Reinwaterbergingen en RWZI's: (g)een goede combinatie?!

Ir. D. van der Woerdt, Watermaatschappij Zuid-Holland Oost
Drs. B. van der Heijden, Watermaatschappij Zuid-Holland Oost
Dr. G. Medema, Kiwa
Ir. R. Sterkenburg, TNO

Rioolwaterzuiveringsinstallaties brengen aërosolen met micro-organismen in de lucht. Dit vormt een potentieel besmettingsrisico voor nabijgelegen drinkwaterinstallaties. Om een gefundeerde beslissing te kunnen nemen over de bouw van een reinwaterberging in de nabijheid van een RWZI, is een kwantitatieve risico-analyse uitgevoerd naar dit risico en naar de rol van technische maatregelen, zoals luchtfiltratie, om het risico te beperken.

Watermaatschappij Zuid-Holland Oost (WZHO) wil in de nabije toekomst een reinwaterberging bouwen ten noorden van Nieuwkoop. De reden hiervoor is dat daar in periodes van grote vraag, in combinatie met een probleem aan het hoofdtransportleidingennet, de waterdruk weg kan vallen. Een mogelijke locatie was het terrein van rioolwaterzuiveringsinstallatie Nieuwveen. De berging kon hier gebouwd worden op circa 100 meter ten zuidwesten van de beluchtingbassins.

De RWZI bestaat onder meer uit actiefslibbeluchtingbassins (carrousels) waar lucht met puntbeluchters in het rioolwater wordt geslagen. Deze puntbeluchters zijn voorzien van een oxycap om het rendement te verhogen. Via een overstort stroomt het water naar een nabezinktank.

Tijdens het beluchtingproces worden aerosolen gevormd, zowel bij mechanische luchtinslag met roerders als door het uiteenspatten van ingeslagen luchtbelletjes aan het oppervlak van de beluchtingstank[1], waar zich tevens een drijflaagje van micro-organismen bevindt. Ook bij de overstort naar de nabezinktanks worden aërosolen gevormd (zie foto's).

Rioolwater is besmet met ziekteverwekkende micro-organismen, die via de gevormde aerosolen in de omgeving verspreid kunnen worden.

Een reinwaterberging moet worden uitgerust met be-/ontluchting om de niveauverschillen van het water in de berging op te vangen. De lucht boven het drinkwater wordt dus uitgewisseld met de lucht in de omgeving van de berging. WZHO was zich bewust dat plaatsing van een reinwaterberging in de directe nabijheid van een RWZI een potentieel besmettingsrisico oplevert. De hoogte van dit risico was echter niet bekend en ook niet of technische maatregelen het risico tot een aanvaardbaar niveau konden terugdringen. Zonder deze informatie was het nemen van een gefundeerde beslissing over het bouwen op deze locatie niet mogelijk. Daarom is een kwantitatieve analyse van het besmettingsrisico gemaakt en is het effect van technische maatregelen geïnventariseerd. De resultaten hiervan zijn afgezet tegen het beleid ten aanzien van de bescherming van de drinkwaterkwaliteit.

Ziekteverwekkers in rioolwater

De belangrijkste ziekteverwekkers die via het rioolwater kunnen worden verspreid zijn virussen, bacteriën en parasieten die infecties van het spijsverteringskanaal veroorzaken. Deze worden door besmette personen of dieren in hoge concentraties uitgescheiden met de ontlasting en komen in het rioolwater terecht. Tabel 1 geeft een overzicht van de concentratie van ziekteverwekkers in rioolwater.

Ziekteverwekkers in aërosolen

De literatuur over aerosolvorming door RWZI's stamt uit eind jaren '70. Zowel bacteriën als virussen zijn aangetroffen in de lucht boven en rondom beluchtingbassins[2-9]. Nederlandse gegevens zijn alleen beschikbaar over RWZI Kralingseveer en omgeving[10]. Boven alle voornoemde RWZI's zijn aërosolen met micro-organismen uit rioolwater aanwezig. De concentraties zijn primair afhankelijk van de concentratie in rioolwater, het type beluchting en de weersomstandigheden. De

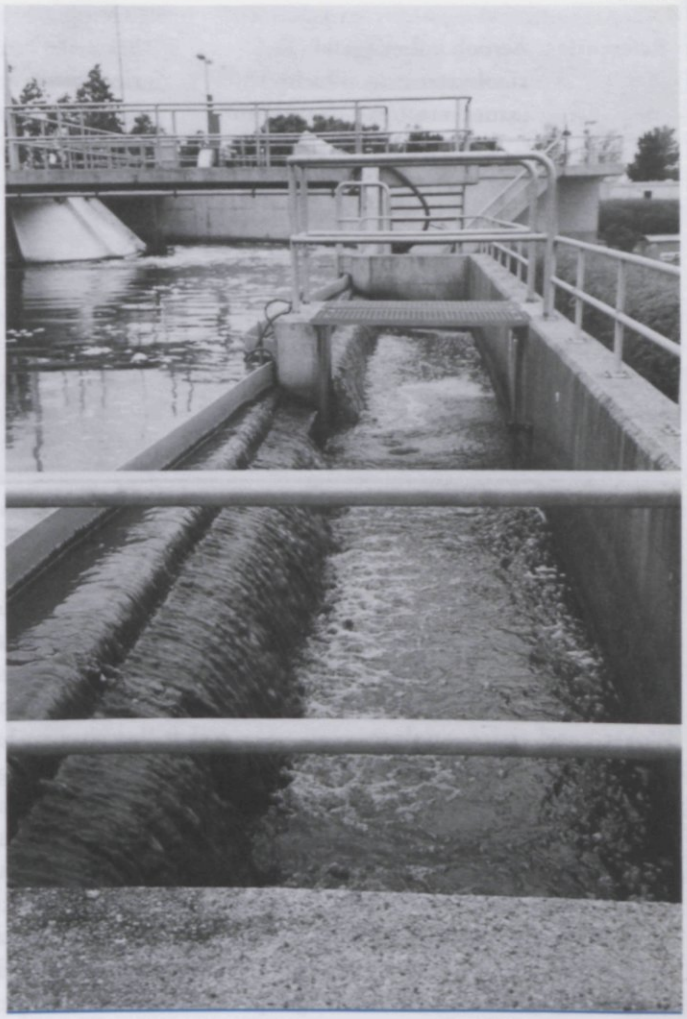
Tabel 1. Concentratie ziekteverwekkers in rioolwater.

Groep	Soort	Concentratie (aantal per liter)	Referentie
Bacteriën	*Campylobacter*	10^3 - 10^5	19
Virussen	Enterovirussen	10^{-1} - 10^1	20
	Rotavirus	ca 10^1	21
	Hepatitis A virus	ca 10^1	21
Parasieten	*Cryptosporidium*	10^1 - 10^4	22
	Giardia	10^1 - 10^3	22

Tabel 2. Concentraties micro-organismen in rioolwater en in de lucht op en rond een RWZI.

	Concentratie in rioolwater (per ml)	Concentratie in de lucht op RWZI (per m³)	Concentratie in de lucht, benedenwinds van RWZI (per m³)
Coli37	10^4 - 10^5	10^0 - 10^2	10^0 - 10^2 (30-100 m)
Enterovirussen	10^{-1} - 10^1	geen gegevens	10^{-2}-10^0 (2-50 m)
Colifagen	10^1 - 10^3	geen gegevens	10^{-1} - 10^0 (15-100 m)

Afb. 1. Westelijk beluchtingbassin van RWZI Nieuwveen. Aan de schuimvorming is het ontsnappen van ingeslagen luchtbelletjes, en daarmee aërosolen, te herkennen.



Afb. 2. Overstort van het beluchtingbassin naar het bezinkbassin. Het vallende water genereert hier aërosolen.

orde van grootte van deze concentraties is weergegeven in tabel 2.

Concentraties micro-organismen bij RWZI Nieuwveen

Gezien de verschillen tussen beluchtinginstallaties is niet aan te geven of de gemeten concentraties in de lucht representatief zijn voor de RWZI Nieuwveen. Daarom is locatiespecifiek onderzoek uitgevoerd naar de concentratie micro-organismen in de lucht boven een beluchtingbassin van RWZI Nieuwveen. Daarbij is gekeken naar het aëroob koloniegetal bij 22°C (Kgt 22) water in het actief slib-bassin en (thermotolerante) bacteriën van de coligroep (Coli37 en Coli44) in 0,1-1 m³ lucht. Van deze micro-organismen zijn de meeste literatuurgegevens beschikbaar en daarmee kunnen de concentraties die in de lucht boven RWZI Nieuwveen worden gemeten worden vergeleken. Voor de bemonstering is gekozen voor een 'Andersen Cascade impactor', omdat deze methode voorgesteld is als standaardmethode en inzicht wordt verkregen in de deeltjesgrootte verdeling.

Tabel 3. Concentratie bacteriën (gemiddeld aantal per m³) in de lucht boven het actief-slib bassin en in het water van het actief-slib bassin van RWZI Nieuwveen.

Deeltjesgrootte (µm)	Kgt 22 Aantal per m³	Coli37 Aantal per m³	Coli44 Aantal per m³
> 11	530	16,0	5,3
7 - 11	390	2,6	1,3
4,7 - 7	630	3,0	1,8
3,3 - 4,7	670	1,5	1,0
2,1 - 3,3	180	1,5	1,2
1,1 - 2,1	71	1,0	1,0
0,65 - 1,1	42	1,0	1,0
0,43 - 0,65	110	1,0	1,0
Totaal	2623	23,4	7,2
Rioolwater	$2,1 \times 10^{12}$	$2,1 \times 10^{11}$	$9,2 \times 10^{10}$

Bij afwezigheid is de onderste analysegrens genomen voor de berekening van het gemiddelde.

In juni 1997 zijn drie (duplo) metingen uitgevoerd van de concentratie aërobe bacteriën en (thermotolerante) bacteriën van de coligroep in de lucht boven de beluchtingbassins en in het water in het actief-slib bassin.

Tabel 3 geeft de resultaten van die analyses per deeltjesgrootte-klasse. De meeste aërobe bacteriën zitten in de deeltjesklasse van 3,3-7 µm. Het merendeel van de bacteriën van de coligroep bevindt zich in de grootste deeltjesklassen (> 7 µm). De deeltjesklassen van 0,65-2,1 µm bevatten relatief weinig aërobe bacteriën, maar dit neemt weer toe bij de kleinste deeltjesklasse (0,43-0,65 µm).

De gevonden concentraties in rioolwater en in de lucht boven het beluchtingbassin liggen in dezelfde grootteorde als bij vergelijk-

Referentie	Aëroob koloniegetal		Bacteriën van de coligroep	
	rioolwater (aantal x10¹²/m³)	lucht (aantal/m³)	rioolwater (aantalx10¹¹/m³)	lucht (aantal/m³)
10		29-787		1-14
7	3-89	60-447	1,9-10	0,6-17
2	4,8		4,5	1,7-12,2
6	5,8	7100-29000	4,0	3,1-12,4
24		253-812		8-43
23	5,8-9,1	551	3,4-13	9
4		102-1325		0,34-6,8
9		970-2068		28-410
Deze studie	2,0-5,9	1530-3800	1,6-2,9	2,4-79,4

Tabel 4. Concentratie aëroob koloniegetal en bacteriën van de coligroep in rioolwater en in de lucht rond rioolwaterzuiveringsinstallaties.

bare actief slib installaties uit de literatuur (tabel 4).

'Worst-case' risico-analyse

Om een indruk te krijgen van het maximale niveau van het besmettingsrisico is een 'worst-case' berekening uitgevoerd waarbij is uitgegaan van de volgende situatie:

- de aërosolvorming door RWZI Nieuwveen is vergelijkbaar met de installaties in de literatuur;
- de concentratie bacteriën van de coligroep en enterovirussen in de lucht rondom RWZI Nieuwveen is vergelijkbaar met die in de literatuur (C_{in}). Voor het aëroob koloniegetal 22°C en bacteriën van de coligroep is dit ook aangetoond, voor enterovirussen is dit daarom eveneens aannemelijk.
- een maximale wateruitlaat (V_w) en dus luchtinlaat (V_l) van 2500 m³ per dag;
- elk deeltje in de lucht in de berging komt in het drinkwater terecht (u=1)
- en er geen luchtfilters geïnstalleerd zijn (retentie r=0).

De concentratie in drinkwater (C_{dw}) is dan te berekenen uit:

$$C_{dw} = C_{in} * V_l / (V_w * u * (1-r))$$

De berekende concentraties zijn weergegeven in tabel 5.

Kwaliteitseisen drinkwater

Voor deze situatie wordt uitgegaan van de meest stringente eisen in het Waterleidingbesluit. Voor eisen aan bacteriën van de coligroep wordt de berging aangemerkt als een monsterlocatie af-pompstation van een oppervlaktewaterbedrijf (dagelijkse meting van bacteriën van de coligroep bij 37 en 44°C in 300ml). Om met 95 procent kans <1 procent overschrijdingen van deze waarde in de berging te realiseren zijn maximaal toelaatbare concentraties berekend van 0,018 per liter voor bacteriën van de coligroep[13].

De normwaarde voor het koloniegetal 22°C in het voorzieningsgebied is <100/ml.

Een kwantitatieve eis voor enterovirussen in drinkwater is niet gegeven in het Waterleidingbesluit of in de EU-richtlijn. In een concept-beleidsnotitie van VROM zijn wel maximaal toelaatbare waarden opgesteld voor virussen, op basis van een acceptabel infectierisico van 1 per 10.000 personen per jaar via drinkwater, van 2,2 x 10^{-7} per liter (1 per 4500 m³). Deze hebben nog geen formele status, maar worden al wel als basis gebruikt door een aantal waterleidingbedrijven en de RIMH voor het beoordelen van nieuwe zuiveringen.

'Worst-case' versus vereiste concentraties

Vergelijking van de 'worst-case' analyse (tabel 5) en de (berekende) kwaliteitseisen voor drinkwater geeft aan dat het water in de berging zonder luchtbehandeling voldoet aan de kwaliteitseis voor het aëroob koloniegetal bij 22°C en de concentratie bacteriën van de coligroep.

Voor enterovirussen ligt de berekende concentratie in drinkwater echter beduidend boven de kwaliteitseis uit de infectierisico-notitie van VROM. Er kan dus niet zonder meer van worden uitgegaan dat de situatie veilig is. Die veiligheid zou kunnen worden gerealiseerd door behandeling van de lucht die de berging inkomt: deze behandeling moet de aërosolen afdoende kunnen tegenhouden (circa 99-99,99 procent).

Tabel 5. 'Worst-case' analyse van het besmettingsrisico van drinkwater door aërosolen.

	Concentratie in de lucht, benedenwinds van RWZI (per m³)	Concentratie in drinkwater (per m³)	Norm (per m³)
aëroob koloniegetal 22°C	10^2 - 10^3	10^2 - 10^3	<10^5
coli37	10^0 - 10^2	10^0 - 10^2	<18
Enterovirussen	10^{-2} - 10^0	10^{-2} - 10^0	<2 x 10^{-4}

Luchtbehandeling

De standaard-luchtbehandeling van reinwaterberging is filtratie door zweefstoffilters. Op reinwaterbergingen wordt daarvoor gebruik gemaakt van klasse S HEPA (high efficiency particulate airfilters) glasvezel filters (EU-klasse 13, EUROVENT 4/4 en DIN/SWKI norm 24184). Dezelfde typen filters worden toegepast voor de luchtbehandeling in cleanrooms, operatiekamers en LAF-kasten in virologische laboratoria voor de bescherming van product, patiënt en werknemer[16]. Elk gefabriceerd filter wordt getest volgens DIN 24184 in een oil mist test met paraffine druppels van 0,3-0,5 µm doorsnede en moet >99,99% (4 logeenheden) tegenhouden[14,15].

De HEPA luchtfilters worden getest met deeltjes van 0,3-0,5 µm, omdat deze deeltjesgrootte het meest kritisch is voor doorslag: grotere deeltjes raken bekneld tussen de vezels (zeefwerking), terwijl kleinere deeltjes (door hun grotere Brownse beweging) een grotere kans hebben om tijdens hun transport door het filter tegen een vezel te botsen en te blijven vastzitten door elektrostatische en/of London-Vanderwaalskrachten[17,18].

Luchtfiltratie door HEPA filters kan dus voldoende retentie (> 99,99%) voor aërosolen leveren. De retentiecapaciteit van de filters is onder 'worst-case' condities wel volledig nodig om afdoende verwijdering te realiseren.

Bij de installatie van de luchtfilters in hun behuizing moet de afdichting absoluut zijn om het filterrendement te kunnen garanderen. Een lek in de afdichting waardoor één procent van de luchtstroom loopt, reduceert het verwijderingsrendement tot 99 procent. De afdichtingen van de filters zijn in principe lekdicht. Dit is in de praktijk echter moeilijk te controleren door de geringe drukval over het filter.

Tijdens de bedrijfsvoering vangt het filter deeltjes uit de lucht, waardoor het filteroppervlak vervuilt. Door inwerking van fysische factoren (grote drukverschillen en vorst), chemische reactie van stoffen in afgevangen deeltjes met het filtermateriaal en biologische

activiteit (groei bacteriën en schimmels op de afgevangen deeltjes in het filter, met name bij condensvorming op het filter) kan het filtermateriaal beschadigd raken, waardoor het filter lekt en niet meer de opgegeven verwijderingsrendementen haalt. Ook hier wordt het verwijderingsrendement dan afhankelijk van de grootte van de lekstroom.

Een praktisch instrument voor continue waarborging van de filterintegriteit van reinwaterbergingfilters tijdens de bedrijfsvoering is niet voorhanden.

Om te voorkomen dat onderdruk in de berging ontstaat wordt de filterbehuizing van luchtbehandelingsfilters voorzien van een onderdrukbescherming in de vorm van een breekplaat (folie). Als dit folie breekt (bijvoorbeeld tijdens vorst, wanneer het filter door bevriezing dicht kan slaan), is er geen barrière meer. Er zijn technische maatregelen voorhanden om dit risico te beperken, zoals verwarming en drukvalmeting.

Conclusies

In de lucht boven de rioolwaterzuiveringsinstallatie bevinden zich aërosolen met pathogene micro-organismen. De risico-analyse geeft aan dat onder ongunstige omstandigheden de concentraties virussen in de omgeving dermate hoog kunnen zijn dat de verwijderingscapaciteit van de luchtfilters, die op reinwaterberging worden aangebracht, volledig benut moet worden.

Luchtfiltratie is opgezet voor het beperken van een besmettingsrisico onder calamiteuze omstandigheden (fall-out) en niet voor een continue belasting met ziekteverwekkende micro-organismen. Er zitten veiligheden in de 'worst-case' analyse (er is gerekend met de hoogste concentraties en aangenomen dat geen concentratie-reductie optreedt tijdens transport), maar ook onzekerheden (waarborging afdichting filters en breuk van breekplaat bij over-/onderdruk en doorslag bij lekkage filter). In de winter valt een aantal factoren die bijdragen aan een hoger risico samen: de virusconcentraties in rioolwater zijn hoger, er treedt weinig afsterving in aërosolen op door de lage luchttemperaturen en weinig UV-instraling, het optreden van een oosten- of noordoostenwind die de aërosolen naar de luchtinlaat van de reinwaterberging toevoert en een doorslagrisico van de luchtfilters door vorstschade.

Samengevat betekent dit dat in de situatie van de plaatsing van een reinwaterberging dichtbij RWZI Nieuwveen een besmettingsrisico niet afdoende uit te sluiten is.

Op basis van deze informatie heeft WZHO een gefundeerde beslissing kunnen nemen: ze beschouwt deze locatie niet langer als optie voor de bouw van een reinwaterberging.

LITERATUUR

1) Woodcock AH. 1955. Sewage Ind. Wastes 27: 1189.
2) Camann D. et al., 1980. In: Pahren H., Jakubowski W. (eds). Wastewater aerosols and disease. EPA 600/9 80 028, Cincinnati, USA, pagina 160.
3) Carducci A. et al., 1995. Lett. Appl. Bacteriol. 21:207.
4) Fannin K. et al., 1985. Appl. Environ. Microbiol. 49:1191.
5) Fattal B. en Teltsch B. 1982. Environ. Int. 7:35.
6) Johnson D. et al., 1980. In: Pahren H., Jakubowski W. (eds). Wastewater aerosols and disease. EPA 600/9 80 028, Cincinnati, USA, pagina 136.
7) Northrop R. et al., 1980. In: Pahren H., Jakubowski W. (eds). Wastewater aerosols and disease. EPA 600/9 80 028, Cincinnati, USA, pagina 180.
8) Randall C. en Ledbetter J. 1966. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 6:506.
9) Sawyer B. et al., 1993. Appl. Environ. Microbiol. 59:3183.
10) DWL projectgroep Aerosolen en effluentlozingsonderzoek Kralingen. Eindrapport. Drinkwaterleiding Rotterdam, 1979.
11) Wells W., 1955. In: Slote L. 1976. Viral aerosols. JEH 38:310.
12) Sorber C. en Sagik B. 1980. In: Pahren H., Jakubowski W. (eds). Wastewater aerosols and disease. EPA 600/9 80 028, Cincinnati, USA, pagina 23.
13) Groennou J. et al., 1998. In voorbereiding.
14) Rubow K. et al., 1987. Proceedings Institute of Environmental Sciences, pagina 383.
15) Keady P. Proceedings Nonwoven Conference St Petersburg, Florida, USA, 1995. paper A96.
16) LUWA, Baarn en Clean-air, Woerden.
17) Anoniem. Eine Einfuhrung in die Schwebstoff-Filtertechnik. LUWA BV Baarn.
18) Wickman H. 1994. In: Lighthart B., Mohr A. (eds). Atmospheric microbial aerosols (theory and applications). Chapham & Hall.
19) Koenraad P. 1995. PhD thesis LU Wageningen.
20) Havelaar A. 1993, RIVM Bilthoven.
21) Hejkal et al., 1982. JAWWA 74:318.
22) Medema G. en Ketelaars H., 1995. H_2O nr. 23, pagina 704.
23) Lue-Hing C. et al., 1980. In: Pahren H., Jakubowski W. (eds). Wastewater aerosols and disease. EPA 600/9 80 028, Cincinnati, USA, pagina 302.
24) Clark C. et al., 1980. In: Pahren H., Jakubowski W. (eds). Wastewater aerosols and disease. EPA 600/9 80 028, Cincinnati, USA, pagina 239.

Overleving in aërosolen

Aërosoldruppels verdampen snel: bij 22 C en 50 % luchtvochtigheid is het water uit een aërosol van 200 µm in 5,2 seconden verdampt[11]. Er blijft dan een druppelkern achter die door de wind verspreid wordt en grote afstanden af kan leggen.
Vanwege hun persistenie en geringe omvang (20-90 nm, oftewel 0,02-0,09 µm) zijn virussen kritische micro-organismen voor de verspreiding via aërosolen. Grotere organismen zoals de protozoa (5-20 µm) zullen minder makkelijk worden geaërosoliseerd en zullen door de luchtfilters worden afgevangen. Bacteriën (circa 1 µm) sterven sneller af door uitdroging van aërosolen[12]. Uit onderzoek van Johnson *et al.*[6] blijkt ook dat de verhouding tussen concentratie in de lucht in de omgeving van een rioolwaterzuiveringsinstallatie en het rioolwater voor enterovirus een factor 10-100 hoger is dan voor bacteriën.