

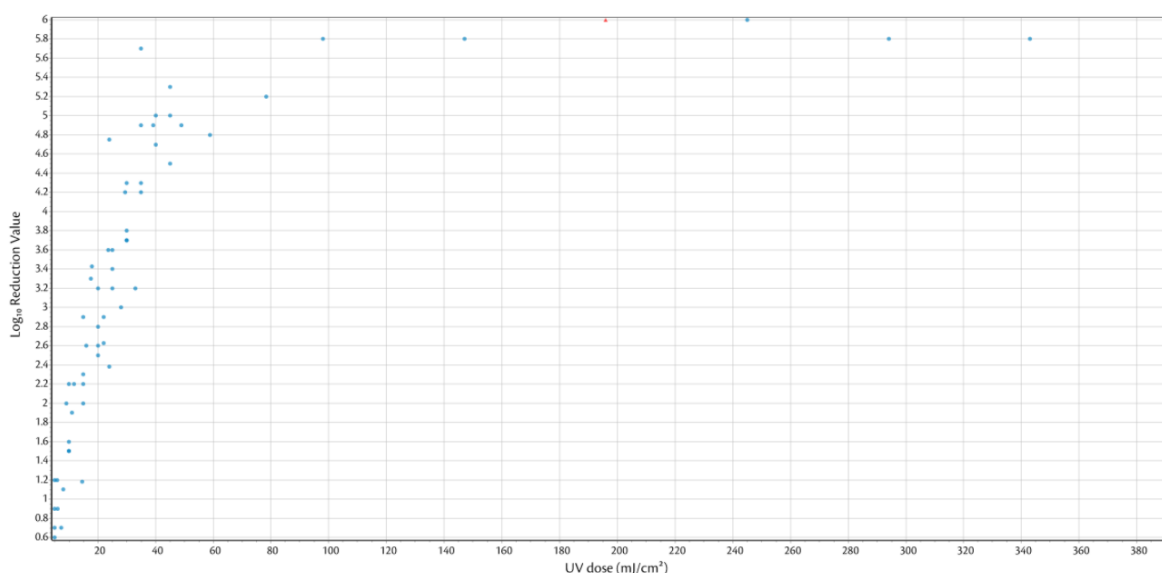
Proces	UV desinfectie	Versie	2.2
Naam webtool	Ultra Violet disinfection	Datum	22-09-2020
		Status	Concept

Introductie UV-desinfectie

UV desinfectie is een fysisch desinfectie proces waarbij de mate van desinfectie door diverse factoren wordt bepaald:

- de gevoeligheid van het organisme voor UV licht
- de golflengte van het UV licht
- de intensiteit van het UV licht
- de blootstellingsduur
- de praktijk:
 - o hydraulische condities (verdeling straling en stromingspatroon)
 - o UV-transmissie van het water (opgeloste stoffen)
 - o Troebelheid van het water
 - o UV-dosis of UV-fluence (intensiteit UV licht * tijd) die volgt uit de intensiteit van het UV licht, de plaatsing van de lampen, het stromingspatroon (verblijftijd en afstand tot de lamp van een 'waterdeeltje') en de UV-transmissie van het water

Het organisme, de UV-dosis en lamptype zijn de belangrijkste condities die bij desinfectie-experimenten worden onderzocht. Deze worden in de tool weergegeven met de UV-dosis (mJ/cm²) op de X-as en de log-reductie op de Y-as. In het algemeen leidt een hogere UV-dosis tot meer inactivatie, maar vakt deze toename af bij hogere UV-dosis. Figuur 1 geeft een voorbeeld voor de inactivatie van poliovirus. Daarin is dit effect duidelijk zichtbaar.



Figuur 1 Voorbeeld log-reductie van poliovirus door UV-desinfectie.

Toelichting webtool referentiedocument UV-desinfectie

In het referentiedocument zijn alle log-reducties uit peer-reviewed literatuur opgenomen waarvoor de UV-dosis in een collimated beam opstelling is bepaald. Bij deze experimenten wordt de UV-dosis nauwkeurig bepaald, zodat werkelijk de eigenschappen van het organisme worden bepaald zonder invloed van de constructie van de UV reactor of de water-matrix. Bij vertaling naar de praktijk dient rekening te worden gehouden met de eigenschappen van de reactor zoals hieronder wordt toegelicht. Overige condities zoals lamptype en watertype zijn ook opgenomen indien in referenties vermeld. Dit is echter niet altijd het geval. In de webtool kunnen de volgende selecties worden gemaakt:

- micro-organisme op niveau (NB door de wijze van rapporteren is dit niet altijd taxonomisch correct):
 - o type (20/08/2020 nog niet beschikbaar)
 - o genus
 - o species
 - o strain
- UV-dosis range
- Blootstellingsduur range
- Lamptype
- Watertype

De geselecteerde gegevens geven in de grafiek een eerste indruk van de mate van inactivatie die kan worden bereikt. Door met de muis op een punt te wijzen krijgt u informatie over dat specifieke punt (de UV-dosis, log verwijdering en betreffende publicatie). Op basis van de selectie worden automatisch de parameters van het procesmodel bepaald zodat ook voor andere condities de inactivatie kan worden geschat (zie onder *Procesmodel*). De resultaten worden boven de grafiek weergegeven.

Boven de grafiek is weergegeven hoeveel gegevens (log-reducties) er zijn geselecteerd en uit hoeveel referenties deze afkomstig zijn. Naarmate de selectie specifiekier wordt zal het aantal gegevens en daarmee de kennisbasis voor conclusies afnemen. Dit geeft inzicht in de mate van kennis over de inactivatie bij specifieke condities. Het is niet mogelijk om aan te geven hoeveel gegevens of referenties nodig zijn voor een betrouwbaar en eenduidig resultaat. Ervaring leert dat vanaf circa 5 referenties een redelijk duidelijk beeld ontstaat van de effectiviteit, maar dit is ook afhankelijk van de specifieke resultaten.

Onder de grafiek zijn de referenties opgenomen waar de geselecteerde gegevens uit afkomstig zijn. Deze bevatten een link (DOI) waarmee u de originele publicatie kunt opzoeken bij de uitgever. Een schijnbaar afwijkende studie kan uit de selectie worden gehaald door deze uit te vinken (20/08/2020 nog niet beschikbaar).

Via de knop "Export.." kunt u de resultaten exporteren in een pdf bestand (20/08/2020 nog niet beschikbaar). Deze omvatten:

- de gemaakte selecties
- de grafiek met gegevens
- het procesmodel met gefitte parameters
- deze toelichting inclusief
 - o belangrijke factoren die de effectiviteit beïnvloeden,
 - o richtlijnen voor het implementeren van het zuiveringsproces,
 - o de standaardselecties in het referentiedocument om reductie van indexpathogenen te bepalen voor de AMVD
 - o hoe de gevonden reductie van indexpathogenen kunnen worden gebruikt in de AMVD
 - o hoe de gevonden reductie in te voeren in QMRAspot.

Procesmodel

Er zijn meerdere procesmodellen ontwikkeld voor UV-desinfectie. Voor het referentiedocument wordt een eenvoudig inactivatiemodel gebruikt, omdat de vereiste informatie voor meer complexe modellen niet in alle publicaties wordt gegeven. Door de modelparameters voor verschillende organismen te vergelijken ontstaat inzicht in de onderlinge verschillen in gevoeligheid voor UV-desinfectie tussen de diverse organismen. Het model gaat uit van 'ideale condities' waarbij alle organismen aan dezelfde UV-desinfectie worden blootgesteld (propstroom- of batch-condities). Voor de vertaling naar de praktijk wordt aanbevolen om een gevalideerde reactor te gebruiken waarvoor de RED (reduction equivalent dose) bekend is. (zie '*Vertaling naar de praktijk*'). Het model is beschreven in Hijnen et al. (2006). De waarde van k wordt berekend uit de geselecteerde gegevens inclusief de onzekerheid over die waarde.

$$10\log(N_0/N) = \min(k_{UV} \cdot D_{UV}; MIC_{\max})$$

k_{UV} = inactivatieconstante

D_{UV} = UV dosis (mJ/cm²)

$MIC_{\max}$ = bovengrens UV inactivatie

Hijnen, W.A., Beerendonk, E.F. and Medema, G.J. (2006) Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: a review. Water Res 40(1), 3-22.

Standaard selecties voor de AMVD

Onderstaande selecties worden voorgesteld voor het bepalen van de reductie van de diverse indexpathogenen in de AMVD. Voor de parameters kan een exacte waarde, een bereik of een ander criterium worden opgegeven. Een aantal selecties is afhankelijk van de specifieke situatie waarvoor de AMVD wordt opgesteld en dient door de gebruiker te worden gekozen. Hiervoor is aangegeven hoe groot de spreiding (range) van de selectie mag zijn. Hoe specifiekier de condities, hoe minder gegevens beschikbaar zullen zijn. De keuzes zullen daarom steeds situatie-specifiek zijn en afhankelijk van de hoeveelheid gegevens.

Data selection			
Index pathogen	Cryptosporidium	Species	Strain
Type	Parasite		
Genus	Cryptosporidium	ALL	ALL
Lamp	ALL		
Water type	Backwash recycle water; drinking water, laboratory water		
UV dose	>1 -500<	mJ/cm ²	
Exposure time	>0-10<	s	
Results			
k _{UV}	0.953	± 0.06	
MIC _{max}	3.47	± 0.10	
Remarks: Old tests using excystation of <i>Cryptosporidium</i> as analysis method underestimated the effect of UV on <i>Cryptosporidium</i> infectivity, therefore excystation data is excluded. Exposure time is rarely reported, excluding long exposure times doesn't exclude these data.			

Data selection			
Index pathogen	enterovirus	Species	Strain
Type	Virus Phage		
Genus	<i>Calicivirus canine</i> , <i>Calicivirus feline</i> <i>Coliphage MS2</i> <i>Coliphage Qβ</i> <i>Coxsackievirus B5</i> <i>Echovirus 1</i> <i>Echovirus 11</i> <i>Hepatitisvirus A</i> <i>Poliovirus</i> <i>Poliovirus 1</i>	ALL	ALL
Lamp	ALL		
Water type	Backwash recycle water; drinking water, Broth, laboratory water, ground water, surface water, tap water, secondary effluent		
UV dose	>1 -500<	mJ/cm ²	
Exposure time	>0-10<	s	
Results			
k _{UV}	0.088	± 0.004	
MIC _{max}	3.37	± 0.11	
Remarks: The index pathogen enterovirus consists of single stranded RNA viruses (ssRNA). Only ssRNA viruses and phages are selected to represent Enterovirus inactivation. Since UV affects mostly the genetic material (RNA or DNA), dsRNA, ssDNA and dsDNA may be more resistant to UV. This is known for Adenoviruses (dsDNA). Exposure time is rarely reported, excluding long exposure times doesn't exclude these data.			

Data selection			
Index pathogen	Giardia	Species	Strain
Type	Parasite		
Genus	Giardia	ALL	ALL
Lamp	ALL		
Water type	drinking water; filtered and treated wastewater;		
UV dose	>0 -500<	mJ/cm ²	
Exposure time	>0-10<	s	
Results			
k _{UV}	0.256	± 0.05	
MIC _{max}	3.06	± 0.28	
Remarks: Giardia muris appears to be more persistent than Giardia lamblia. Since the Giardia species isn't determined in environmental samples, both are included in the assessment. The model parameters thus represent the uncertainty due to this lack of information Exposure time is rarely reported, excluding long exposure times doesn't exclude these data.			

Data selection			
Index pathogen	Campylobacter	Species	Strain
Type	Bacteria		
Genus	Campylobacter Escherichia	ALL Coli	ALL ALL
Lamp	ALL		
Water type	laboratory water, secondary effluent		
UV dose	>0 -500<	mJ/cm ²	
Exposure time	>0-10<	s	
Results			
k _{UV}	0.539	± 0.018	
MIC _{max}	6.08	± 0.50	
Remarks E. coli is included in the selection since it is more persistent than Campylobacter, which is used as an index pathogen for bacterial pathogens. This is therefore a conservative approach to estimate treatment effect. Exposure time is rarely reported, excluding long exposure times doesn't exclude these data.			

GENERAL FINDINGS FROM REVIEWS:

Hijnen et al. 2006

Aspects reducing inactivation	
<i>Micro-organisms</i>	
Environmental more resistant than seeded	Maya, C. (2003). Water Sci. Technol.: Wat. Supply, 3: 285-291
Bacteria and bacterial spores	Mamane-Gravetz, H. (2005a). J. Appl. Microbiol. 98: 351-363 Hijnen, W.A.M. (2004b). Water Sci. Technol.: Wat. Supply, 4: 54-61. Watercare, (2002). Disinfection review report Water Care Services Ltd. New Zealand
Photo Repair Legionella pneumophila	Gehr, R. (1996). Water Qual. Res. J. Can. 31: 263-281 Knudson, G.B. (1985). Appl. Environ. Microbiol. 49: 975-980.
Photo Repair E. coli, Y. enterocolitica, S. typhi, V. cholera	Oguma, K. (2004). Water Research 38 (11), 2757-2763. Bernhard, H. (1994). GWF Wasser-Abwasser 135: 677-689. Sommer, R. (2000a). J. Food Prot. 63: 1015-1020. Zimmer, J.L. (2002). Appl. Environ. Microbiol. 68: 3293-3299.
Particle association higher resistance thermotolerant coliforms	Qualls, R.G. (1983b). J. Water Pollut. Control. Fed. 55: 1280-1285. Havelaar, A.H. (1987). Ozone Sci. And Eng. 9: 353-368. Örmeci, B. (2002). Wat. Sci. Technol.: Water Supply 2: 403-410.
<i>Process conditions</i>	
Fluence assessment: lower effects in continuous flow systems	Matiny, H. (1990). Zbl. Hyg. 190: 380-394. Schoenen, D. (1991). Zbl. Hyg. 191: 396-405.
Fluence assessment: calculations lower than measured	Bernhard, H. (1994). GWF Wasser-Abwasser 135: 677-689. Sommer, R. (2000b). Wasser Berlin, IOA, October 23-26, 2000. Hijnen, W.A.M. (2004b). Water Sci. Technol.: Wat. Supply, 4: 54-61.
Aspects increasing inactivation	
<i>Micro-organisms</i>	
No effect environmental spp.	Slade J.S. (1986). Wat. Sci. Technol. 18: 115-123
viruses/bacteriophages	Watercare, (2002). Disinfection review report Water Care Services Ltd. New Zealand Simpson, D. (2003). Wat. Sci. Technol. 47: 37-43.
Lower resistance Adenovirus env.	Jacangelo, J.G. (2004). Wat. Sci. Technol. 47: 193-198. Watercare, (2002). Disinfection review report Water Care Services Ltd. New Zealand
No Photo repair E. coli after PC light	Zimmer, J.L. (2002). Appl. Environ. Microbiol. 68: 3293-3299.
No photo/dark repair Cryptosporidium	Oguma, K. (2004). Water Research 38 (11), 2757-2763. Morita, S. (2002). Appl. Environ. Microbiol. 68: 5387-5393. Shin, G. (2001). Appl. Environ. Microbiol. 67: 3029-3092. Zimmer, J.L. (2003). Water Research 37: 3517-3523.

TOELICHTING IN HET KADER VAN DE AMVD

Randvoorwaarden

- UV-installatie is gevalideerd volgens Önorm of vergelijkbaar:
 - Merkblatt DIN 5873 Österreichisches Normungsinstitut (ÖNORM)

- USEPA Ultraviolet Disinfection Guidance Manual for the Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule (2006)
 - Merkblatt W294 1-3 der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches (DVGW)
- Sturing van de installatie dient de zogenaamde REF dosis te waarborgen (reduction equivalent fluence)
- Sturing corrigeert automatisch voor:
 - Debiet (contacttijd)
 - UV-extinctie water
 - Lampintensiteit en veroudering d.m.v. een UV sensor
- Troebelheid <5 NTU

Opmerkingen

De werking van de UV-installatie is afhankelijk van goed onderhoud. Aanslag op UV lampen, kwartsbuizen, de reactorwand of de UV-sensor kunnen de werking beïnvloeden. Bij het vervangen van materialen zoals de UV-lamp, de kwartsbuis of de sensor moet worden gecontroleerd of het resulterende UV-spectrum voldoende overeenkomt met die waarbij de installatie is gevalideerd.

Voor een aantal organismen is bekend dat zij onder invloed van licht beschadigd DNA deels kunnen herstellen (zie referenties hieronder). Voor drinkwatertoepassingen geldt doorgaans dat het water donker wordt opgeslagen en gedistribueerd en dit effect daarom niet speelt. Reparatie in donkere condities is voor enkele bacteriën gerapporteerd.

Photo Repair *E. coli*, *Y. enterocolitica*, *S. typhi*, *V. cholera*:

- Bernhard, H. (1994). GWF Wasser-Abwasser 135: 677-689.
- Sommer, R. (2000a). J. Food Prot. 63: 1015-1020.
- Zimmer, J.L. (2002). Appl. Environ. Microbiol. 68: 3293-3299.

Photo Repair *Legionella pneumophila*:

- Knudson, G.B. (1985). Appl. Environ. Microbiol. 49: 975-980.
- Oguma, K. (2004). Water Research 38 (11), 2757-2763.

Dark repair

- SALCEDO, I., et al. Photoreactivation and dark repair in UV-treated microorganisms: effect of temperature. *Applied and Environmental Microbiology*, 2007, 73.5: 1594-1600.

Middendruk lampen geven een UV-spectrum met verschillende golflengtes waardoor de inactivatie kan verschillen van die bij lage druk lampen bij gelijke dosis gemeten bij 254 nm. Dit verschil wordt voornamelijk veroorzaakt door korte golflengtes. De USEPA Ultraviolet Disinfection Guidance Manual for the Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule (2006) staat een correctiefactor toe om de desinfectiecapaciteit van lagedruk-lampen om te rekenen naar middendruk-lampen. Echter, in de praktijk dringen deze golflengtes nauwelijks door in water door de hoge extinctie en wordt nauwelijks meer inactivatie bereikt. Voor Nederland wordt daarom geen correctiefactor voor vertaling lagedruk naar middendruk toegepast. Voor de selecties in de het referentiedocument is voor de indexpathogenen besloten om zowel lage- als middendruk lampen te selecteren, omdat deze voor de betreffende pathogenen en hun indicatororganismen weinig verschil blijken te maken en de grotere hoeveelheid gegevens een betrouwbaarder schatting van de inactivatie mogelijk maakt. Voor organismen waarbij het type lamp wel een belangrijk verschil maakt, zoals adenovirussen, wordt aanbevolen om alleen lagedruk lampen te selecteren, of nader te bepalen of middendruk lampen in de praktijk tot meer inactivatie leiden.

Invoeren in QMRAspot

Voor het uitvoeren van de risicoanalyse in de AMVD kan QMRAspot worden gebruikt. Effectiviteit uit de literatuur kan daarin onder het tabblad 'Treatment' worden ingevoerd als parameters van een Bèta-verdeling met de parameters α en β . Het referentiedocument geeft, na selectie van de voorgeschreven organismen en condities, een vergelijking voor de inactivatie van de indexpathogeen (20/08/2020 nog niet beschikbaar), bijvoorbeeld:

Fit: $\log \text{ inactivation} = \min(k \times \text{dose}, MIC_{max}) = \min(0.088 (\pm 0.004) \times \text{dose (mJ/cm}^2), 3.37 (\pm 0.11))$

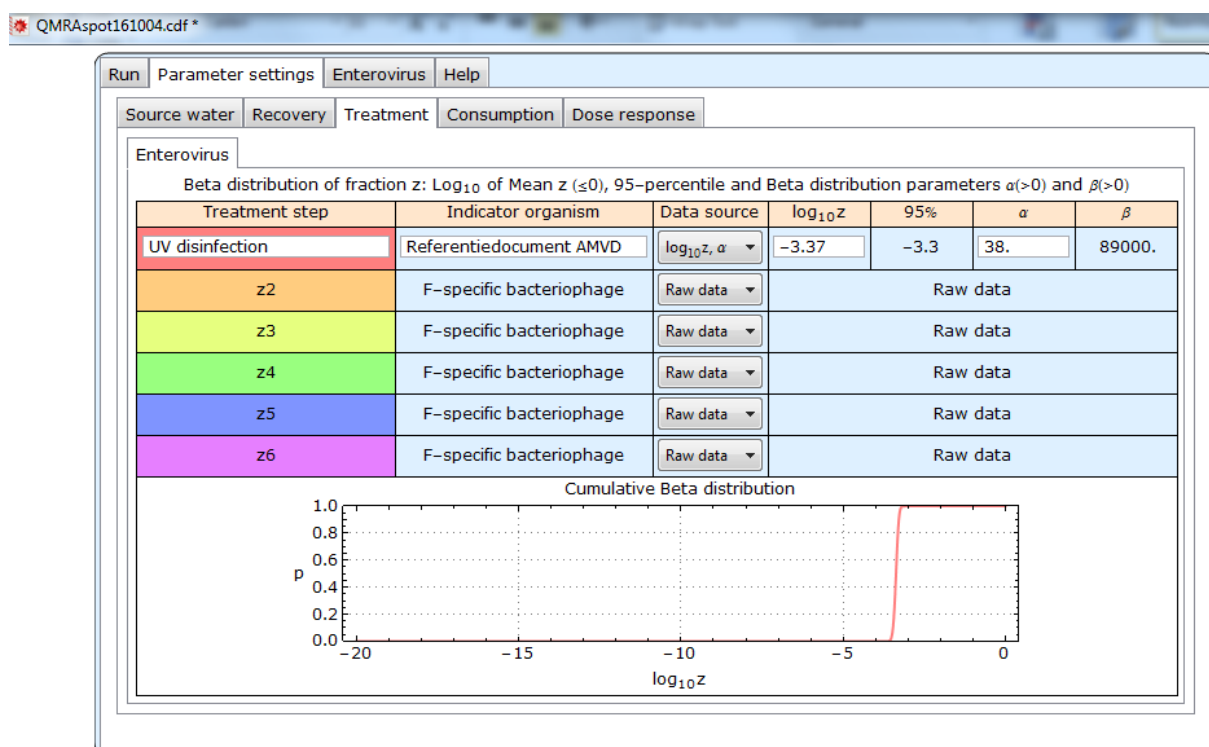
Door de in de praktijk toegepaste (en gevalideerde) UV dosis in te voeren kan de effectiviteit op basis van de literatuur worden bepaald. Stel dat de dosis 40 mJ/cm² bedraagt dan volgt voor de verwachte inactivatie:

$\log \text{ inactivation} = \min(0.088 \times 40, 3.37) = \min(3.52, 3.37) = 3.37$

Rekening houdend met de onzekerheid kan ook de meest ongunstige schatting (95 percentiel) van de inactivatie worden bepaald:

$\log \text{ inactivation} = \min((0.088-0.004) \times 40, 3.37-0.11) = \min(3.36, 3.26) = 3.26$

In QMRAspot kan voor de betreffende zuiveringsstap " $\log_{10}Z, \alpha$ " worden gekozen. Onder " $\log_{10}Z$ " vult men de log-verwijdering in als -3.37 (let op het min teken). Vervolgens kan met 'trial and error' een waarde voor α worden ingevuld zodanig dat het 95 percentiel (95%) overeen komt met -3.26, in dit geval bij een waarde van circa 38 (NB. het 95 percentiel is met één decimaal weergegeven in QMRAspot zodat de schatting van α niet exact kan worden gemaakt). Dit resulteert in onderstaand voorbeeld.



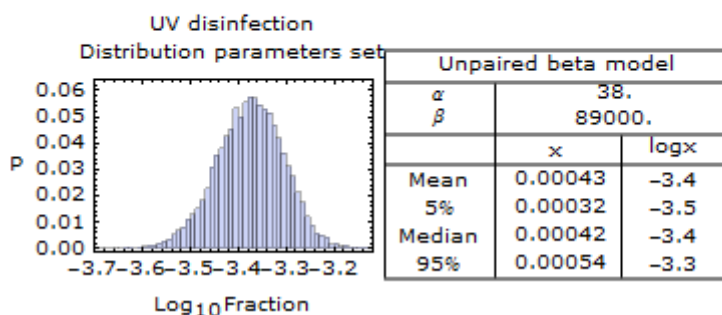
Figuur 2 Screenshot van handmatige invoer van effectiviteit zuivering in QMRAspot.

In de QMRAspot rapportage resulteert dit in onderstaande beschrijving van de effectiviteit:

z1

Referentiedocument AMVD-UV disinfection

Histogram of Monte Carlo samplings of treatment distribution



Figuur 3 Voorbeeld van handmatig ingevoerde reductie van pathogeen in rapportage van QMRAspot.