Nederland leeft met water¹⁹ met slogans als "geen frituurvet in het toilet", te pleiten voor "geen diarree in de wc" omdat dat de bron is van ziekteverwekkers in het water, maar ik realiseer me dat deze gedachte weinig realiteitszin heeft. Voor een situatie wil ik wel een uitzondering maken. Dat betreft rioolwater in quarantaine-situaties, zoals quarantaine afdelingen van ziekenhuizen. Als er een ziekte uitbreekt als SARS worden patiënten daar geïsoleerd, alle materialen die deze afdelingen verlaten wordt gesteriliseerd, maar hun ontlasting waar hoge aantallen virus in zitten loopt ongehinderd het publieke riool in. SARS CoV werd in China in het rioolwater van ziekenhuizen gevonden. Daar werd het ziekenhuisafvalwater gedesinfecteerd. Hier niet. Er is wel discussie over apart opvangen en behandelen van ziekenhuisafvalwater, maar die is vooral gedreven door medicijnresten en antibiotica-resistentie. Ik zou graag zien dat ziekteverwekkers ook worden meegenomen in deze discussie en dat desinfectie van het rioolwater van speciale quarantaine afdelingen overwogen wordt. De glastuinders hier in de omgeving weten al lang dat ze weer last kunnen krijgen van plantenziekten als ze hun drainagewater niet ontsmetten. Die doen het dus wel.

Ziekteverwekkers in rioolwater

Wij begraven niet meer wat van ons uitgaat, wij spoelen het door. Rioolwater is dus een vergaarbak van ziekteverwekkers. Dat blijkt ook wel uit meetprogramma's: ons rioolwater bevat zo'n 100 – 10.000 ziekteverwekkers per liter. We zuiveren rioolwater voor we het lozen. Een conventionele rioolwaterzuivering verwijdert zo'n 90-99% van de ziekteverwekkers, maar dat betekent dat er nog steeds 1-1000 ziekteverwekkers per liter geloosd worden. Als u bedenkt dat er jaarlijks ca 2 biljoen liters worden geloosd in Nederland en nog eens een veelvoud in onze buurlanden aan de Rijn en Maas dan ziet u dat het aantal ziekteverwekkers dat we via deze route in het milieu brengen enorm is.

Het riool zit vol met ziekteverwekkers		
	Rioolwater n / L	Effluent n / L
Campylobacter	54000	
Cryptosporidium	540 - 4650	17 - 250
Giardia	1220 - 21300	13 - 250
Enterovirus	34 - 190	0.3 - 0.5
Norovirus	5000 - 850000	900 - 7500

Fig. 10

Drinkwater uit oppervlaktewater

De Rijn en Maas zijn belangrijke bronnen voor de drinkwatervoorziening in het westen van ons land. Zijn onze drinkwaterzuiveringssystemen in staat ze afdoende te verwijderen? Ze waren ontworpen op de verwijdering van bacteriën. Sinds de jaren zeventig weten we dat virussen ook via water overgedragen kunnen worden. Al in die tijd werden, eerst door Henne Kool en Henk van Kranen van het RID en als snel samen met Marja van Olphen van het Kiwa²⁰, methoden ontwikkeld voor detectie van virussen in water. Enterovirussen bleken voor te komen in de rivieren waaruit drinkwater wordt gemaakt, met name in de winter. In de jaren negentig zijn daar nog de parasitaire protozoa *Cryptosporidium* en *Giardia* bijgekomen. De parasieten stelde de waterzuivering voor nieuwe uitdagingen, vooral vanwege hun resistentie tegen chemische desinfectie²¹. *Cryptosporidium* spande daarin de kroon: die krijg je nog niet dood als je hem in een fles huishoudbleek stopt. De drinkwaterwereld in de Westerse wereld werd begin jaren negentig opgeschrikt door een reeks uitbraken van *Cryptosporidium* via drinkwater, vooral in de Verenigde Staten en Engeland. De eerste uitbraken die werden gerapporteerd waren van drinkwater dat duidelijk onvoldoende was gezuiverd, zoals water uit riviertjes waar de enige zuivering bestond uit een rooster om vissen tegen te houden en dosering van chloor. Daar keken we hier niet zo van op. Maar toen in Engeland een uitbraak plaatsvond via een conventionele drinkwaterzuivering²², waar bleek dat *Cryptosporidium* zich had opgehoopt in het spelwater dat werd gerecirculeerd, fronste we een wenkbrauw. Toen in 1993 de grootste uitbraak ooit gerapporteerd optrad via conventioneel gezuiverd drinkwater in de VS²³, keken we hier wel bezorgd. Kon dat ook hier gebeuren? Wat ging daar mis?

Cryptosporidium uitbraak in Milwaukee

Milwaukee is een middelgrote stad in Wisconsin in de VS. Begin april 1993 kreeg de GGD daar berichten over massaal ziekteverzuim in school en werk en het opraken van anti-diarree medicatie bij apotheken. Uit labonderzoek bleek uiteindelijk dat *Cryptosporidium* de oorzaak was dat zo veel mensen ziek waren. De GGD heeft de omvang van de uitbraak onderzocht door ruim 1600 inwoners van Greater Milwaukee telefonisch te bevragen. Ze kwam tot de conclusie dat er ruim 400.000 mensen ziek zijn geworden, de halve stad dus. Bij dat getal zijn later terecht nog wat kanttekeningen gezet, maar zeker is dat dit een heel grote uitbraak was. De GGD ging ook op zoek naar de oorzaak. Dat bleek nog niet zo eenvoudig. Wat opviel was dat de ziektegevallen zich concentreerden in de zuidelijke helft van de stad. Omdat *Cryptosporidium* al eerder via drinkwater verspreid was en drinkwater een voor de hand liggende verspreidingsroute is bij zo'n omvangrijke uitbraak, werd contact gezocht bij het waterbedrijf. In eerste instantie rapporteerde die geen afwijkingen van de wettelijke eisen aan het drinkwater (geen colibacteriën in het water en de troebelheid voldeed aan de eisen). Omdat de verspreiding van ziektegevallen toch sterk op het drinkwater leek te wijzen werd beter gekeken naar de gegevens van het waterbedrijf. De troebelheid van het afgeleverde water voldeed wel aan de norm, en bij de Linwood Plant die het noorden van de stad voorziet was hij ook constant onder de 0,2 NTU. Maar bij de Howard Avenue plant, die het zuiden van de stad van drinkwater voorziet, vertoonde de troebelheid eind maart een duidelijke piek tot 1,7 NTU. Die piek kwam, als je de incubatietijd van *Cryptosporidium* meerekent, erg overeen met de piek in ziektegevallen. Het drinkwater van de Howard Avenue plant was hoofdverdachte! Op 7 april werd een kookadvies gegeven en de uitbraak stopte. Uit de troebelheidsgegevens blijkt dat de problemen met het drinkwater toen ook al over waren. Men ging op zoek naar de 'smoking gun' en vond uiteindelijk *Cryptosporidium* in ijs dat eind maart was ingevroren. Het drinkwater werd schuldig bevonden. Het waterbedrijf had de halve stad ziek gemaakt.

De drinkwaterwereld was natuurlijk vooral benieuwd naar de oorzaak van de troebelheid-problemen waardoor *Cryptosporidium* door de zuivering heen kon komen. Om dat te begrijpen moeten we het drinkwatersysteem wat nader onder de loep nemen.

De stad ligt aan Lake Michigan. Dat meer is de bron voor de drinkwatervoorziening van de stad. Het water wordt ingenomen uit Lake Michigan via pijpleidingen die ca 2 km het meer in liepen en op 13 m diepte water uit het meer innamen. Dwars door Milwaukee loopt de Milwaukee River die uitmondt in Lake Michigan. Het regende stevig in maart 1993 wat betekende dat veel materiaal van het land afspoelde de rivier in. Ook de riolering en rioolwaterzuivering van Milwaukee kreeg meer water te verduren dan het aankon en moest ongezuiverd rioolwater overstorten. In zulke situaties verslechtert de waterkwaliteit in de rivier sterk. De inname van de zuidelijke drinkwaterzuivering lag precies in de pluim van de rivier en nam dus in die periode water in met een veel hogere troebelheid en fecale belasting. Opmerkelijk was dat al in 1934 bekend was dat de inname van het zuidelijke zuiveringsstation op de plek lag waar het water het meest verontreinigd was met fecaliën²⁴. Ook het noordelijke zuiveringsstation nam water in uit het meer, maar op een plaats die niet in de pluim lag. Zowel het noordelijke als zuidelijke zuiveringsstation zuiverde het water op de voor de VS gebruikelijke wijze (conventional treatment) via het doseren van vlokmiddel om deeltjes uit te laten vlokken en te verwijderen (chemische coagulatie), zandfiltratie en desinfectie met chloor. Bij het zuidelijke station waren ze net overgeschakeld op een nieuw coagulatiemiddel en het opvangen van een piek in de troebelheid hadden ze nog niet voldoende onder de knie. Daardoor kwamen hogere aantallen deeltjes op de filters terecht dan normaal. De filters konden dat niet aan en ziekteverwekkers braken door de filters heen. De chloordosering heeft mogelijk wel effect gehad op andere ziekteverwekkers, maar niet op *Cryptosporidium* en is zo door de barrières heen gebroken. Resultaat: naar schatting ruim 400.000 zieken, 4400 ziekenhuisopnames en 50-70 doden, vooral onder mensen met een zwakke afweer. Kosten 96 miljoen dollar, waarvan 1/3e zorgkosten en 2/3e verloren arbeid²⁵. U snapt inmiddels de bezorgde blik. Het was hier misgegaan door een cascade van gebeurtenissen. De regen zorgde voor overstorten die een piekverontreiniging in het water brachten; de inname lag precies zo dat het de piek voor de kiezels kreeg en de nog niet ingewerkte zuivering kon dat niet aan. Chloor werkte niet tegen *Cryptosporidium* en zo vielen de barrières een voor een.

Milwaukee uitbraak: cascade

1. Hevige regenval
 2. Overstort riool in rivier + hoge vuillast rivier
 3. Inlaat drinkwater in vuilpluim
 4. Onervaren met nieuwe coagulatie
 5. Chloordosering heeft geen effect op *Cryptosporidium*
- Halve stad ziek

Voldoende
berging in riool

Keuze
inlaatlocatie

Meerdere
barrières

Fig. 11

Wat had het kunnen voorkomen? Voldoende berging in het riool (of misschien ook daar voldoende onderhoud), een goede keuze van de inname locatie, zorgen voor voldoende zuivering door meerdere processen toe te passen, zodat als er een omvalt de ander het op kan vangen. Dat is ook precies de gevolgen die deze parasiet op de watersector heeft gehad. In Milwaukee hebben ze nu gezorgd voor meer berging, de inname verlegd en de zuivering geoptimaliseerd en uitgebreid. Maar deze parasiet heeft een grote invloed gehad op de drinkwatervoorziening over de hele ontwikkelde wereld. Er is gezocht naar betere bescherming van de bronnen en op veel plaatsen is een extra zuiveringstap neergezet. Nadat in 1998 bekend werd dat bestraling met UV-licht erg effectief was tegen *Cryptosporidium*²⁶ hebben veel steden in de westerse wereld UV aan de zuivering toegevoegd.

Introductie desinfectie met UV

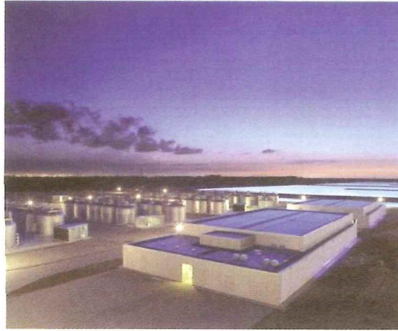


Fig. 12

En in Nederland? Samen met mijn collega's bij het RIVM hebben we methoden ontwikkeld om deze parasieten in water aan te kunnen tonen en hebben we hun verspreiding via water onderzocht. Met Henk Ketelaars, Wim Hoogenboezem, Gerard Rijs en Jack Schijven hebben we uitgebreid gekeken naar *Cryptosporidium* en *Giardia*²⁷ en ze zitten overal: in rioolwater, slachthuisafvalwater, dierlijke mest en de rivieren, ook voor de poort van het drinkwaterbedrijf. En ook in de Rijn en Maas komen er concentratiepieken voor als het stevig regent boven in het stroomgebied.

Met Jack Schijven van het RIVM hebben we berekend dat we zo'n 1 biljoen *Cryptosporidium* en 10 biljoen *Giardia* parasieten per jaar in onze rivieren lozen²⁸. Nu stroomt er ook heel wat water door de Rijn en Maas, maar de concentraties van ziekteverwekkers in de rivieren liggen niet zo heel ver onder die in effluent van rioolwaterzuiveringen. En *Cryptosporidium* en *Giardia* zijn niet de enige ziekteverwekkers die we lozen. Zowel door Leo Heijnen bij KWR²⁹ als door Ana Maria de Roda Husman, Saskia Rutjes en collega's bij het RIVM^{30, 31} zijn en worden moleculaire methoden ontwikkeld, zoals kwantitatieve PCR. Daarmee kunnen we nu ziekteverwekkers aantonen die we eerder niet aan konden tonen. Bacteriën als *Campylobacter* en enterohemorhagische *E. coli*, virussen als Norovirus, Adenovirus, Rotavirus, Hepatitis E virus en Parechovirus zijn in onze rivieren gevonden.

Is de zuivering in staat deze afdoende te verwijderen? En wat is afdoende? Al in 1991 hebben Kiwa en RIVM een workshop Water Virology for the nineties georganiseerd. Daar kwam voor het eerst het concept van microbiologische risicoanalyse naar voren. De drinkwaterregelgever van de VS, de EPA, vertelde daar dat ze voor virussen en parasieten uit wilde gaan van een infectierisico-maat voor veilig drinkwater, omdat de kwaliteitsbewaking met *E. coli* onvoldoende bescherming bood. Drinkwater is veilig als het risico op een infectie minder is dan 1 op de 10.000 per jaar³². De charme van deze aanpak was dat je nu voor nieuwe

bedreigingen zoals *Cryptosporidium* kon aangeven waar de zuivering toe in staat moest zijn om voldoende veilig drinkwater te maken. Het was een genoegen om met Arie Havelaar en Peter Teunis bij het RIVM de eerste stappen te zetten naar de kwantitatieve microbiologische risicoanalyse van *Cryptosporidium* in drinkwater³³ en te zien hoe dat werk mede de basis legde voor de nieuwe drinkwaterrichtlijnen van de Wereldgezondheidsorganisatie^{34, 35}. Ook de drinkwaterbedrijven waren gecharmeerd van deze kwantitatieve aanpak, ze konden nu aantoonbaar maken dat ze nieuwe bedreigingen adequaat konden verwijderen.

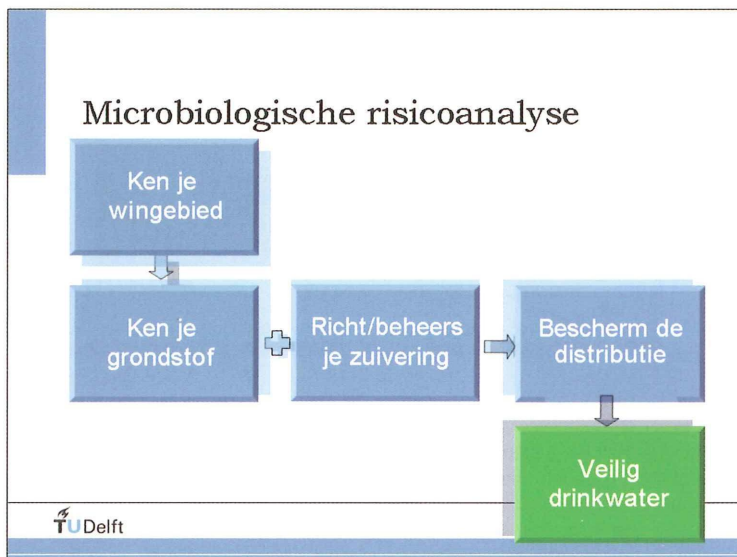


Fig. 13

In 1996 ben ik overgestapt van RIVM naar KWR om de risicoanalyse in de drinkwaterpraktijk te helpen implementeren. Met Pieter Nobel en Wim Hijnen hebben we samen met de waterbedrijven veel onderzoek gedaan naar de verwijdering van bacteriën en parasieten door zuiveringsprocessen³⁶. In 2001 werd de aanpak opgenomen in het nieuwe Waterleidingbesluit. De risicoanalyse is nu in Nederland de basis voor de beoordeling van de veiligheid van de drinkwatervoorziening. Met Ana Maria de Roda Husman van het RIVM en een commissie van waterbedrijven en overheid hebben we de wettelijke eis en het concept van de indexpathogenen uitgewerkt in een Inspectierichtlijn³⁷. Wat heeft dat betekend? Dat de waterbedrijven gegevens verzameld hebben over het voorkomen van ziekteverwekkers in hun grondstof en hun zuiveringssystemen hebben beoordeeld op de verwijdering van bacteriën, virussen en parasieten. Het was een tweede ronde van bewustwording over hygiëne en veiligheid van drinkwater. Op sommige plaatsen moesten nog wat puntjes op de i worden gezet. Een belangrijke bevinding die Wim Hijnen met de waterbedrijven heeft gedaan was dat een zuivering op praktijkschaal minder goede verwijdering bewerkstelligt dan je op grond van proeven in het lab mag verwachten³⁸. Tot dan toe werden bijvoorbeeld desinfectie proeven op het lab vrijwel lineair opgeschaald naar de praktijk. Dat kan de werkelijkheid schromelijk overschatten. Vanaf nu wordt de beoordeling van de zuiveringsprocessen daarom gebaseerd op de praktijkgegevens. Hij heeft voor veel zuiveringsprocessen gegevens

over de verwijdering van bacteriën, virussen en parasieten verzameld. Hij is nu, samen met Luc Hornstra de matrix compleet aan het maken. Patrick Smeets onderzocht hoe je die gegevens moet gebruiken om het zuiveringsrendement goed te beschrijven en hoe je processturing, procesmonitoring en respons op afwijkingen kunt baseren op veiligheidseisen aan het drinkwater, dus hoe de risicoanalyse kan worden gekoppeld aan processturing en het Water Safety Plan³⁹. Inmiddels hebben alle bedrijven hun voorlopige risicoanalyses uitgevoerd voor parasieten, virussen en bacteriën en is drinkwater aantoonbaar zeer veilig.

Drinkwater uit grondwater

In het westen zijn de rivieren de bron voor drinkwater. In de rest van het land is grondwater de belangrijke bron. Grondwater wordt beschermd door bodemlagen die slecht doordringbaar zijn voor ziekteverwekkers. Is dat afdoende? Het beschermingsbeleid (de 60-dagenzone) was gebaseerd op onderzoek aan bacteriën in grondwater uit de jaren dertig. Dat hebben we nu aangevuld met informatie over vooral virusverwijdering. Virussen zijn het meest kritisch omdat ze zo klein zijn dat ze door de poriën heen kunnen dringen. Jack Schijven van het RIVM heeft daar veel werk aan gedaan⁴⁰ en bij een aantal waterbedrijven hebben KWR en RIVM veldproeven uitgevoerd naar de verwijdering van virussen door bodempassage. In de duinen van Castricum, waar de bodem zeer effectief bleek in het verwijderen van micro-organismen; in de diepe ondergrond van Brabant waar het oxische deel ook heel effectief was, maar het anoxische niet en in de anoxische bodem onder KWR, waar Paul van der Wielen liet zien dat anoxische bodems inderdaad een stuk minder verwijdering leveren en ca 100 dagen nodig zijn voor veilig drinkwater⁴¹. Ook hier werken we de matrix af en werkt Luc Hornstra nu aan de voorbereiding van een veldproef in een suboxische bodem om te bepalen of hier de 60 dagen wel afdoende zijn.

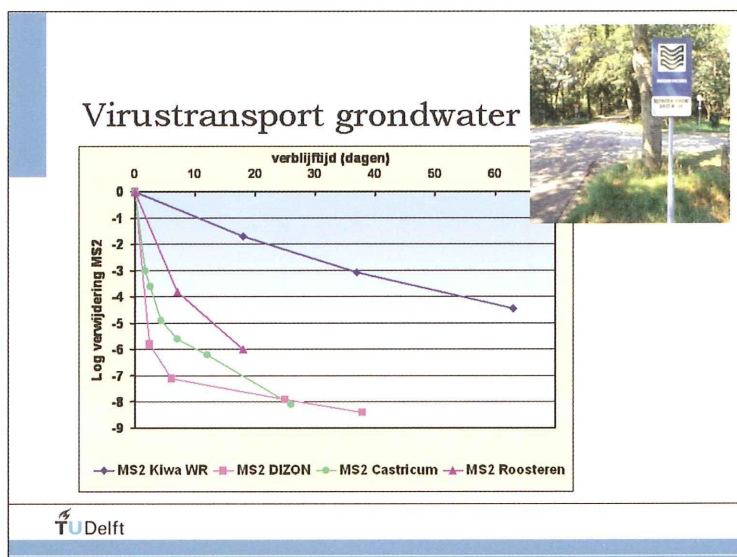


Fig. 14

Drinkwaterleidingen

Het drinkwater bereikt uw huis via een uitgebreid distributienet van ondergrondse leidingen. De hoge kwaliteit drinkwater die de waterbedrijven er in stoppen moet bij u weer uit de kraan komen. Onderweg moet het dan ook letterlijk smetteloos zijn. Gaat daar wel eens wat mis? Ja, Prof. Huisman begon zijn hoogleraarschap aan de TU vlak nadat via menselijk falen de afvalwatertanks van 4 Franse marineschepen in het drinkwaternet van het Rotterdamse Scheepvaartkwartier werd geperst. Hij onderzocht dat samen met Pieter Nobel van het waterbedrijf⁴². Ruim 600 mensen kregen symptomen van darminfectie. Een dergelijke kortsluiting is gelukkig heel zeldzaam. Wel zien we elk jaar een paar keer dat ergens in Nederland het drinkwater moet worden gekookt voor consumptie omdat er *E. coli* in het water terecht is gekomen, bijvoorbeeld bij reparaties of lekkages in reinwaterkelders. Hein van Lieverloo heeft geïnventariseerd hoe vaak de waterkwaliteitsbewaking een besmetting signaleert⁴³. In Nederland was dat in 1 op de 1000 monsters, terwijl in Frankrijk, waar zodanig gechloord moet worden dat er nog 0.1 mg/L uit elke kraan komt was dat 4-10 op de 1000 monsters. De situatie met chloor is dus niet beter dan zonder chloor, integendeel zelfs. Patrick Smeets onderzoekt nu de gezondheidskundige betekenis van die incidentele besmettingen in het distributienetwerk.



Fig. 15

Nieuwe ontwikkelingen in de watercyclus

Drinkwater hebben we nu dus goed geregeld. Hoe zit dat op andere plaatsen in de watercyclus? De watercyclus is in Nederland kent sinds kort haar eerste watercyclusbedrijf: Water-net; er kwam een Bestuursakkoord waterketen tussen overheid en sector⁴⁴; Kiwa Water Research werd KWR Waterycle Research Institute. Ook hier aan de TU. Hoewel Hans van Dijk 34 jaar geleden al afstudeerde op hergebruik van afvalwater voor de drinkwatervoorziening⁴⁵ staat de watercyclus de afgelopen tijd echt centraal. Een half jaar geleden hield Jules van Lier zijn intrede als hoogleraar Afvalwaterbehandeling en hield een pleidooi voor het sluiten

van de watercyclus, met meervoudig watergebruik en hergebruik van reststoffen die in het rioolwater zitten⁴⁶. De keten wordt een cyclus en de afvalwaterzuivering een grondstoffen fabriek, vooral voor energie en fosfaat. Per 1 januari van dit jaar is Luuk Rietveld benoemd als hoogleraar Stedelijke Watercyclus. Lambèr Paping onderzoekt de mogelijkheden voor her-gebruik in de industrie en ook daar komt nog een nieuwe hoogleraar Industriewater. Er zijn in het land allerlei initiatieven om anders met water om te gaan, uit oogpunt van waterbesparing, energiebesparing en –terugwinning, uit oogpunt van klimaatverandering en van verstedelijking. Goede argumenten voor nieuwe manieren om met water om te gaan.

Maar u weet het nog: watercyclus en waterziektes.

Ik loop een drietal voorbeelden met u door waar we in Nederland anders met water omgaan. Dat gaat niet altijd goed. En dat is zonde, omdat er mensen ziek worden, maar ook omdat het de initiatieven om anders met water om te gaan kan torpederen.

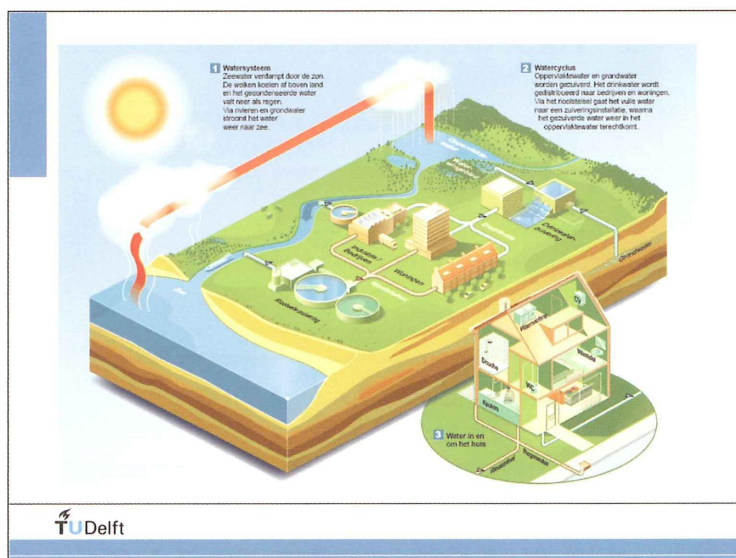


Fig. 16

Huishoudwater

Het eerste voorbeeld, huishoudwater, is daar een goed illustratie van. Het idee was goed: het is zonde om ons goede drinkwater door het toilet te spoelen. Het idee om huizen te voorzien van twee verschillende waterleidingen: een voor drinken en een voor toiletspoeling ligt voor de hand. In de Utrechtse nieuwbouwwijk Leidsche Rijn werd dat praktisch. Twee gescheiden netten, 1 met drinkwater en 1 met voorgezuiverd rivierwater. Het waterbedrijf, VROM en de VROM Inspectie, RIVM en KWR hebben samen uitvoering gesproken over het risico op kruis-verbindingen tussen beide netten. Verschillend gekleurde materialen, speciale kranen, geen fysieke koppeling tussen beide netten, een hogere druk in het drinkwaternet en een voorlichtingscampagne waren onderdeel van de maatregelen om binnendringen van huishoudwater in het drinkwaternet te voorkomen. En als het zou gebeuren voldeed het huishoud-

water nog steeds aan de streefwaarde voor uitstekend zwemwater.

Toch ging het mis: een kruisverbinding tussen beide netten, en een tijdelijk hogere druk in het huishoudwaternet zorgde er in december 2001 voor dat besmet huishoudwater uit de drinkwaterkranen kwam en ca 200 mensen ziek werden. Het onderzoek dat volgde leidde tot het vinden van de kruisverbinding tussen beide netten⁴⁷. Er werden ook foutieve huisaansluitingen gevonden. Dat sloeg over naar andere huishoudwater proefprojecten en ook daar werden foutieve aansluitingen gevonden. De bewoners vertrouwden huishoudwater niet meer, de gemeentelijke politiek nam het onder vuur. Waterbedrijven werden van leverancier van onberispelijk water ineens gezien als leverancier van bacteriën. Ze stopte met levering van huishoudwater. Ook VROM stond grootschalige levering van huishoudwater niet meer toe. Overigens was gezondheid niet de enige reden, qua kosten en milieuwinst kwam een dubbel net niet snel in de positieve cijfers.

Pers: het imago slaat om

Tweede waternet Leidsche Rijn
gepubliceerd op www.utrechtsenieuwblad.nl - donderdag 30 september 1999

Leidsche Rijn te spreken over huishoudwater
gepubliceerd op www.utrechtsenieuwblad.nl - donderdag 1 februari 2001

Water legt wijk in de lappenmand
gepubliceerd op www.utrechtsenieuwblad.nl - maandag 17 december 2001

Parkwijk vertrouwt drinkwater niet
gepubliceerd op www.utrechtsenieuwblad.nl - vrijdag 11 januari 2002

Gezin drinkt jaar lang huishoudwater
gepubliceerd op www.utrechtsenieuwblad.nl - dinsdag 11 juni 2002

Grijs water echt te ongezond
gepubliceerd op www.utrechtsenieuwblad.nl - vrijdag 17 januari 2003

Socialisten zijn bevreesd voor „buitenkraanvergiftiging“
gepubliceerd op www.utrechtsenieuwblad.nl - maandag 14 november

'Stoppen met huishoudwater'
gepubliceerd op www.utrechtsenieuwblad.nl - dinsdag 21 januari 2003

ADNL
ALGEMEEN DELFT NIEUWSBLAD

TU Delft

Fig. 17

Drie lessen uit deze uibraak.

1. De fout werd ontdekt door klachten van bewoners. Dat was ook het geval in Rotterdam en is het geval bij veel uitbraken. Klachten van waterconsumenten zijn momenteel ons gevoeligste meetinstrument voor problemen met de waterkwaliteit en moeten dus heel serieus worden genomen.
2. Een ongeluk zit in een klein hoekje. De ziekteverwekkers hebben maar een moment van onoplettendheid nodig om toe te slaan. Dat is een belangrijk verschil met chemische verontreinigingen, daar hebben we het meestal over levenslange blootstelling, bij ziekteverwekkers is het acuut mis.
3. De beleving van de bewoners bepaalt of een watercyclus project slaagt of niet. Tijdens het schrijven van deze introereede werd bekend dat in een dubbel leidingnet in Queensland, Australië dit voorjaar precies hetzelfde is gebeurd. Australiërs zijn veel waterbewuster dan wij, omdat ze maar zo weinig water hebben. Toch wankelt dit grote project omdat de bewoners het niet meer vertrouwen.

Koelwater

Voorbeeld 2. We krijgen ook in Nederland steeds meer koeltorens om gebouwen koel te houden. Bij natte koeltorens staat het koelwater in open verbinding met de lucht. De gedeeltelijke verdamping van het koelwater zorgt voor een sterk koeleffect. Bij onvoldoende beheer en onderhoud of onvoldoende werkende waterbehandeling kan groei van *Legionella* optreden in het koelwater en werken de koeltorens ook als generator van aerosolen met *Legionella*.

Naar schatting bevinden zich 4000 – 6000 natte koeltorens in Nederland. *Legionella* is aangetroffen in 80% van de koeltorens op Rotterdamse gebouwen door GGD Rotterdam en Streeklab Haarlem en in het BEL project van een aantal GGD-en is 53% van de koeltorens positief getest op *Legionella*⁴⁸. In Amsterdam ging dat in 2006 mis: vanuit de koeltoren bij een gebouw vlak bij het Centraal Station werden voorbijgangers beneveld met *Legionella pneumophila*. 31 werden er ernstig ziek en 3 overleden⁴⁹. Een lekker dagje Amsterdam.

En als we het over water en ziekte hebben, is *Legionella* ons ernstigste probleem. Jaarlijks worden ca 300 gevallen van legionellose geregistreerd, met een piek van 450 in 2006, het jaar met de warme zomer. Het aantal gerapporteerde sterfgevallen ligt rond de 40. Dat is waarschijnlijk een onderrapportage, de Gezondheidsraad schat het aantal op 80 sterfgevallen per jaar⁵⁰. Dus er gaan nog steeds mensen dood aan ziekteverwekkers in onze watersystemen. De helft van de gevallen pikt *Legionella* op tijdens een vakantie in het Middellandse zeegebied, de andere helft pikt *Legionella* ergens in Nederland op. Koeltorens lijken daarbij een belangrijke bron, maar hoe vaak koeltorens daadwerkelijk de oorzaak zijn is onbekend. Bij de bronopsporing van de legionellose gevallen in het verleden kon men natte koeltorens niet systematisch meenemen. De registratieplicht maakt dat nu beter mogelijk. In Europa zijn koeltorens de bron van 1/3e deel van de uitbraken in de algemene bevolking⁵¹. Als we door klimaatverandering in de toekomst warmere zomers krijgen, kunnen we verwachten dat er ook meer koeltorens in ons land worden geïnstalleerd.

Om te voorkomen dat *Legionella* zich kan vermeerderen en verspreiden heeft Frank Oosterholt van KWR aanbevelingen voor ontwerp, onderhoud en beheer⁵². Inmiddels heeft Bart Wullings van KWR een snelle en specifieke methode voor de detectie van *Legionella pneumophila* in koelwater ontwikkeld. Met Q-PCR wordt snel bepaald of *Legionella pneumophila* aanwezig is⁵³. Als dat het geval is kan met de kweekmethode die Harm Veenendaal van KWR heeft opgezet ook specifiek is voor *Legionella pneumophila* vastgesteld worden of ze ook levend en dus infectieus zijn⁵⁴.

Legionella verspreiding via koeltorens is een beheersbaar risico, maar dan moet de beschikbare kennis wel worden toegepast bij ontwerp, beheer en onderhoud van koeltorens. Koele gebouwen zijn plezierig, maar wel graag zonder dat ze *Legionella* over voorbijgangers uitsproeien.

Legionella via koeltorens



TU Delft

Foto: Blygoldini

Fig. 18

Water in de stad

Voorbeeld 3. In de stad zijn veel watercyclus initiatieven. De verwachte klimaatverandering betekent dat er vaker hoosbuien zullen vallen, maar ook langere periodes van droogte. Er worden nieuwe ideeën ontwikkeld voor gebruik van water als middel om gebouwen te koelen, te recreëren, te hergebruiken, om water bovengronds op te slaan in waterpleinen of te infiltreren via WADI's. Voorkomen moet worden dat na hoosbuien de straten blank staan of het water de huizen inloopt. Marie-Claire ten Veldhuis promoveerde 10 dagen geleden op haar onderzoek aan water op straat⁵⁵. Dat water op straat bleek net zo besmet te zijn als rioolwater tijdens zo'n hoosbui. Het gezondheidsrisico van blootstelling aan water op straat is dus ook hoog: een kans van 1 op 3 tot 1 op 5 dat je een *Campylobacter* infectie oploopt. Verstandig beleid dus, om water op straat te voorkomen. Er komen in onze leefomgeving waterpleinen of WADI's waar het regenwater in opgevangen wordt. Daar stroomt ook veel straatvuil, inclusief hondenpoep naar toe. Tegelijkertijd worden dit aantrekkelijke speelplaatsen voor kinderen. RIZA concludeerde in 2002 al dat er reële gezondheidsrisico's aan dergelijke systemen verbonden kunnen zitten. Her en der maken we ook waterspeelplaatsen en bedriegertjes. Speelplezier voor kinderen, tenminste bij goed beheer. Ana Maria de Roda Husman van het RIVM rapporteerde over een Norovirus uitbraak via een waterspeeltuin⁵⁶. Stowa rapporteerde vorig jaar dat spelen in WADI's, bedriegertjes en speelvijvers ook reële gezondheidsrisico's op kan leveren⁵⁷. Inmiddels zijn Helena Sales Ortells bij KWR/TUD en Heleen de Man bij UU/Grontmij beide bezig met promotieonderzoek om de gezondheidsrisico's beter in kaart te brengen.



Fig. 19

Zwemwater

Tot nu toe heb ik het vooral gehad over engineered watersystemen. Maar hoe zit het met zwemmen in buitenwater? Daar zit geen drinkwaterzuivering tussen en zwemmen we direct tussen de ziekteverwekkers die we er zelf in hebben gebracht. Worden mensen ziek van zwemmen in buitenwater? Ja. Het RIVM houdt elk jaar de meldingen van gezondheidsklachten bij. In de warme zomer van 2006 waren er 153 meldingen met in totaal 828 ziektegevallen, 46% maag-darmklachten en 36% huidklachten en verder oorinfecties en ziekte van Weil. Dit is het topje van de ijsberg, veel klachten worden niet gemeld⁵⁸.

Uit tal van epidemiologische studies, ook hier in Nederland, blijkt dat zwemmen in buitenwater, ook als dat aan de normen voor goede zwemwaterkwaliteit voldoet, gezondheidsklachten op kan leveren. In Engeland en de VS, waar vrij veel van deze studies zijn gedaan, hebben ze die studies omgezet in schattingen van het aantal ziektegevallen. Voor Engeland was het risico op maag-darmklachten zo'n 6% per zwembeurt⁵⁹. Met zo'n 30 miljoen zwembeurten in de Britse zee zou dat neerkomen op 1,5 – 2 miljoen maagdarminfecties per jaar. Aan de stranden van zuid Californië zijn in totaal 90 miljoen strandbezoeken per jaar en naar schatting ergens rond 1 miljoen maagdarminfecties⁶⁰. Voor Nederland zouden we dit soort informatie toch ook moeten hebben. Het zou laten zien dat zwemwater een substantiële bijdrage levert aan de bijna 5 miljoen diarreegevallen per jaar.

Wat weten we eigenlijk over het voorkomen van ziekteverwekkers in zwemwater? Niet zo veel. De aandacht van de zwemwaterbeheerders is vooral gericht op de E. coli en enterococci norm en cyanobacteriën. We zouden een voorbeeld moeten nemen aan de ontwikkeling in de VS, waar ze nu overwegen zwemwaterveiligheid te beoordelen op meetgegevens over ziekteverwekkers en hun gezondheidsrisico. In Nederland hebben we al wel laten zien dat dat werkt in specifieke situaties: met Hans Ruiter hebben we een risico analyse gedaan voor zwemmers in zwemplassen naast de rivier op basis van metingen van de concentratie Cryptosporidium en Giardia in zwemwater⁶¹. Jack Schijven heeft dat gedaan voor duikers⁶² en

Ciska Schets heeft een uitgebreidere risico analyse gedaan voor zwemmers in water in en om Amsterdam⁶³, onderzoek waar ze volgend jaar mede op promoveert. Ook deze studies wijzen er op dat zwemmen in buitenwater een gezondheidsrisico met zich meebrengt, ook als het aan de zwemwaternormen voldoet.

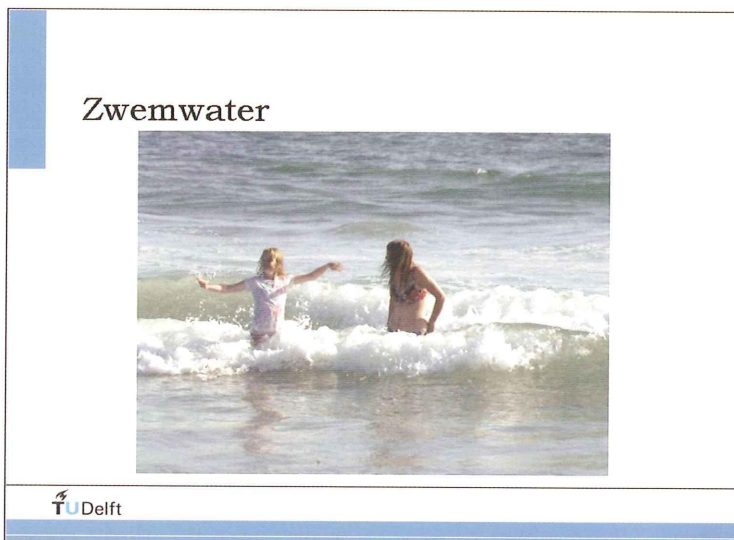


Fig. 20

Afhankelijk van de mate van verontreiniging en de frequentie van blootstelling ligt het infectierisico op enkele tienden van procenten tot enkele tientallen procenten. Het beleidsvoornemen uit het Nationaal Milieubeleidsplan⁶⁴ dat we in 2010 in al het Nederlands oppervlaktewater kunnen zwemmen zonder ziek te worden hebben we dus niet gehaald. Wat moeten we nog doen? Ook hier zijn het de pieken die het hem doen. In een periode van regenval lozen overstorten en overbelaste rioolwaterzuiveringen plotseling veel meer ziekteverwekkers. Paul van der Wielen heeft laten zien dat je de momenten van slechte zwemwaterkwaliteit goed kan voorspellen aan de hand van gegevens gerelateerd aan regenval en stroming⁶⁵. De meeste dagen is de zwemwaterkwaliteit uitstekend, maar op een aantal dagen is hij hooguit aanvaardbaar of zelfs slecht. Daar zit het risico. Op alle locaties waar het zwemwater onder invloed staat van overstorten of pieklozingen zou een waarschuwingssysteem moeten komen die badgasten waarschuwt als het zo'n risicodag is. Dat zou veel ziektegevallen voorkomen. Nog beter: haal de oorzaak weg, verplaats of saneer de lozing.

Wat staat ons te doen?

We zijn verwikkeld in een continue wapenwedloop met de ziekteverwekkers. We boeken grote successen in de strijd, zeker in de watersector, maar we kunnen niet op onze lauweren rusten. We lozen nog steeds grote hoeveelheden wateroverdraagbare ziekteverwekkers. Ze heten nu geen cholera of tyfus meer, maar ze zijn nog steeds op zoek naar de bressen in onze waterverdediging. Daarnaast komen er nieuwe ziekteverwekkers bij die via water overgedragen kunnen worden. Nieuwe ontwikkelingen helpen ze zelfs: we sluiten de watercyclus

kort en daarmee geven we de ziekteverwekkers de gelegenheid. We brengen veranderingen in het watersysteem aan met de bedoeling de duurzaamheid, efficiency en/of ons comfort te vergroten, maar die hebben ongewenste bijwerkingen in de vorm van ziekte- en soms zelfs sterfgevallen. Kennis over het gedrag van micro-organismen in watersystemen, wat er mis kan gaan en welke maatregelen effectief zijn is onontbeerlijk om te komen tot een goed ontwerp, beheer en onderhoud van de watersystemen. Als deze kennis beschikbaar is, is het wel onze professionele en maatschappelijke opdracht om ze in de praktijk zo goed mogelijk toe te passen.

Wat wil ik met mijn leeropdracht Water en Gezondheid daar aan bijdragen?

Onderwijs

Ik wil de nieuwe generatie wateringenieurs meegeven wat we weten op het gebied van watercyclus en waterziektes. Ze bewust maken van de ziekteverwekkers en hun vermogen om toe te slaan daar waar we onze barrières niet goed op orde hebben. En dat ze dat al doen als je maar even niet oplet. Met kwantitatieve microbiologische risicoanalyse hebben we een instrumentarium om de veiligheid van watersystemen te beoordelen en we weten wat we kunnen doen om de veiligheid te verbeteren. Robuust ontwerp en beheer van watersystemen met meerdere barrières zijn nodig om de verspreiding van ziekteverwekkers te voorkomen.

Ik wil dat doen door aan de collegeserie van Joop Huisman en Pieter Bol over hygiëne door te zetten naar de huidige Masterprogramma Gezondheidstechniek. Ook begint over drie weken de eerste Summer School van Watermanagement hier op de TU Delft. Samen met KWR, RIVM, Michigan State University, Drexel University en de GGD Rotterdam en Amsterdam onderwijzen we een groep van 25 wetenschappers uit de hele wereld in de microbiologische risicoanalyse.

Ontwikkeling in de diepte

Onze werkwijze voor de kwantitatieve veiligheidsanalyse van watersystemen moet nog verder geprofessionaliseerd worden. We hebben de stappen gezet van weten hoeveel ziekteverwekkers er in water zitten naar weten wat het infectierisico is. Doorvertalen naar ziektebelasting en kosten van ziekte maakt maatschappelijke kosten-batenanalyses mogelijk. Ook kunnen we de microbiologische risico's van watersystemen vergelijken met de ziektebelasting en kosten van andere risico's. Dat voorkomt dat we onevenredig veel of weinig uitgeven aan de veiligheid van onze watersystemen. We kunnen daar een voorbeeld nemen aan de ontwikkelingen in de microbiologische risicoanalyse van voedingsmiddelen.

Ook aan de blootstellinganalyse is nog wel wat te verbeteren. Alle stappen beschouwen we als onafhankelijk en we analyseren vooral de gemiddelde situatie. Beide zijn een versimpeling, de Milwaukeë uitbraak laat zien dat de grootste risicomomenten juist een cascade van gebeurtenissen is die niet onafhankelijk zijn en dat het niet de gemiddelde situatie is maar de bijzondere situatie. We hebben al een begin gemaakt om event-based risicoanalyse te doen, maar zijn er nog niet. Ik verwacht dat de kennis op de TU over risicoanalyse van technische systemen, van waterkeringen tot luchtvaart, ons daarbij goed van pas komt.

Verdere verdieping zie ik ook door meer gegevens te verzamelen, zowel experimenteel als in het veld, over voorkomen en gedrag van micro-organismen in het milieu. Alleen door te meten leren we begrijpen onder welke condities ziekteverwekkers een gezondheidsrisico kunnen vormen.

Ook zijn GIS technieken veelbelovend voor de integratie met microbiologische risicoanalyse.

Ontwikkeling in de breedte

Microbiologische risicoanalyse heeft zich vooral gericht op de veiligheid van drinkwater. Niet omdat daar de grootste risico's zaten, integendeel, maar omdat de drinkwatersector heel kwaliteitbewust is. De Nederlandse drinkwatersector was op deze manier wegbereider voor de invoering van een nieuwe manier om de veiligheid van watersystemen te kijken. Ik wil graag helpen die kennis toe te passen bij nieuwe initiatieven in de watercyclus. Jules en Luuk, dat zullen we samen moeten doen; vanuit de overtuiging dat we gezonde watersystemen moeten ontwerpen. Voor Nederland, maar zeker ook daarbuiten. De schets over de kindersterfte en de rol van infectieziekten en water waar ik mee begon is voor Nederland geschiedenis. Maar voor veel ontwikkelingslanden is het nog steeds harde realiteit. Nog steeds leven 1 miljard mensen zonder goede drinkwatervoorziening en sanitatie. De VN schat het aantal doden door darminfecties op 2 miljoen per jaar. 2 miljoen kinderen die sterven vanwege onvoldoende schoon drinkwater, hygiëne en sanitaire voorzieningen. Nederlandse waterbedrijven helpen het watervoorzieningsniveau in doellanden te verbeteren, maar de sterfte treedt vooral op in peri-urbane en rurale gebieden, waar geen centrale watervoorzieningen zijn en waar de hulp ook niet terecht komt. Veel van die ziektegevallen zijn te voorkomen door methoden te hebben om water op het niveau van individuele huishoudens op een goede manier te behandelen en op te slaan. De WHO heeft een programma over Household water treatment and storage⁶⁶. De keramische potten voor filtratie en opslag van drinkwater in huishoudens waar Bas Heijman onderzoek aan uitvoert zijn een goed voorbeeld. Het is de meest effectieve interventie maatregel voor het terugdringen van ziekte en sterfte. Een goed voorbeeld hoe wij onderzoek kunnen doen dat helpt de kindersterfte terug te dringen. Ik denk dat dit en soortgelijke initiatieven aandacht en geld verdienen uit ontwikkelingssamenwerking.

Dankwoord

Dames en heren, mijn verhaal is hiermee verteld. Ik heb in mijn verhaal al proberen aan te geven dat er veel mensen hebben gezorgd dat ik hier nu kan staan. Ik wil de laatste minuten gebruiken om een aantal mensen in het bijzonder te bedanken.

Allereerst het College van Bestuur en de Rector van de TU Delft en Louis de Quelerij, decaan van Civiele Techniek en Geowetenschappen, dank voor jullie vertrouwen.

Ook de directie van KWR: Wim, je steunt me in dit avontuur en geeft me de ruimte. Annemarie, je hebt mij ruimte in mijn hoofd en agenda gegeven door mijn taken in het MT over te nemen.

Hooggeleerde van Dijk, beste Hans, jij hebt de deur van de TU voor mij opengezet (zelfs twee keer). De voortvarende en betrokken manier waarop je me hebt binnengehaald zorgt ervoor dat ik me welkom voel. Dank voor je vertrouwen en je inzet.

Hooggeleerde van Lier, beste Jules, en hooggeleerde Rietveld, beste Luuk, Ik zei het al, samen staan we aan de lat voor gezonde systemen in de watercyclus. Ik zie uit naar onze samenwerking.

Medewerkers, promovendi, studenten bij Gezondheidstechniek. De sfeer die ik ervaar in de afdeling smaakt naar meer: betrokken bij de wetenschap, bij de praktijk en bij elkaar. Ik vind dat een bijzonder waardevol. Het is goed toeven hier in Delft. Mieke Hubert, dankjewel dat je mij wegwijs maakt in het universitaire wereldje.

De vakgroep is behoorlijk in beweging. Hans, jij bent aanjager en bindende factor in de vakgroep. Dat valt binnenkort weg. Je hebt een groep van enthousiaste jonge onderzoekers neergezet. Je hebt een groep neergezet die nationaal en internationaal gerenommeerd is om zijn onderwijs en onderzoek. Met dat fundament en een nieuwe generatie hoogleraren zie ik de toekomst van de vakgroep met het volste vertrouwen tegemoet.

Collega's van de waterleidingbedrijven, waterschappen, overheden, Mijn kennis krijgt pas waarde als jullie er wat mee doen. Dan moet het goede kennis zijn, maar ook de goede kennis. Help me om ook in de toekomst kennis te ontwikkelen waar jullie wat aan hebben.

Collega's van KWR Watercycle Research Institute, microbiologen en lab, We zijn een onderzoeksgroep van wereldklasse. Dat is onze gezamenlijke verdienste. Mijn benoeming is een bekroning van ons gezamenlijke werk. Ik zie het als mijn taak om het onderzoek bij KWR en TUD stevig te verbinden.

Hooggeleerde van der Kooij, beste Dick, jij hebt me naar KWR gehaald en samen hebben we het gedachtegoed over microbiologisch veilig drinkwater ontwikkeld. Je bent mijn voorbeeld van een toegepast wetenschapper. Je hebt een sterke wetenschappelijke lijn neergezet, maar altijd met een goed inzicht in de praktische toepassing en samen met onderzoekers van de waterleidingbedrijven. De resultaten van je onderzoek worden gebruikt door de waterleidingbedrijven en de overheid, in Nederland en ver daarbuiten.

Hooggeleerde van Knapen, beste Frans,
Mijn oproep om veilige watersystemen te ontwerpen en beheren zal je niet onbekend voorkomen. Het doet me deugd dat we daar nu samen aan werken.

Hooggeleerde Havelaar, beste Arie,
Jij hebt me bij het RIVM ingewerkt in de wereld van water en gezondheid. Letterlijk in de wereld, ik mocht meeliften op je netwerk bij de Wereldgezondheidsorganisatie en International Water Association. De introductie van Water Safety Plans en microbiologische risicoanalyse in de waterwereld zijn voor een belangrijk deel op jouw conto te schrijven. Je hebt mijn interne kwaliteitsmaatstaf voor wetenschappelijk onderzoek meegegeven.

Hooggeleerde Scheffers, beste Lex,
Jij hebt me voor de eerste keer naar Delft gehaald, voor mijn vervangende dienst bij Biotechnologie, voor onderzoek naar microbiële fysiologie van een bacterie uit de afvalwaterzuivering. Mijn eerste stappen in onderzoek van bacteriën in water. Ik las dat er kortgeleden een gistengeslacht naar je is vernoemd, de Scheffersomyces, een welverdiende waardering.

Mijn liefde voor de biologie is gewekt op de middelbare school, door leraren als Bram Bol. Tijdens mijn studie biologie in Leiden is die liefde verder gericht op microbiologie. Dat kwam door de onconventionele didactiek van Jan Kijne, inmiddels emeritus hoogleraar. Jan, ik weet niet meer wat me destijds het meeste aansprak: de wondere wereld van de microben of de "Alles-is-overal-show", maar het resultaat is een blijvende liefde voor micro-organismen.

Mijn ouders, bij jullie is het allemaal begonnen. Ik ben blij dat jullie hier bij zijn en vind het speciaal om deze oratie op dezelfde plek uit te spreken als waar ik voor het eerst kennismaakte met de universitaire gemeenschap toen ik hier als kleine jongen de promotie van mijn vader bijwoonde. Veel van wat je deed heb ik niet onthouden. Wel dat na afloop werd verteld hoe je het deed. Je bleek je onderzoek slapend op je werkkamer in het Reactorinstituut te kunnen doen. Tenminste, zo werd je een aantal keer aangetroffen. Dat heeft veel indruk gemaakt. Ik dacht, dat werk wil ik ook. Nu kent u mijn diepste drijfveer om deel te mogen uitmaken van deze gemeenschap.

Als vader hoop je natuurlijk je kinderen te inspireren. De voorbereiding voor deze oratie wekte belangstelling bij mijn kinderen. Vol verwachting besloot ik te proeven of ik hiermee een inspirerend voorbeeld had gegeven. Hun antwoord was: 'ben je gek of zo; je zit hier op je vrije dag een boekje over diarree te schrijven en dan ga je dat in een jurk staan voorlezen?!'. Merel, Joost, Jasmijn en Madelief, ik vind het een voorrecht om jullie ontwikkeling van heel dichtbij mee te maken. Ik ben trots op jullie. Ik hoop jullie in ieder geval te inspireren tot het kiezen van een vak waar je hart ligt en daar ook vol voor te gaan.

Tot slot, mijn lief Marjolein, The Gents zongen het al: All you need is love.

En zo is het.

Ik heb gezegd.

1. Dobell, C., 1932. Antony van Leeuwenhoek and his "little animals". Swets & Zeitlinger, Amsterdam, The Netherlands
2. Poppel, F. van, I. Deerenberg, J. Wolleswinkel-Van den Bosch, P. Ekamper, 2005. Hoe lang leefden wij? Historische veranderingen in de levensduur en het doodsoorzakenpatroon. Bevolkingstrends, 3e kwartaal 2005:13-25.
3. Ferriman, A, 2007. BMJ readers choose "sanitary revolution" as greatest medical advance since 1840. British Medical Journal 334:111.
4. Rijksvaccinatieprogramma <http://www.rivm.nl/rvp/>
5. WHO 2010 Poliomyelitis in Tajikistan – Update. Weekly Epidemiological Report, 7 mei 2010 85(19): 165-166.
6. WHO, 2006. WHO gives indoor use of DDT a clean bill of health for controlling malaria. <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2006/pr50/en/index.html>
7. MRSA <http://www.reuters.com/article/idUSTRE5A927820091110>
8. ESBL in het nieuws <http://nos.nl/artikel/143567-rivm-zorgen-over-resistente-bacterie.html>
9. WHO, 2010. HIV/AIDS highlights 2008 - 09. http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241599450_eng.pdf
10. Bijkerk, P., E.A. van Lier, J.A. van Vliet, M.E.E. Kretzschmar, 2009. De staat van infectieziekten in Nederland 2008. RIVM rapport 210211005, Bilthoven.
11. Huisman, J., 1993. Van casus tot pandemie: Omgaan met infectieziekten. Afscheidsrede 21 april 1993, TU Delft.
12. Commissie tot onderzoek van drinkwater, 1868. Rapport aan den Koning in verband met de verspreiding van cholera en tot aanwijzing der middelen ter voorziening in zuiver drinkwater. Van Weelden en Mingelen, Den Haag. <http://repository.tudelft.nl/view/ir/uuid:b779bc06-28dd-4075-8c53-954ef52f09b1/>
13. Kooij, D. van der, 1998. Microbiologie en drinkwatervoorziening: een eeuwige relatie. Intreerede oktober 1998, Landbouwwuniversiteit Wageningen.
14. Bleichrodt, H, 2008. The value of health. Intreerede 19 september 2008, Erasmus Universiteit Rotterdam.
15. Raad voor de Volksgezondheid en Zorg, 2006. Zinnige en duurzame zorg. Zoetermeer.
16. CBS statline <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/cijfers/statline/zelf-tabellen-maken/default.htm>
17. Leeflang, K.W.H., 1974. Ons drinkwater in de stroom van de tijd. VEWIN, Rijswijk.
18. Havelaar, A. H., 2008. Ieder risico heeft een staartje. Intreerede 11 juli 2008, Universiteit Utrecht.
19. <http://www.nederlandleeftmetwater.nl>
20. Olphen, M. van, J.C. Kapsenberg, E. van de Baan, W.A. Kroon, 1984. Removal of enteric viruses from surface water at eight waterworks in the Netherlands. Applied and Environmental Microbiology 47(5):927-932.
21. Medema, G.J. Cryptosporidium and Giardia. New challenges to the water industry. Thesis Utrecht University. <http://igitur-archive.library.uu.nl/dissertations/1883822/inhoud.htm>

22. Richardson, A.J., R.A. Frankenberg, A.C. Buck, J.B. Selkon, J.S. Colbourne, J.W. Parsons, R.T. Mayon-White, 1991. An outbreak of waterborne cryptosporidiosis in Swindon and Oxfordshire. *Epidemiology and Infection* 107(3):485-495.
23. Mac Kenzie, W.R., N.J. Hoxie, M.E. Proctor, M.S. Gradus, K.A. Blair, D.E. Peterson, J.J. Kazmierczak, D.G. Addiss, K.R. Fox, J.B. Rose, J.P. Davis, 1994. A massive outbreak in Milwaukee of *Cryptosporidium* infection transmitted through the public water supply. *New England Journal of Medicine* 331:161-167
24. Schwada, J.P., 1934. Milwaukee's water purification problem. *Journal American Water Works Association* 26:1450-1491.
25. Corso, P.S., M.H. Kramer, K.A. Blair, D.G. Addiss, J.P. Davis, A.C. Haddix, 2003. Cost of illness in the 1993 waterborne *Cryptosporidium* outbreak, Milwaukee, Wisconsin. *Emerging Infectious Diseases* 9(4): 426-431.
26. Bukhari, Z., Hardy, T.M., Bolton, J.R., Dussert, B., Clancy, J.L., 1999. Medium-pressure UV light for oocyst inactivation. *Journal of the American Water Works Association* 91(3):86-94.
27. Medema, G.J., H.A.M. Ketelaars, W. Hoogenboezem, 2001. *Cryptosporidium* and *Giardia*: occurrence in sewage, manure and surface water. RIWA, Amsterdam.
28. Medema, G.J., J.F. Schijven, 2001. Modelling the sewage discharge and dispersion of *Cryptosporidium* and *Giardia* in surface water. *Water Research* 35(18):4307-4316.
29. Heijnen, L., G.J. Medema, 2009. Method for rapid detection of viable *Escherichia coli* in water using Real-time NASBA. *Water Research* 43:3124-3132.
30. Lodder, W.J., J. Vinje, R. van der Heide, A.M. de Roda Husman, E.J.T.M. Leenen, M.P.G. Koopmans, 1999. Molecular detection of Norwalk-like caliciviruses in sewage. *Applied and Environmental Microbiology* 65(12):5624-5627.
31. Rutjes, S.A., W.J. Lodder, F. Lodder-Verschoor, H.H.J.L. van den Berg, H. Vennema, E. Duizer, M.P.G. Koopmans, A.M. de Roda Husman, 2009. Sources of hepatitis E virus genotype 3 in the Netherlands. *Emerging Infectious Diseases* 15(3):381-387.
32. Regli, S., J.B. Rose, C.N. Haas, C.P. Gerba, 1991. Modeling the risk from *Giardia* and viruses in drinking water. *Journal of the American Water Works Association* 83(11):76-84.
33. Teunis, P.F.M., G.J. Medema, L. Kruidenier, A.H. Havelaar, 1997. Assessment of the risk of infection by *Cryptosporidium* and *Giardia* in drinking water from a surface water source. *Water Research* 31(6):1333-1346.
34. WHO, 2004. Guidelines for Drinking Water Quality, WHO, Geneva. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/guidelines/en/index.html
35. Medema, G.J., P. Teunis, M. Blokker, D. Deere, A. Davison, Ph. Charles, J.F. Loret, 2009. Risk assessment of *Cryptosporidium* in drinking water. World Health Organisation, WHO/HSE WSH/09.04.
36. Medema, G.J., P. Hiemstra, W.A.M. Hijnen, P.J. Nobel, D. van der Kooij, 2000. Total systems approach to water treatment: multiple barriers for *Cryptosporidium* and *Giardia*. *Water Supply* 18(1): 430-434.
37. VROM Inspectierichtlijn 5318. Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater. VROM, Den Haag.
38. Hijnen, W.A.M., 2009. Elimination of micro-organisms by water treatment. Proefschrift Universiteit Utrecht <http://igitur-archive.library.uu.nl/dissertations/2009-0115-201809/UUindex.html>

39. Smeets, P.W.H.M., 2008. Stochastic modelling of drinking water treatment in quantitative microbial risk assessment. Proefschrift Technische Universiteit Delft.
40. Schijven, J.F., 2001. Virus removal from groundwater by soil passage: modeling, field and laboratory experiments. Proefschrift Technische Universiteit Delft.
41. Wielen, P.W.J.J., W. Senden, G.J. Medema, 2008. Removal of bacteriophages MS2 and ΦX174 during transport in a sandy anoxic aquifer. *Environmental Science and Technology* 42 (12):4589-4594.
42. Huisman, J., P. Nobel, 1981. Enkele epidemiologische gegevens over de gevolgen van de faecale drinkwaterverontreiniging in het Scheepvaartkwartier te Rotterdam in maart. *H2O* 14(26):642-646.
43. Lieverloo, J.H.M. van, E.J.M. Blokker, G.J. Medema, 2007. Quantitative microbial risk assessment of distributed drinking water using faecal indicator incidence and concentrations. *Journal of Water and Health* 5, Suppl. 1:131-149.
44. VROM, 2007. Bestuursakkoord waterketen. VROM, Den Haag.
45. Dijk, J.C. van, 1976. Hergebruik van afvalwater voor de drinkwatervoorziening. Afstudeerrapport, Technische Hogeschool Delft.
46. Lier, J. van, 2009. De afvalwaterput: einde en begin. Intreerede 18 november 2009, TU Delft.
47. Raad voor de Transportveiligheid, 2003. Verontreiniging drinkwater Leidsche Rijn. Den Haag, CB-3-03.015.
48. Sande, M. van der. 2008. Koeltorens als bron van Legionella. *Infectieziektenbulletin* 19(1):13-17.
49. Van den Hoek, J.A.R., E.P.F. IJzerman. R.A. Coutinho, 2006. Legionella-uitbraak in Amsterdam: koeltoren als bron. *Infectieziektenbulletin* 17:319-321.
50. Gezondheidsraad, 2003. Bestrijding van Legionella. Publicatie nr. 2003/12. Den Haag.
51. Joseph, C.A., Ricketts, K.D., 2010. Legionnaires' disease in Europe 2007-2008. *Eurosurveillance*, 15(8) <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=19493>
52. Wullings, B., 2007. Snelle, kwantitatieve detectie van Legionella pneumophila met Q-PCR. *H2O* 5:39-41.
53. Oosterholt, F. L. Paping, H. Veenendaal, D. van der Kooij, 2009. Combinatie Q-PCR en specifieke kweekmethode efficiënt voor screening proceswatermonsters op Legionella. *H2O*, 24:42-45.
54. Veenendaal, H., D. van der Kooij, 2007. Een specifieke kweekmethode voor Legionella pneumophila. *H2O* 2007(5):36-38.
55. Veldhuis, M.C. ten, 2010. Quantitative risk analysis of urban flooding in lowland areas. Proefschrift TU Delft.
56. Hoebe, T.F., H. Vennema, A.M. de Roda Husman, Y.T. van Duynhoven, 2004. Norovirus outbreak among primary schoolchildren who had played in a recreational fountain. *Journal of Infectious Disease* 189(4):699-705.
57. Man, H. de, M. Kuiper, I. Leenen, 2009. Volksgezondheid en water in het stedelijk gebied. Gezondheidsrisicoanalyse. Rapport 2009/25. Stowa, Utrecht.

58. Schets, F.M., A.M. de Roda Husman, 2007. Gezondheidsklachten gerelateerd aan recreatie in oppervlaktewater, zomer 2006. Infectieziektenbulletin 19(1): 32-35.
59. Georgiou, S., I.H. Langford, 2002. Coastal bathing water quality and human health risks: A review of legislation, policy and epidemiology, with an assessment of current UK water quality, proposed standards, and disease burden in England and Wales. CSERGE Working Paper ECM 02-06. http://www.uea.ac.uk/env/cserge/pub/wp/ecm/ecm_2002_06.htm
60. Given, S., L.H. Pendleton, A.B. Boehm, 2006. Regional public health cost estimates of contaminated coastal waters: a case study of gastroenteritis at southern California beaches. Environmental Science & Technology 15(40):4851-4858.
61. Ruiter, H., G. Medema, 2000. Cryptosporidium en Giardia in zwemwater en infectierisico's voor waterrecreanten. H2O 33(23):28-30.
62. Schijven, J.F., A.M. de Roda Husman, 2006. A survey of diving behavior and accidental water ingestion among Dutch occupational and sport divers to assess the risk of infection with waterborne pathogenic microorganisms. Environmental Health Perspectives 114(5):712-717.
63. Schets, F.M., J.H. van Wijnen, J.F. Schijven, H. Schoon, A.M. de Roda Husman, 2008. Monitoring of waterborne pathogens in surface waters in Amsterdam, The Netherlands, and the potential health risk associated with exposure to Cryptosporidium and Giardia in these water. Applied and Environmental Microbiology 74(7):2069-2078.
64. VROM, 1998. Nationaal MilieuBeleidsPlan 3. VROM, Den Haag.
65. Wielen, P. van der, 2010. <http://www.waternetwerk.nl/nieuws/artikel/119/>
66. WHO network household water treatment and safe storage http://www.who.int/household_water/network/en/index.html

**Faculteit Civiele Techniek en
Geowetenschappen**

Stevinweg 1
2628 CN Delft
Tel: 015-2785440