



Effectiviteit van een thermische behandeling van water voor de inactivatie van pathogene micro-organismen

KWR 2011.050
April 2011

KWR

Watercycle Research Institute

Effectiviteit van een thermische behandeling van water voor de inactivatie van pathogene micro-organismen

KWR 2011.050
April 2011

© 2011 KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Colofon

Titel

Effectiviteit van een thermische behandeling van water voor de inactivatie van pathogene micro-organismen

Opdrachtnummer

A308735.007

Projectmanager

Nellie Slaats

Opdrachtgever

Platform Bedrijfsvoering

Kwaliteitsborger

Gertjan Medema

Auteur

Wim Hijnen

Samenvatting

Wanneer op grond van microbiologische meetgegevens blijkt dat het drinkwater in het leidingnet fecaal besmet is, is één van de maatregelen die door een Waterbedrijf wordt genomen, het uitvaardigen van een kookadvies voor water bestemd voor menselijke consumptie. Om de effectiviteit van een dergelijke technische maatregel te evalueren is een literatuur onderzoek uitgevoerd. Op basis van de gevonden gegevens is de inactivatie van pathogene bacteriën, enterovirussen en protozoën in water geschat tijdens het verhittingsproces en gedurende een kooktijd van 2 seconden en 1, 2 en 3 minuten bij 100°C. De resultaten van dit overzicht laten zien dat het koken van water voldoende effectief is om alle voor de volksgezondheid relevante pathogene micro-organismen in water in voldoende mate (> 10 log) te inactiveren.

Inhoud

Samenvatting	1
Inhoud	3
1 Inleiding	5
2 De relevante micro-organismen	7
3 Theorie: inactivatiekinetiek en kwantitatieve parameters	9
4 De inactivatiecapaciteit van een thermische behandeling	11
4.1 Bacteriën: vegetatieve cellen en sporen	11
4.2 Effect van koken in een open of gesloten beker	12
4.3 Virussen	12
4.4 Protozoën	13
5 Conclusies	15
6 Literatuur	17
Bijlage 1: literatuur gegevens van de effectiviteit van thermische inactivatie van micro-organismen	19

1 Inleiding

Wanneer fecale besmetting van drinkwater tijdens opslag en distributie wordt vastgesteld door het aantonen van fecale indicator bacteriën (*E. coli*, enterococcon en/of *C. perfringens*) in het water heeft het verantwoordelijke Waterleidingbedrijf een aantal mogelijke maatregelen om de gezondheidsrisico's zo snel als mogelijk te minimaliseren. Een van die maatregelen is het uitgeven van een zogenaamd kookadvies aan alle consumenten van het betreffende voorzieningsgebied om. Deze maatregel, die in Nederland concreet neerkomt op het verhitten van het water tot het kookpunt en een korte tijd van bijvoorbeeld 1 minuut doorkoken, is genoeg om pathogene micro-organismen te inactiveren aldus een eerder gepresenteerde evaluatie door Nobel en Esveld-Amanatidou (2004).

Het algemene mechanisme van thermische desinfectie is het denatureren van eiwitten die essentieel zijn voor het metabolisme en/of reproductie van de micro-organismen. De effectiviteit van dit proces hangt af van de soort en staat van de micro-organismen en de milieu condities waaronder de behandeling wordt toegepast. Een thermische behandeling is een gebruikelijke behandeling in de voedselproductie, maar wordt niet toegepast als een desinfectiestap bij de centrale drinkwaterproductie. Voor het drinken van natuurlijk water in de wildernis is koken van water één van de toegepaste desinfectiemethoden (Backer, 1996).

Het doel van dit onderzoek is om de effectiviteit van een thermische behandeling te bepalen voor het inactiveren van micro-organismen die relevant zijn voor de water veiligheid op grond van de beschikbare kennis in de literatuur. Vanwege het beperkte gebruik van een dergelijke behandeling voor desinfectie is er een beperkt aanbod aan water gerelateerde studies. Daarom zijn ook studies op het gebied van de thermische behandeling van voedsel in dit overzicht meegenomen.

De gegevens zijn gericht op het beantwoorden van de vraag over de inactivatie van micro-organismen onder de volgende condities:

1. tijdens het verhittingstraject van 12 tot 100°C (duur ca. 3 minuten; afdoding bij 40-100°C)
2. koken gedurende 2 seconden bij 100°C
3. doorkoken gedurende 1, 2 en 3 minuten

In deze studie is alleen de effectiviteit van het kookadvies beoordeeld op grond van de technische maatregel om het water veilig te kunnen drinken. Om de effectiviteit van het kookadvies te beoordelen met betrekking tot de verlaging van het infectierisico zal aanvullend gekeken moeten worden naar het tijdsverschil tussen het advies en de ontdekking een verontreiniging in drinkwater, dekkingsgraad (percentage mensen dat kookadvies ontvangt/opvolgt) en de volledigheid waarmee de maatregel wordt toegepast door de consument bij huishoudelijke activiteiten waar blootstelling aan ongekookt besmet drinkwater voorkomt (wassen rauwe etenswaren, tanden poetsen etc.).

2 De relevante micro-organismen

Bij het kookadvies gaat het om het microbiologische gezondheidsrisico dat wordt veroorzaakt door gebruik van fecaal verontreinigd water waarin de ziekteverwekkende micro-organismen van fecale herkomst kunnen vóórkomen. De belangrijkste ziekteverwekkers van fecale herkomst voor de drinkwaterveiligheid (zg. index pathogenen) zijn de humane enterovirussen, de bacteriën *Campylobacter* en *Escherichia coli* O157 en de protozoën *Cryptosporidium* en *Giardia*. *Acanthamoeba* is een pathogeen die ook via water kan worden overgedragen. Voor de Nederlandse drinkwaterpraktijk is deze pathogeen echter minder relevant en daarom ook niet als indexpathogeen aangemerkt. Omdat dit organisme net als *Cryptosporidium* en *Giardia* behoort tot de persistente protozoën zijn ook van dit micro-organisme ter vergelijking de inactivatiegegevens toegevoegd.

3 Theorie: inactivatiekinetiek en kwantitatieve parameters

In analogie met de inactivatie kinetiek van chemisch desinfectie processen, kan het thermische desinfectie processen worden beschreven als een eerste orde proces:

$$\log_{10} \frac{N_o}{N_t} = K_T * t$$

waar N_o en N_t de concentraties zijn van micro-organismen op tijdstip 0 en na t minuten blootstelling. K_T is de inactivatie constante bij een bepaalde temperatuur T ($^{\circ}\text{C}$). Voor chemische processen worden de combinatie van de concentratie van het desinfectant C (chloor of ozon) met de contacttijd t ($C*t$) gebruikt voor procesontwerp om een bepaald niveau van inactivatie te realiseren uitgedrukt in logremoval (1 log = 90% afname van het aantal micro-organismen).

Dezelfde benadering wordt gebruikt voor een thermische behandeling. Voor dit proces zijn de gebruikelijk toegepaste parameters de thermal death time of TDT, de decimale reductie tijd of D-value of de z-waarde of Q_{10} (Frazier and Wetshoff, 1978; Mossel et al., 1995). De TDT is de tijd nodig voor een 100% inactivatie van een microbiologische populatie van een bepaalde omvang. Door de variërende uitgangconcentraties is deze parameter niet erg nauwkeurig.

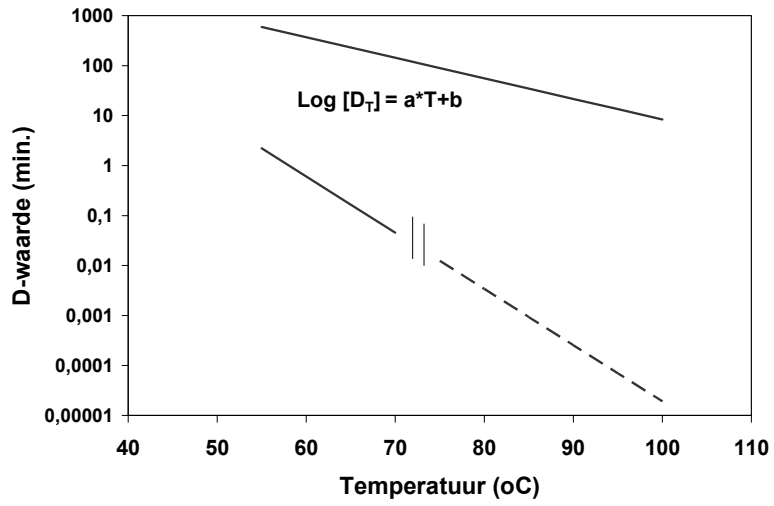
De TDT was in een aantal studies de enige gepresenteerde kwantitatieve waarde, met name in studies waar de inactivatie was bepaald met in vitro infectiviteits assays gebruikt bij virussen en (oo)cysten van protozoën.

Een meer nauwkeuriger benadering van thermische desinfectie is het gebruik van de decimale reductie tijd (D_T -waarde) gedefinieerd als de tijd in minuten om een 90% reductie (1 log) te realiseren bij temperatuur T . Voor het inactiveren van bacteriën en bacteriesporen is deze kwantitatieve parameter meer gebruikelijk. De reden hiervoor is dat de bepaling van de inactivatie van deze micro-organismen gebaseerd is op kweekmethoden die vergeleken met de in vitro infectiviteit assays simpel en goedkoop zijn.

Effectiviteit van het verhitten en de kooktemperatuur

Omdat veel micro-organismen behalve de bacteriesporen gevoelig zijn voor hoge temperaturen is veel onderzoek gedaan in het traject lager dan de kooktemperatuur van water 100°C . Het verband van de D_T waarde met de temperatuur is exponentieel zoals in de figuur 1 is weergegeven.

Op basis van het lineair verband tussen de log D_T en de temperatuur kan met lineaire extrapolatie de D_T waarde bij de kooktemperatuur worden bepaald zoals in het figuur is aangegeven. Hiermee kan het inactivatie effect worden berekend van de verschillende tijden waarbij het water kookt (2 seconden, 1, 2 en 3 minuten). Voor het kooktraject is de inactivatie capaciteit berekend op basis van de aanname dat het water in een duur van ca. 3 minuten van 40 naar 100°C wordt gebracht. De capaciteit van dit traject is berekend aannemende dat het water 2 seconden verblijft bij elke hele graad. Op basis van de D_T waarde kan de inactivatie bij elke graad worden berekend en opgeteld.

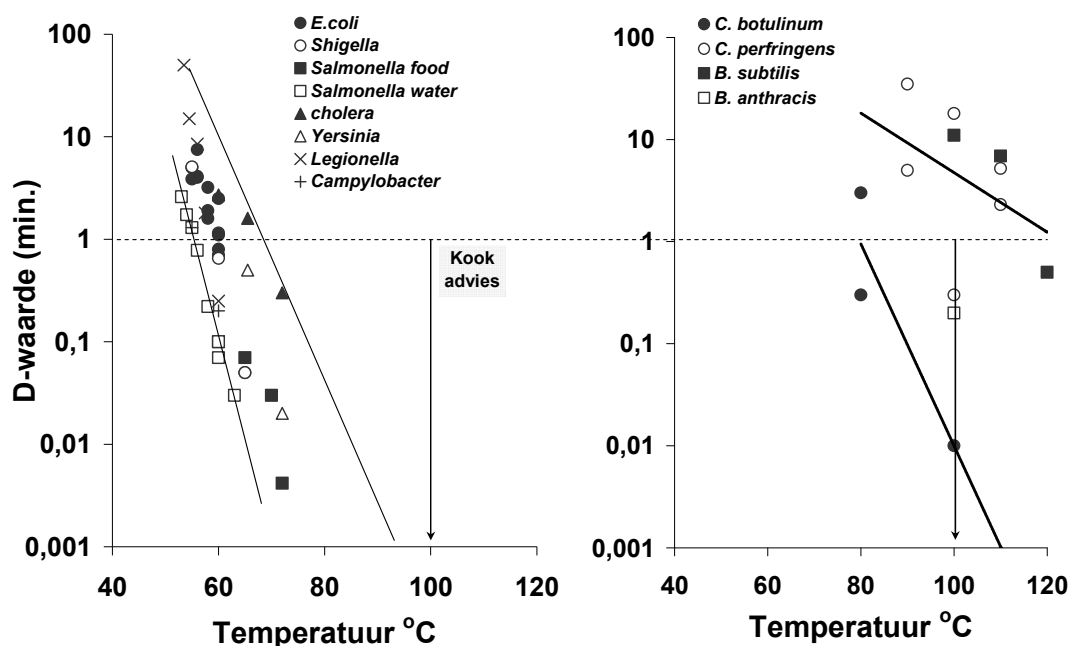


Figuur 1. Het verband tussen de D_T waarden en de temperatuur

4 De inactivatiecapaciteit van een thermische behandeling

4.1 Bacteriën: vegetatieve cellen en sporen

Vegetatieve bacteriën als *E. coli*, *Shigella*, *Salmonella*, *Vibrio cholera*, *Yersinia*, *Legionella* en *Campylobacter* zijn erg gevoelig voor een thermische behandeling. Bij 80°C waren de D_T -waarden (90% reductie tijd) voor alle gepresenteerde bacteriën al <0,1 minuut (Figuur 2). Gebaseerd op deze gegevens is een conservatieve schatting van de D_T -waarde bij 90°C 0,001 minuut en bij de kooktemperatuur <<0,001 minuut.



Figuur 2. De decimale reductie tijd (D_T -waarde; min.) voor verschillende bacteriën (links) en bacterie sporen (rechts) bij verschillende water temperaturen (bronnen: Spinks *et al.*, 2006; Mossel *et al.*, 1995; Alvarez *et al.*, 2003; Rice *et al.*, 1991; Van der Kooij and Hijnen, 1984; Mazzotta, 2001; Rice *et al.*, 2004)

Tabel 1. De geschatte parameters van het lineaire verband tussen de D_T -waarde en de temperatuur voor geselecteerde bacteriën en sporen van bacteriën (n = aantal waarnemingen; 95% BI = 95 betrouwbaarheidsinterval; p is het significantie niveau)

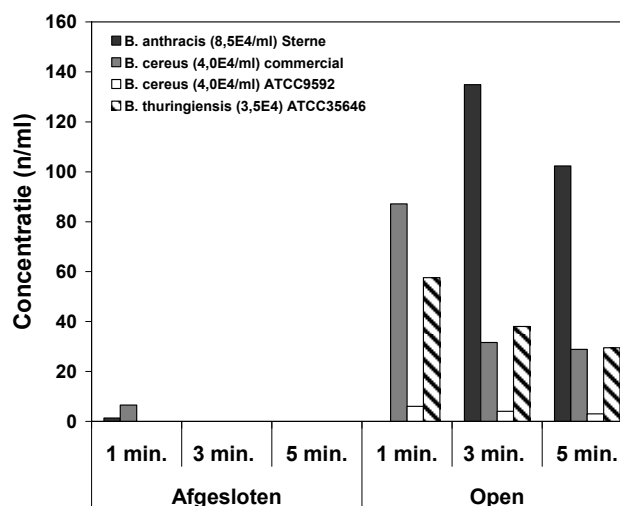
Micro-organismen	n (p ; r^2)	a (95% BI)	b (95% BI)
<i>E. coli</i> , <i>E. coli</i> O157, <i>Shigella sonnei</i> , <i>Enterobacter faecalis</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Salmonella spp.</i> , <i>Salmonella enterica</i> , <i>Campylobacter</i> , <i>Legionella</i> ^a	45 (0,47)*	-0,128 (0,170 - 0,086)	9,3 (6,8 - 11,8)
<i>Vibrio cholera</i> , <i>Yersinia enterocolitica</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> ^b	21 (0,36)**	-0,05 (0,084 - 0,019)	5,3 (3,2 - 7,3)
<i>Clostridium perfringens</i> , <i>Bacillus subtilis</i> ^c	8 (NS)***	-0,041	6,8
<i>Clostridium botulinum</i> , <i>Bacillus anthracis</i> ^d	4 (NS)***	-0,066	7,1

* $p < 0,001$; ** $P < 0,01$; *** niet significant ($P > 0,01$) ^a bacteriegroep 1; ^b bacteriegroep 2; ^c sporen 1; ^d sporen 2

Bacterie sporen zijn veel resistenter tegen een thermische behandeling dan bacteriën (Figuur 2). Voor sporen van *Bacillus* en *Clostridium* spp. was de hitte resistentie variabel. Het kookadvies van 1 minuut bij 100°C is niet voldoende om *B. subtilis* en *C. perfringens* af te doden. Het verband tussen de D_T waarden en de water temperatuur is voor twee groepen bacteriën en bacteriesporen bepaald (Tabel 1). Voor de sporen was het aantal waarnemingen gering waardoor het verband statistisch niet significant was.

4.2 Effect van koken in een open of gesloten beker

Rice *et al.* (2004) toonde in zijn studie dat een kook tijd van 1 min. in een afgesloten drukloze beker niet genoeg was om alle sporen van *Bacillus anthracis* (10^5 /ml) te inactiveren (Figuur 3). Dit micro-organisme is de veroorzaker van anthrax, een meestal dodelijke infectie ziekte. De proeven zijn uitgevoerd in 500 ml drinkwater in een bekeerglas van 1 liter. De volledige inactivatie (TDT) was bereikt bij 3 - 5 minuten. Bovendien, maakten ze duidelijk met hun spore inactivatie studie dat in een niet afgesloten beker de effectiviteit van koken minder was: na vijf minuten koken waren alle geteste *Bacillus* spp. nog steeds aantoonbaar in het water (Figuur 3). Op grond van de beginwaarden in de suspensies blijkt koken in een open container ca. 2 log minder effectief voor de inactivatie van sporen. Mogelijke oorzaak van deze waarneming is een hogere druk dan in een afgesloten drukloze container.



Figuur 3. De inactivatie van sporen van *Bacillus* spp. door koken in een afgesloten drukloze beker en een open beker (Rice *et al.*, 2004)

4.3 Virussen

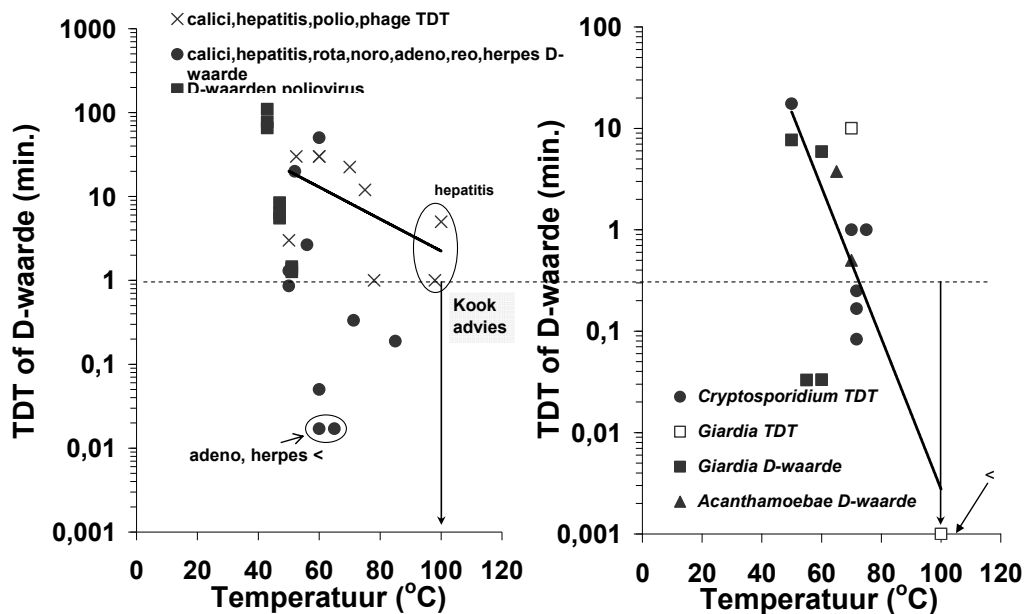
De informatie over het effect van een warmtebehandeling op de overleving van virussen en (oö)cysten was beperkt. In meeste studies is de informatie gebaseerd op het bepalen van de thermische afdodingtijd (TDT; Figuur 4).

Een klein deel van de virus gegevens was bepaald in water en het overige deel van de gegevens was bepaald in voedsel of schaaldieren. Voor een deel van de virussen zijn de D_T -waarden geschat uit log-inactivatie gegevens bij bepaalde temperaturen; deze D_T -waarden vertonen een hoge variatie in resistentie bij temperaturen van rond de 60°C. Gebaseerd op de gegevens voor hepatitis in water (Krugman *et al.*, 1970; Thraenhart, 1993) is een reductie van 1 log waargenomen bij 90°C met een contacttijd van 12 seconden (0,2 minuten). Hepatitis was het meest resistent van de virussen met een TDT van 1 minuut of meer bij 100°C. Adenovirus and herpesvirus getest in melk zijn veel gevoeliger voor een warmtebehandeling (Sullivan *et al.*, 1971) met D_T -waarden van <0,017 min. bij 65 en 60°C, respectievelijk. Het verband tussen de D_T

waarden en de temperatuur voor de verschillende virussen was significant ($p < 0,01$) maar de pasvorm was gering ($r^2 < 0,5$; Tabel 2).

4.4 Protozoën

De (oö)cysten van *Cryptosporidium*, *Giardia* en *Acanthamoeba* zijn gevoelig voor een warmtebehandeling (Figuur 4). Omdat D_T waarden ontbraken, is voor *Cryptosporidium* de TDT waarde gebruikt om het verband van de D_T en de temperatuur te schatten (Tabel 2). Dit is een conservatieve benadering. Voor *Giardia* cysten leverde de studie van Ongerth et al (1989) twee D_T waarden op bij 50 en 60°C op die duidelijk hoger waren dan de D_T waarden bepaald door Aukerman en Monsingo (1989). De Ongerth studie gebruikte echter excystatie om de inactivatie te bepalen terwijl de Aukerman studie gebruik maakte van een in vitro infectiviteit assay. Op basis hiervan en van de getoonde gegevens in figuur 4 lijkt het gerechtvaardigd om de temperatuurgevoeligheid van de drie protozoën als gelijkwaardig te beschouwen.



Figuur 4. De decimale reductie tijd (D_T -waarde) en thermische afdodigstijd (TDT) voor virussen (links) en (rechts) de TDT voor *Cryptosporidium* en *Giardia* vergeleken met enige bacteriën en bacterie sporen (bronnen: Duizer *et al.*, 2004; Slomka and Appleton, 1998; Hewitt and Greening, 2006; Thraenhart, 1991; Krugman and Giles, 1970; Perkins, 1969; Mossel *et al.*, 1995; Sullivan *et al.*, 1971; Anderson, 1985; Fayer, 1994; Harp *et al.*, 1996; Aukerman and Monsingo, 1989; Ongerth *et al.*, 1989; Bingham *et al.*, 1979; Frazier and Westhoff, 1978)

Tabel 2. De geschatte parameters van het lineaire verband tussen de D_T -waarde in seconden en de temperatuur voor geselecteerde virussen en (oö)cysten van protozoën (n = aantal waarnemingen; p is het significantie niveau; 95% BI = 95 betrouwbaarheidsinterval)

Micro-organismen	n (p ; r^2)	a (95% BI)	b (95% BI)
virus: hepatitis, calici, noro, rota, adeno, reo, herpes, polio	19 (0,41)**	-0,070 (0,113 - 0,027)	5,9 (3,5-8,3)
<i>Cryptosporidium</i>	6 (NS)***	-0,074	6,7
<i>Giardia</i>	2 excystation	$D_{50}, D_{60} ?$	7,7 en 5,9 min.
	2 infectivity	$D_{55}, D_{60} ?$	0,0056 min.
<i>Acanthamoeba</i>	2 excystation	$D_{65}, D_{70} ?$	3,74 en 0,5 min.

* $p < 0,001$; ** $P < 0,01$; *** niet significant ($P > 0,01$)

5 Conclusies

Op basis van de in dit rapport gepresenteerde gegevens over de temperatuurgevoeligheid van verschillende micro-organismen is voor de thermische behandeling van water (kookadvies) een schatting gemaakt van het letale effect uitgedrukt in loginactivatie (Tabel 3). Uit deze gegevens blijkt dat alleen sommige bacteriesporen in water overleven wanneer het water wordt gekookt. Alle voor de volksgezondheid relevante ziekteverwekkende micro-organismen hebben een lage tot zeer lage D_T waarde bij 100°C en worden met meer dan 10 log eenheden geïnactiveerd tijdens het verhittingsproces en bij het koken gedurende de verschillende contacttijden.

Tabel 3. De D_{100} waarde geëxtrapoleerd op basis van de verschillende gepresenteerde parameters in Tabel 1 en 2 en de inactivatie (log) bij het verhitten en koken van water berekend op basis van een lineaire extrapolatie van inactivatie gegevens bepaald bij lagere temperaturen vermeld in de literatuur

Organismen	Index pathogeen IR ^c	Overige WLB parameters ^d	$D_{100°C}$ (sec.)	Verhitting 40-100°C	Inactivatie (log; 1 log = 90%)			
					2 sec ^e 100°C	1 min ^e 100°C	2 min ^e 100°C	3 min ^e 100°C
<i>Acanthamoeba</i>	-	-	0,0002	>>10	>>10	>>10	>>10	>>10
Bacteriegroep 1 ^a	<i>Campylobacter</i>	<i>E. coli</i> enterococcen	0,0003	>>10	>>10	>>10	>>10	>>10
Virussen ^b	enterovirussen	bacteriofagen	0,08	>>10	>>10	>>10	>>10	>>10
<i>Cryptosporidium</i> (<i>Giardia</i>)	<i>Cryptosporidium</i> <i>Giardia</i>	-	<0,2	>>10	>10	>>10	>>10	>>10
Bacteriegroep 2 ^a	-	-	1,3	6,8	+1,5	>>10	>>10	>>10
Sporen 2 ^a	-	-	2,7	5,3	+0,7	>>10	>>10	>>10
Sporen 1 ^a	-	<i>C. perfringens</i>	503	0,02	+0,004	+0,1	+0,2	+0,4

^a soorten in tabel 1; ^b soorten in tabel 2; ^c de indexpathogenen waarvoor op grond van het Waterleidingbesluit het maximale infectierisico geldt van 10⁻⁴ per persoon per jaar; ^d fecale indicatorbacteriën en bacterievirussen (fagen); ^e effectiviteit excl. verhitten

De resultaten van dit overzicht onderbouwen de eerder gedane uitspraak door Nobel (2004) over de effectiviteit van het kookadvies. Verhitten van water tot 100°C en daarna doorkoken (kookadvies) is voldoende effectief om alle voor de volksgezondheid relevante pathogene micro-organismen in water in voldoende mate (> 10 log = 99,9999999%) te inactiveren.

De waarneming dat koken in een open container minder effectief is dan in een afgesloten (drukloze) container is een onzekerheid. Het betreft hier echter een eenmalig onderzoek met verschillende *Bacillus* sporen en het is de vraag of dit ook voor de andere micro-organismen zou gelden. Gezien de hoge hiteresistentie van deze sporen ten opzicht van de andere micro-organismen (tabel 3) lijkt het echter niet noodzakelijk om het koken van water in een open container als onveilig te karakteriseren.

6 Literatuur

- Alvarez, I., Manas, P., Sala, F.J. and Condon, S. (2003) Inactivation of *Salmonella enterica* serovar enteritidis by ultrasonic waves under pressure at different water activities. *Appl Environ Microbiol* 69(1), 668-672.
- Anderson, B.C. (1985) Moist heat inactivation of *Cryptosporidium* sp. *Am J Public Health* 75(12), 1433-1434.
- Backer, H.D. (1996) Effect of Heat on the Sterilization of Artificially Contaminated Water. *J Travel Med* 3(1), 1-4.
- Bingham, A.K., Jarroll, E.L., Jr., Meyer, E.A. and Radulescu, S. (1979) *Giardia* sp.: physical factors of excystation in vitro, and excystation vs eosin exclusion as determinants of viability. *Exp Parasitol* 47(2), 284-291.
- Duizer, E., Bijkerk, P., Rockx, B., De Groot, A., Twisk, F. and Koopmans, M. (2004) Inactivation of caliciviruses. *Appl Environ Microbiol* 70(8), 4538-4543.
- Frazier, W.C. and D.C. Westhoff (1978). *Food microbiology*. ISBN 0-07-021917-6.
- Harp, J.A., Fayer, R., Pesch, B.A. and Jackson, G.J. (1996) Effect of pasteurization on infectivity of *Cryptosporidium parvum* oocysts in water and milk. *Appl Environ Microbiol* 62(8), 2866-2868.
- Hewitt, J. and Greening, G.E. (2006) Effect of heat treatment on hepatitis A virus and norovirus in New Zealand greenshell mussels (*Perna canaliculus*) by quantitative real-time reverse transcription PCR and cell culture. *J Food Prot* 69(9), 2217-2223.
- Krugman, S., Giles, J.P. and Hammond, J. (1970) Hepatitis virus: effect of heat on the infectivity and antigenicity of the MS-1 and MS-2 strains. *J Infect Dis* 122(5), 432-436.
- Mazzotta, A.S. (2001) Thermal inactivation of stationary-phase and salt-adapted *Listeria monocytogenes* during postprocess pasteurization of surimi-based imitation crab meat. *J Food Prot* 64(4), 483-485.
- Mossel, D.A.A., Corry, J.E.L., Struijk, C.B. and R.M. Baird (1995). *Essentials of the microbiology of foods*. John Wiley & Sons, West Sussex, UK ISBN 0471930369.
- Nobel, P.J. en A. Esveld-Amanatidou, 2004. Effectiviteit van corrigerende maatregelen bij verontreinigingen in het leidingnet. BTO 2003.055.
- Ongerth, J.E., Johnson, R.L., Macdonald, S.C., Frost, F. and Stibbs, H.H. (1989) Back-country water treatment to prevent giardiasis. *Am J Public Health* 79(12), 1633-1637.
- Perkins, J.J. (1969). Thermal destruction of microorganisms. In: principles and methods of sterilization in health sciences. Springfield: Charles C. Thomas, 1969: 63-94.
- Rice, E.W. and Johnson, C.H. (1991) Cholera in Peru. *Lancet* 338(8764), 455.
- Rice, E.W., L.J. Rose, C.H. Johnson, L.A. Boczek, M.J. Arduino and D.J. Reasoner (2004). Boiling and *Bacillus* spores. *Letters in Em. Inf. Dis.* 10(10): 1887-1888.
- Slomka, M.J. and Appleton, H. (1998) Feline calicivirus as a model system for heat inactivation studies of small round structured viruses in shellfish. *Epidemiol Infect* 121(2), 401-407.
- Spinks, A.T., Dunstan, R.H., Harrison, T., Coombes, P. and Kuczera, G. (2006) Thermal inactivation of water-borne pathogenic and indicator bacteria at sub-boiling temperatures. *Water Res* 40(6), 1326-1332.
- Sullivan, R., Tierney, J.T., Larkin, E.P., Read, R.B., Jr. and Peeler, J.T. (1971) Thermal resistance of certain oncogenic viruses suspended in milk and milk products. *Appl Microbiol* 22(3), 315-320.
- Thraenhart, O. (1991). Measures for disinfection and control of viral hepatitis. In: Block, S.S. ed. *Disinfection, sterilization and preservation*. 4th ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 1991: 445-472.
- Van der Kooij, D. en W.A.M. Hijnen (1984). Aanwezigheid en bestrijding van *Legionella pneumophila*, de veroorzaker van veteranenziekte in warmtapwatersystemen. *H2O* 17 (18): 387-390.
- Ward, R.L., Ashley, C.S. and Moseley, R.H. (1976) Heat inactivation of poliovirus in wastewater sludge. *Appl Environ Microbiol* 32(3), 339-346.

Bijlage 1: literatuur gegevens van de effectiviteit van thermische inactivatie van micro-organismen

<i>Auteur</i>	<i>Jaar</i>	<i>Bacteriën en sporen</i>	<i>Medium</i>	<i>Temperatuur (oC)</i>	<i>Loginact.</i>	<i>Tijd (min.)</i>
Spinks et al	2006	<i>E. coli</i> O157	Water	55	1	3.87
Spinks et al	2006	<i>E. coli</i> O157	Water	60	1	1.15
Spinks et al	2006	<i>E. coli</i> O157	Water	65	1	0.05
Mazzotta	2001	<i>E. coli</i> O157	Vruchtensap	56	1	4,10
Mazzotta	2001	<i>E. coli</i> O157	Vruchtensap	58	1	1,90
Mazzotta	2001	<i>E. coli</i> O157	Vruchtensap	60	1	0,80
Mazzotta	2001	<i>E. coli</i> O157	Vruchtensap	56	1	7,50
Mazzotta	2001	<i>E. coli</i> O157	Vruchtensap	58	1	3,20
Mazzotta	2001	<i>E. coli</i> O157	Vruchtensap	60	1	1,10
Mazzotta	2001	<i>E. coli</i> O157	Vruchtensap	56	1	4,00
Mazzotta	2001	<i>E. coli</i> O157	Vruchtensap	58	1	1,60
Mossel et al	1995	<i>E. coli</i> O157	Voeding	60	1	2.50
Mossel et al	1995	<i>E. coli</i>	Voeding	55	1	5
Spinks et al	2006	<i>Shigella sonnei</i>	Water	55	1	5.08
Spinks et al	2006	<i>Shigella sonnei</i>	Water	60	1	0.65
Spinks et al	2006	<i>Shigella sonnei</i>	Water	65	1	0.05
Spinks et al	2006	<i>Ent. Faecalis</i>	Water	55	1	8.48
Spinks et al	2006	<i>Ent. Faecalis</i>	Water	60	1	1.53
Spinks et al	2006	<i>p. aeruginosa</i>	Water	65	1	1.93
Spinks et al	2006	<i>p. aeruginosa</i>	Water	55	1	0.75
Spinks et al	2006	<i>Salmonella</i>	Water	55	1	1.3
Spinks et al	2006	<i>Salmonella</i>	Water	60	1	0.07
Mossel et al	1995	<i>Salmonella</i>	Voeding	60	1	0.1-2.5
Mossel et al	1995	<i>Salmonella</i>	Foods	65	1	0.07

<i>Auteur</i>	<i>Jaar</i>	<i>Bacteriën en sporen</i>	<i>Medium</i>	<i>Temperatuur (oC)</i>	<i>Loginact.</i>	<i>Tijd (min.)</i>
Mossel et al	1995	<i>Salmonella</i>	Voeding	70	1	0.03
Mossel et al	1995	<i>Salmonella</i>	Voeding	72	1	0.2-0.3
Goepfert et al	1970	<i>Salmonella spp.</i>	PO4 -buffer	57.2	1	0.9-14.5
Alvarez et al	2003	<i>S. enterica</i>	Buffer pH 7	53	1	2.6
Alvarez et al	2003	<i>S. enterica</i>	Buffer pH 7	54	1	1.73
Alvarez et al	2003	<i>S. enterica</i>	Buffer pH 7	56	1	0.78
Alvarez et al	2003	<i>S. enterica</i>	Buffer pH 7	58	1	0.22
Alvarez et al	2003	<i>S. enterica</i>	Buffer pH 7	60	1	0.1
Alvarez et al	2003	<i>S. enterica</i>	Buffer pH 7	63	1	0.03
Rice	1991	<i>V. cholerae</i>	Water	55	2.3-3.6	10
Rice	1991	<i>V. cholerae</i>	Water	58	3.2-4.4	10
Rice	1991	<i>V. cholerae</i>	Water	69	3.1-4.6	10
Rice	1991	<i>V. cholerae</i>	Water	63	>7	10
Mossel et al	1995	<i>V. cholerae</i>	Voeding	60	1	2.7
Mossel et al	1995	<i>V. cholerae</i>	Voeding	65.5	1	1.6
Mossel et al	1995	<i>V. cholerae</i>	Voeding	72	1	0.3
Mossel et al	1995	<i>Campylobacter</i>	Voeding	55	1	0.6-1.3
Mossel et al	1995	<i>Campylobacter</i>	Voeding	60	1	0.1-0.2
Mossel et al	1995	<i>Listeria mono</i>	Voeding	60	1	3-8
Mossel et al	1995	<i>Listeria mono</i>	Voeding	65	1	0.8
Mossel et al	1995	<i>Listeria mono</i>	Voeding	70	1	0.05
Mossel et al	1995	<i>Yersinia enterocolitica</i>	Voeding	60	1	2-5
Mossel et al	1995	<i>Yersinia enterocolitica</i>	Voeding	65.5	1	0.5
Mossel et al	1995	<i>Yersinia enterocolitica</i>	Voeding	72	1	1.2
Mossel et al	1995	<i>C. botulinum</i>	Voeding	80	1	0.3-3
Mossel et al	1995	<i>C. botulinum</i>	Voeding	100	1	0.01
Mossel et al	1995	<i>C. perfringens</i>	Voeding	90	1	5-35
Mossel et al	1995	<i>C. perfringens</i>	Voeding	100	1	0.3-18

<i>Auteur</i>	<i>Jaar</i>	<i>Bacteriën en sporen</i>	<i>Medium</i>	<i>Temperatuur (oC)</i>	<i>Loginact.</i>	<i>Tijd (min.)</i>
Mossel et al	1995	<i>C. perfringens</i>	Voeding	110	1	2.3-5.2
Van der Kooij/Hijnen	1984	<i>Legionella</i>	Water	53.5	1	50
Van der Kooij/Hijnen	1984	<i>Legionella</i>	Water	54.5	1	15
Van der Kooij/Hijnen	1984	<i>Legionella</i>	Water	56	1	8.5
Van der Kooij/Hijnen	1984	<i>Legionella</i>	Water	57.5	1	1.8
Van der Kooij/Hijnen	1984	<i>Legionella</i>	Water	60	1	0.25
Rice et al	2004	<i>B. anthracis</i>	Water	100	4.8	1

<i>Auteur</i>	<i>Jaar</i>	<i>Virus</i>	<i>Medium^a</i>	<i>Temperatuur</i>	<i>Bepaling^b</i>	<i>Loginact.</i>	<i>TDT</i>	<i>Time min.</i>	<i>D-values</i>
Duizer	2004	Calicivirus	Cell culture	56	infect	3	-	8	2.7
Slomka	1998	Feline calicivirus	Cokkels	62	cultuur	0	-	0.5	nb ^c
Slomka	1998	Feline calicivirus	Cokkels	62	PCR	0	-	0.5	nb
Duizer	2004	Caliciviruses	Cell culture	71.3	infect	3	-	1	0.3
Slomka	1998	Feline calicivirus	Cokkels	78	cultuur	100%	+	1	nb
Slomka	1998	Feline calicivirus	Cokkels	78	PCR	0.5	+	1	nb
Slomka	1998	Feline calicivirus	Cokkels	88	PCR	0.5	-	1.5	nb
Hewitt	2006	Hepatitis A	Mosselen	10-90	PCR	1.90	-	3	nb
Hewitt	2006	Hepatitis A	Mosselen	10-90	cultuur	>3.5	+	3	0.9
Thraenhart	1991	Hepatitis A	water	60	infect	<5.3	-	720	nb
Thraenhart	1991	Hepatitis E	water	60	?	100%	+	30	nb
Thraenhart	1991	Hepatitis A	water	85	infect	>5.3	+	1	0.19
Krugman et al	1970	Hepatitis A	water	98	infect	100%	+	1	nb
Thraenhart	1991	Hepatitis E	water	100	?	100%	+	5	nb
Perkins	1969	Poliovirus	water	50-55	?	100%	+	30	nb
Hewitt	2006	Norovirus	Mosselen	10-90	PCR	2.3	-	3	1.30
Mossel	1995	Rotavirus	Voeding	60	?	1	-	50	50
Perkins	1969	phages	??	60	cultuur	100%	+	30	nb

Auteur	Jaar	Virus	Medium ^a	Temperatuur	Bepaling ^b	Loginact.	TDT	Time min.	D-values
Perkins	1969	phages	??	70	cultuur	100%	+	15-30	nb
Perkins	1969	phages	??	75	cultuur	100%	+	12	nb
Sullivan et al	1971	adenovirus	melk	52	cultuur	1	-	20	20
Sullivan et al	1971	adenovirus	ijs	65	cultuur	1	-	<0.017	<0.017
Sullivan et al	1971	reovirus	milk	60	cultuur	1	-	0.05	0.05
Sullivan et al	1971	herpes	milk	60	cultuur	1	-	<0.017	<0.017
Ward et al	1976	Poliovirus	PBS	43	cultuur	3,1	-	200	65,5
Ward et al	1976	Poliovirus	PBS	43	cultuur	1,8	-	200	109,7
Ward et al	1976	Poliovirus	PBS	43	cultuur	2,6	-	200	77,4
Ward et al	1976	Poliovirus	PBS	47	cultuur	3,6	-	20	5,5
Ward et al	1976	Poliovirus	PBS	47	cultuur	2,4	-	20	8,5
Ward et al	1976	Poliovirus	PBS	47	cultuur	3,2	-	20	6,3
Ward et al	1976	Poliovirus	PBS	51	cultuur	3,4	-	5	1,5
Ward et al	1976	Poliovirus	PBS	51	cultuur	4,0	-	5	1,3
Ward et al	1976	Poliovirus	PBS	51	cultuur	3,6	-	5	1,4

^a Medium waarin de thermische behandeling is bepaald; ^b infect. = infectiviteit; cultuur = cell kweek; PCR = moleculair assay; ^c nd = niet bepaald

Auteur	Jaar	Organismen	Medium	Temperatuur °C	Bepaling ^a	Loginact.	TDT	Tijd (min.)
Anderson	1985	<i>Cryptosporidium</i>	fecaal materiaal	45-55	infect	100%	+	15-20
Fayer	1994	<i>C. parvum</i>	Water	60	infect	<6	-	5
Fayer	1994	<i>C. parvum</i>	Water	70	infect	6	+	>1
Harp et al	1996	<i>C. parvum</i>	Water	71.7	infect	>3	+	0.083
Harp et al	1996	<i>C. parvum</i>	Water	71.7	infect	>3	+	0.167
Harp et al	1996	<i>C. parvum</i>	Water	71.7	infect	>3	+	0.250
Fayer	1994	<i>C. parvum</i>	Water	75	infect	6	+	1

Auteur	Jaar	Organismen	Medium	Temperatuur °C	Bepaling ^a	Loginact.	TDT	Tijd (min.)
Aukerman	1989	<i>Giardia</i>	Water	40	infect	0	-	nb
Aukerman	1989	<i>Giardia</i>	Water	50	infect	0	-	nb
Ongerth et al	1989	<i>G. lamblia/muris</i>	Water	50	exyst	1.3	-	10
Aukerman	1989	<i>Giardia</i>	Water	55	infect	nd ^b	+	nb
Aukerman	1989	<i>Giardia</i>	Water	60	infect	nd	+	nb
Ongerth et al	1989	<i>G. lamblia/muris</i>	Water	60	exyst	1.7	-	10
Ongerth et al	1989	<i>G. lamblia/muris</i>	Water	70	exyst	?	+	10
Bingham	1979	<i>Giardia</i>	Water	100	exyst	?	+	0
Kilvington	1989	<i>Acanthamoebae</i>	Water	65	exyst	4	-	15
Kilvington	1989	<i>Acanthamoebae</i>	Water	70	exyst	4	-	2

^a exyst = exystatie; ^b nb = niet bepaald

