

BTO 2018.094 | December 2018

## **BTO** rapport

Nanostructuren op  
leidingwanden tegen  
nagroei -een verkenning  
van mogelijkheden en  
randvoorwaarden



# BTO

## Nanostructuren op leidingwanden tegen nagroei – een verkenning van mogelijkheden en randvoorwaarden

BTO 2018.094 | December 2018

### Opdrachtnummer

402045-007

### Projectmanager

Drs. P.G.G. (Nellie) Slaats

### Opdrachtgever

BTO - Verkennend onderzoek

### Kwaliteitsborger(s)

Dr. P. (Peter) van Thienen

### Auteur(s)

Dr. ir. K.A. (Karel) van Laarhoven en dr. J.R.G. (Joost)  
van Summeren

### Verzonden aan

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten. Eén  
jaar na publicatie is het openbaar.

**Jaar van publicatie**  
2018

#### Meer informatie

dr. ir. Karel van Laarhoven  
T 030-6069697

E [karel.van.laarhoven@kwrwater.nl](mailto:karel.van.laarhoven@kwrwater.nl)  
nl

#### Keywords

Postbus 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511  
F +31 (0)30 60 61 165  
E [info@kwrwater.nl](mailto:info@kwrwater.nl)  
I [www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl)

The logo for KWR (Watercycle Research Institute) features the letters 'KWR' in a bold, blue, sans-serif font. The 'K' and 'W' are connected, and the 'R' is slightly separated.

Watercycle  
Research  
Institute

BTO | April 2018 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, 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.

## BTO Managementsamenvatting

*Volg ontwikkelingen nanotechnologie, maar focus voor beperking nagroei aan leidingmaterialen op het verbeteren van de productie van PE*

**Auteur(s)** Dr. ir. K.A. (Karel) van Laarhoven en dr. J.R.G. (Joost) van Summeren

Nanotechnologie biedt nieuwe kansen om eigenschappen van materialen te verbeteren door materiaalstructuren op moleculaire of atoomschaal aan te passen. Het aanpassen van de oppervlaktestructuur van leidingmaterialen zou op termijn mogelijk een verlaging van de nagroei-potentie van drinkwaterleidingen kunnen opleveren, maar daarvoor zijn nog geen kant-en-klare oplossingen beschikbaar. Er zijn nog te veel kennishiaten op het gebied van veiligheid, regelgeving, effectiviteit, kosten en levensduur om tot een bruikbare ontwikkeling te komen. Op dit moment zijn er waarschijnlijk makkelijkere wegen om de nagroei-eigenschappen van (PE) leidingmaterialen te verbeteren dan via nanotechnologie, bijvoorbeeld via aanpassing van het productieproces. Het heeft de voorkeur om deze gezamenlijk na te streven en de ontwikkelingen in de nanotechnologie voorlopig passief te blijven volgen.



*Deelnemers tijdens de workshop "Nanostructuren op leidingwanden tegen nagroei", op 11 september 2018 in Nieuwegein*

**Belang:** mogelijke reductie van nagroei-potentie op leidingen

Met nano- en microtechnologie is het mogelijk om materiaalstructuren op moleculair of atoomniveau

te manipuleren en zo de macroscopische eigenschappen te veranderen. Nanotechnologie heeft al fundamenteel nieuwe inzichten en toepassingen opgeleverd in bijvoorbeeld

elektronica, geneeskunde en de voedingstechnologie, mogelijk kan nanotechnologie ook bijdragen aan het verlagen van de nagroeipotentie op leidingwanden in drinkwaterdistributienetten. De groei van micro-organismen op leidingwanden kan leiden tot verminderde microbiologische waterkwaliteit en problemen met de kleur of geur van het water. Dit verkennende BTO-onderzoek naar toepassing van nanotechnologie bij drinkwaterleidingen focuste op de haalbaarheid van de inzet van nanotechnologie en vervolgstappen die eventuele toepassing binnen bereik kunnen brengen.

#### Aanpak: literatuurstudie, onderzoek naar randvoorwaarden en workshop

Het onderzoek is uitgevoerd vanuit een brede benadering, waarin de perspectieven zijn meegenomen van de verschillende belanghebbenden bij een mogelijk toekomstig ontwikkelingstraject: waterbedrijven (de eindgebruikers), producenten en fabrikanten van waterleidingen en wetenschappers. Uit literatuuronderzoek is een overzicht verkregen van de huidige nanotechnologische mogelijkheden. Met bijdragen van vier onderzoekers op het gebied van regelgeving, assetmanagement en chemische en microbiologische veiligheid zijn randvoorwaarden opgesteld voor het gebruik van eventuele nieuwe nanotechnologische materialen in drinkwater. Om kennis uit te wisselen en de gevonden randvoorwaarden en aandachtspunten verder aan te scherpen is een workshop gehouden met experts van waterbedrijven (Dunea, Evides, PWN), leidingproducenten (Pipelife, Sabic, Waterlaboratorium Noord, Wavin) en onderzoeksinstituten (Kiwa Technology, KWR, Universiteit Twente).

#### Resultaten: nanomaterialen anno 2018 nog geen kant-en-klare oplossing

Hoewel het vakgebied nanotechnologie zich snel ontwikkelt, zijn er op dit moment geen kant-en-klare oplossingen voor de aanpak van nagroei op drinkwaterleidingen met nanomaterialen. Dit hangt samen met in de literatuur beschreven kennishiaten op het gebied van veiligheid, effectiviteit, kosten en levensduur van antibacteriële oppervlakken. Ook

ontbreekt regelgeving voor het contact tussen drinkwater en materialen met nanotechnologie gemodificeerde eigenschappen. Een inventarisatie van verschillende werkingsprincipes van nanomaterialen levert als meest veelbelovende optie het aanpassen van de oppervlaktetopografie op nanoschaal via een hybride aanpak, zodat zowel *kill-on-contact*- als anti-biofouling-eigenschappen ontstaan.

#### Implementatie: volg ontwikkeling nanomaterialen; onderzoek PE met lage nagroeipotentie

Op dit moment is geen actief onderzoek naar nanomaterialen aan de orde, maar is het beter de ontwikkelingen passief te volgen. Nadenken over toepassing van nanotechnologie wordt een optie zodra meer duidelijkheid bestaat over veiligheid, kosten en levensduur. Op dat punt is het belangrijk pilots door of met waterbedrijven uit te voeren om de voor de drinkwaterpraktijk vereiste ontwikkelingen te realiseren. Voor een succesvolle doorontwikkeling van nieuwe (nano)materialen voor drinkwaterleidingen is een nauwe samenwerking van belang tussen onderzoek, industrie en eindgebruikers, in een iteratief onderzoeks- en ontwikkelingsproces.

Buiten nanotechnologie zijn er met de huidige stand van de wetenschap naar verwachting gemakkelijkere wegen om de nagroeipotentie van PE-leidingen te reduceren voor toepassing in het leidingnet. PE heeft enkele voordelige eigenschappen (trekvaste aanleg, flexibiliteit), maar wordt in Nederland beperkt toegepast omdat vaak een hoge nagroeipotentie wordt gemeten. KWR beveelt aan om te onderzoeken waardoor er verschillen worden gevonden in nagroeipotentie tussen verschillende fabrikanten en verschillende batches van PE, om zo de productiemethode van PE te verbeteren en de met PE geassocieerde nagroeipotentie te verlagen.

#### Rapport

Dit onderzoek is beschreven in het rapport *Nanostructuren op leidingwanden tegen nagroei - een verkenning van mogelijkheden en randvoorwaarden* (BTO 2018.094).



# Inhoud

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inleiding</b>  | <b>4</b>  |
| 1.1      | Probleemstelling  | 4         |
| 1.2      | Doel van het onderzoek  | 4         |
| 1.3      | Aanpak en leeswijzer  | 5         |
| <b>2</b> | <b>Literatuurstudie</b>                                       | <b>6</b>  |
| 2.1      | Inleiding   | 6         |
| 2.2      | Overzicht technische mogelijkheden                            | 6         |
| 2.3      | Haalbaarheid  | 8         |
| <b>3</b> | <b>Randvoorwaarden</b>  | <b>12</b> |
| 3.1      | Inleiding   | 12        |
| 3.2      | Belangrijkste bevindingen                                     | 12        |
| <b>4</b> | <b>Workshop nanostructuren op leidingwanden tegen nagroei</b> | <b>13</b> |
| 4.1      | Inleiding   | 13        |
| 4.2      | Experts   | 13        |
| 4.3      | Presentaties en discussies                                    | 13        |
| 4.4      | Conclusies  | 14        |
| <b>5</b> | <b>Conclusies en aanbevelingen</b>                            | <b>15</b> |
| 5.1      | Conclusies  | 15        |
| 5.2      | Aanbevelingen voor vervolgonderzoek                           | 16        |
| <b>6</b> | <b>Literatuur</b>   | <b>17</b> |

# 1 Inleiding

## 1.1 Probleemstelling

Met nano- en microtechnologie is het mogelijk om materiaalstructuren op moleculair of atoomniveau te manipuleren. De macroscopische eigenschappen worden dan niet meer bepaald door alleen de bulkeigenschappen van het materiaal, maar ook door de aangepaste micro- of nanostructuur. Het resultaat wordt een 'metamateriaal' genoemd. Het vakgebied ontwikkelt zich snel en heeft een multidisciplinair karakter. Nanotechnologie heeft fundamenteel nieuwe inzichten en toepassingen opgeleverd in o.a. elektronica, hernieuwbare energie, geneeskunde, voedingstechnologie en het verbeteren van consumentenproducten (zie bijvoorbeeld Gielgens, Kassarokijat et al. (2017) voor recente ontwikkelingen in Nederland).

De groei van micro-organismen op leidingwanden in het drinkwaterdistributienet kan leiden tot een verslechtering van de microbiologische waterkwaliteit en kleur- of geur van het water. Om de risico's in te schatten en drinkwaterbedrijven te adviseren, voert KWR onderzoek uit naar de nagroeiopotentie van leidingmaterialen (Van der Wielen & Bereschenko 2016), een factor in de keuze voor leidingmaterialen.

Een interessante vraag is of de nagroeiopotentie van leidingen met toepassing van nanotechnologie kan worden verlaagd, bijvoorbeeld door materiaaloppervlaktes te maken waarop microbiologische organismen niet of minder makkelijk hechten. Succesvolle toepassingen van deze benadering bestaan reeds in de vorm van antifouling-verf en -coatings (De Kwaadsteniet, Bites et al. 2011), waarmee bijvoorbeeld scheepsboegen worden behandeld ten behoeve van een schoon, gestroomlijnd oppervlak. Een vereiste voor drinkwaterleidingen is een toepassing zonder gevaar op het uitspoelen of vrijkomen van ongewenste chemicaliën. Mogelijke bijvangsten van nanomaterialen zonder nagroei (indien mogelijk) zijn (i) een reductie van deeltjesaccumulatie en bruinwatermeldingen (vanwege de interactie van deeltjes met biofilms), waardoor een waterbedrijf minder vaak hoeft te spuien en (ii) een lagere hydraulische weerstand voor een energiezuinigere waterdistributie.

In de bedrijfstak worden nanotechnologische oplossingen al toegepast in bijvoorbeeld gecoatete filters in de drinkwaterzuivering (Harmsen et al. 2017). Mogelijke toepassingen voor drinkwaterleidingen zijn echter nog niet systematisch onderzocht.

## 1.2 Doel van het onderzoek

Het doel van dit onderzoek is om de kansen en risico's te verkennen van nanotechnologie en metamaterialen in het algemeen en toepassing hiervan op leidingmaterialen in het bijzonder. Specifiek richt dit verkennend onderzoek zich op het inschatten en vastleggen van:

1. kansen voor verlaging van de microbiologische nagroei en hydraulische weerstand in drinkwaterleidingen met toepassing van nanotechnologie;
2. veiligheidsrisico's van nanomaterialen in contact met drinkwater;
3. de potentie voor implementatie en een aanbeveling voor vervolgstappen richting toepassing, zoals toetsing in het lab.



### 1.3 Aanpak en leeswijzer

In dit onderzoek is aandacht besteed aan zowel de stand van de techniek als aandachtspunten en randvoorwaarden gezien vanuit de waterbedrijven, assetmanagement, regelgeving en chemische en microbiologische veiligheid. Deze aanpak is erop gericht om te onderzoeken of een technisch haalbare, veilige en rendabele oplossing anno 2018 binnen handbereik ligt, of dat deze nog (verre) toekomstmuziek is en om welke reden. Er zijn drie onderzoeksactiviteiten uitgevoerd:

1. Het verkrijgen, via een literatuurstudie, van een overzicht van de huidige technische mogelijkheden voor het toepassen van nano- of micromaterialen om drinkwaterleidingen te ontwikkelen met eigenschappen die vervuiling (microbiologische nagroei en/of deeltjesaccumulatie) tegengaan. De opbrengsten van het literatuuronderzoek zijn beschreven in hoofdstuk 2.
2. Het raadplegen van verschillende KWR-experts met betrekking tot de randvoorwaarden die worden gesteld aan het gebruik van een bepaald type leidingmateriaal. De bevindingen van deze groep experts zijn opgenomen in hoofdstuk 3.
3. Het organiseren van een workshop met experts van drinkwaterbedrijven (Dunea, Evides, PWN), leidingproducenten (Pipelife, Sabc, Waterlaboratorium Noord, Wavin) en onderzoeksinstellingen (Kiwa Technology, KWR, Universiteit van Twente) om kennis en ervaringen uit te wisselen. Het verslag van deze workshop is opgenomen in hoofdstuk 4.

Op basis van de uitkomsten van deze onderzoeksactiviteiten worden in hoofdstuk 5 conclusies en aanbevelingen geformuleerd over de verwachte meerwaarde van nanotechnologie op leidingwanden en over de voorwaarden voor toekomstige implementatie.

## 2 Literatuurstudie

### 2.1 Inleiding

Een veelgebruikte definitie van nanotechnologie is het manipuleren van materie op atomaire en supra-atomaire schaal, waarbij ten minste één dimensie in het bereik ligt van 1 tot 100 nanometer. Nanotechnologie wordt dus niet gedefinieerd door de functie, maar door de schaalgrootte van de toepassing. Het vakgebied is multidisciplinair van karakter, waarin uiteenlopende onderzoeksgebieden en technologieën elkaar tegenkomen, zoals organische chemie, moleculaire biologie, halfgeleiderfysica en molecular engineering.

Nieuw gecreëerde materialen kennen ook zeer uiteenlopende toepassingen. Voorbeelden zijn te vinden in nanogeneeskunde, nano-elektronica, biomaterialen-energieproductie en consumentenproducten. Vanwege de snelheid waarmee nanotechnologie zich ontwikkelt, zijn risico's zoals toxiciteit en milieu-impact vaak nog onbekend.

Het literatuuronderzoek in dit hoofdstuk richt zich op het toepassingsgebied van anti-bacteriële oppervlakken. Het verkent specifiek de mogelijkheden om met nanomaterialen microbiologische nagroei op leidingwanden tegen te gaan. De volgende vragen zijn gebruikt om richting te geven aan de literatuurstudie:

- Welke nanotechnologie is beschikbaar en relevant voor het beoogde doel?
- Welke van deze technieken zijn in de praktijk realiseerbaar / hoe ver zitten de meest veelbelovende technieken af van praktische toepassing.
- Wat is de verwachting voor reductie van nagroeipotentie?
- Wat betekent het voor de stromingsweerstand?
- Degradeert de bewerkte oppervlaktelaag? Hoe snel gaat dit en via welk mechanisme?
- In hoeverre reduceert de werking indien er een beetje biofilm aanhecht?
- Wat wordt verwacht van de werking op een tijdschaal van tientallen jaren?
- Wat zijn de risico's voor degradatie van de microbiologische of chemische veiligheid?
- Wat is het risico op uitspoeling van nanodeeltjes en brengt dit veiligheidsrisico's met zich mee?

### 2.2 Overzicht technische mogelijkheden

*'Welke nanotechnologie is beschikbaar en relevant voor het beoogde doel?'*

#### 2.2.1 werkingsprincipes

Antibacteriële oppervlakken zijn er op gericht om te voorkomen dat bacteriën zich op het oppervlak vestigen, zodat ze nooit kunnen uitgroeien tot biofilm. Er zijn verschillende manieren waarop nanotechnologie de kolonisatie van een oppervlak kan verstoren. Antibacteriële oppervlakken worden in de literatuur (bijvoorbeeld Hasan et al., 2013, Cloutier et al., 2015; Elbourne et al., 2017; Rigo et al. 2018) daarom in de eerste plaats gecategoriseerd via de verschillende werkingsprincipes:

- *Anti-biofouling oppervlakken ('anti-biofouling surfaces')* zijn oppervlakken waaraan cellen zich moeilijk kunnen hechten, bijvoorbeeld vanwege een ongunstige oppervlaktetopografie of vanwege een voor aanhechting ongunstige chemische oppervlaktesamenstelling.

- *Bactericidale oppervlakken ('bactericidal surfaces')* zijn oppervlakken die aangehechte cellen doden of inactiveren. Bactericidale oppervlakken worden verder onderverdeeld in:
  - *Uitlogende bactericidale oppervlakken ('release-based bactericidal surfaces')*: oppervlakken waaruit bactericide stoffen uitlogen, waardoor cellen in de buurt van het oppervlak worden gedood.
  - *Kill-on-contact bactericidale oppervlakken*: oppervlakken met bactericide eigenschappen, waardoor cellen bij aanhechting worden gedood.

### 2.2.2 Typen antibacteriële oppervlakken

Ieder van bovenstaande werkingsprincipes kan op verschillende manieren gerealiseerd worden. Banjeree et al. (2011) geeft een minder recent maar grondig overzicht van de verschillende technieken waarmee bovengenoemde werkingsprincipes aangewend kunnen worden om verschillende stadia van biofilmvorming te verstoren.

**Uitlogende bactericidale oppervlakken ('release-based bactericidal surfaces')** worden in de eerste plaats gedefinieerd door de bactericide stof die door het oppervlak uitgelooft wordt. In de literatuur (e.g. Campoccia et al., 2013; Cloutier et al., 2015; Rigo et al., 2018) zijn brede overzichten beschikbaar van stoffen die hiervoor gebruikt worden. Zo wordt een breed scala aan biologische stoffen gebruikt, zoals enzymen of antibiotica, maar bijvoorbeeld ook een verzameling nanodeeltjes van verschillende anorganische stoffen, zoals zilver, zinkoxide of titaniumdioxide. Cloutier et al. wijzen ook op een aantal verschillende strategieën om bactericiden in te bedden in een coating op het oppervlak op een manier waarop ze geleidelijk weer aan de omgeving kunnen worden afgegeven. In algemene termen wordt er onderscheid gemaakt tussen: coatings die continu geleidelijk uitlogen; coatings die uitlogen na een extern commando – bijvoorbeeld een lichtpuls – en coatings die uitlogen zodra ze in contact komen met micro-organismen. Een overzicht van specifieke technieken per bactericide wordt gegeven door bijvoorbeeld Campoccia (2013) en Huang et al. (2016).

**Kill-on-contact bactericidale oppervlakken** kunnen ten eerste gemaakt worden op een manier vergelijkbaar met uitlogende ('release-based') bactericidale oppervlakken door bactericiden op het oppervlak te binden met een coating, maar dan op een manier dat de bactericiden niet loskomen. (Green, 2012) geeft een overzicht van verschillende strategieën om bactericiden op die manier te binden. Daarnaast is het ook mogelijk om bactericiden via verschillende chemische reacties direct – zonder coating – op het oppervlak te binden, zoals beschreven in bijvoorbeeld Hasan (2013) en Huang et al. (2016). Een derde type van kill-on-contact bactericidale oppervlakken wordt verkregen door op nano- of microschaal aanpassingen aan te brengen in de topografie van het oppervlak. Zo kan het oppervlak bijvoorbeeld worden voorzien van naaldjes die de celwand vernielen (Hasan, 2013; Elbourne et al., 2017). Dergelijke antibacteriële structuren zijn veelal geïnspireerd op vergelijkbare oppervlakken in de natuur, zoals op de vleugels van cicaden en de vingertoppen van gekko's. Tripathy (2017) geeft een uitgebreid overzicht van natuurlijke en synthetische varianten van dergelijke oppervlakken.

**Anti-biofouling oppervlakken** kunnen op zeer diverse manieren worden verkregen, want de aanhechting van bacteriën wordt door veel verschillende factoren beïnvloed (Campoccia et al., 2013). Oppervlakken kunnen chemisch behandeld worden met moleculen die het oppervlak (Campoccia et al., 2013; Huang et al., 2016): super-hydrofiel maken (zodat het oppervlak beter aan water hecht dan aan micro-organismen); ultra-hydrofoob maken (zodat micro-organismen beter aan het water binden dan aan het oppervlak); statisch laden (zodat micro-organismen afgestoten worden). Daarnaast wordt ook onderzoek gedaan naar coatings met bioactieve stoffen zoals enzymen die cellen niet doden maar wel de eiwitten en

polymeren die worden gebruikt voor aanhechting afbreken (Banjeree et al., 2011; Glinel et al., 2012). Er bestaan vele anti-biofouling oppervlakken in de natuur die de wetenschap probeert te imiteren met nanotechnologie (Bixler and Bsushan, 2012, Damodaran and Murthy, 2016). Succesvolle voorbeelden die industrieel worden toegepast zijn imitaties van haaienschubben (Pu et al., 2016) of bladeren van lotusbloemen en bekerplanten (Epstein et al., 2012).

De relevantie van de hierboven beschreven werkingsprincipes en technieken wordt besproken aan het eind van dit hoofdstuk (paragraaf 2.3.5).

### 2.3 Haalbaarheid

*'Welke van deze technieken zijn in de praktijk realiseerbaar/ hoe ver zitten de meest veelbelovende technieken af van praktische toepassing?'*

Of een bepaald antibacterieel oppervlak praktisch toepasbaar in drinkwaterleidingen is zal onder ander afhangen van: de effectiviteit waarmee het biofilmvorming tegengaat; de levensduur van het materiaal; de veiligheid van de toepassing en of op grote schaal kosteneffectief kan worden geproduceerd. Hieronder wordt eerst per aspect beschreven wat hierover bekend is. Op basis daarvan wordt vervolgens bediscussieerd wat de meest veelbelovende techniek is voor toepassing in drinkwaterleidingen.

#### 2.3.1 Effectiviteit reduceren biofilmvorming

*'Wat is de verwachting voor reductie van nagroeipotentie?'*

Rigo et al. (2018) geven aan dat er nog geen algemeen geaccepteerde proeven zijn om de effectiviteit van verschillende bactericidale oppervlakken te meten. Green et al. (2012) concluderen hetzelfde na een beschrijving van de verschillende strategieën die gebruikt worden om de effectiviteit te bepalen voor kill-on-contact technieken waarbij biociden op het oppervlak worden gebonden. Beide bronnen geven aan dat het hierdoor in de regel moeilijk is om de resultaten van onderzoek aan verschillende antibacteriële oppervlakken te vergelijken. Cloutier et al. (2015) benoemen het ontbreken van gestandaardiseerde tests als een van de belangrijkste openstaande vragen rond de toepassing van uitlogende ('release-based') bactericidale oppervlakken.

Een vergelijking tussen oppervlakken wordt extra bemoeilijkt omdat veel oppervlakken niet even effectief zijn voor iedere soort microbe, en omdat de werking van een bepaalde techniek veelal voor slechts een paar soorten is bevestigd. Campoccia et al. (2013) geven voor een groot aantal verschillende antibacteriële oppervlakken een overzicht van de soorten waarvoor deze effectief zijn. Elbourne et al. (2017) en Rigo et al. (2018) geven aan dat, in het geval van oppervlakken die gebruik maken van biociden, rekening moet worden gehouden met het opkomen van bacteriële resistentie tegen een bepaald oppervlak.

Kill-on-contact technieken waarbij de oppervlaktetopografie wordt veranderd zijn werkzaam via fysische in plaats van biochemische mechanismen, en zijn worden daardoor niet onderhevig beschouwd aan biologische resistentie. Echter, niet alle bacteriën zijn even gevoelig voor de fysische prikkels van topografische kill-on-contact oppervlakken (Hasan, 2013b). Ook hier ontbreekt voorsnog een raamwerk van onderzoek om de effectiviteit van technieken te vergelijken (Elbourne et al., 2017).

Ook anti-biofouling oppervlakken zijn veelal werkzaam via fysische in plaats van biochemische mechanismen en daardoor niet specifiek voor een bepaalde soort (Damodaran and Murthy, 2016). In het geval van technieken waarbij de oppervlaktetopografie wordt

veranderd is de effectiviteit van verschillende technieken nog steeds een belangrijk punt van onderzoek (Graham en Cady, 2014; Tripathy et al., 2017).

### 2.3.2 Levensduur van verschillende mogelijkheden

*'Wat wordt verwacht van de werking op een tijdschaal van tientallen jaren?'*

*'In hoeverre reduceert de werking indien er een beetje biofilm aanhecht?'*

*'Degradeert de bewerkte oppervlaktelaag? Hoe snel gaat dit en wat via welk mechanisme?'*

De bestudeerde literatuur geeft slechts een zeer oppervlakkig inzicht in de levensduur van de verschillende typen antibacteriële oppervlakken. Cloutier, et al. (2015) geven aan dat de meest populaire technieken met biociden voor antibacteriële oppervlakken en technieken met chemische behandeling voor anti-biofouling oppervlakken maar enkele dagen werkzaam blijven. Daarnaast stellen ze dat dit aspect op dit moment nog maar zelden structureel aandacht krijgt in het onderzoek naar nieuwe antibacteriële oppervlakken. In de belangrijkste beschouwingen van oppervlakken met nanotopografie (Elbourne et al, 2017; Tripathy et al., 2017) wordt dit aspect niet besproken. In het onderzoek naar synthetische imitaties van bekerplantbladeren als anti-biofouling oppervlak (e.g. Epstein et al., 2012) wordt een levensduur van meer dan een jaar als kritische uitdaging genoemd.

### 2.3.3 Veiligheid

*'Wat zijn de risico's voor degradatie van de microbiologische of chemische veiligheid? Wat is het risico op uitspoeling van nanodeeltjes en brengt dit veiligheidsrisico's mee?'*

Hedge et al. (2015) en Müller et al. (2017) geven grondige overzichten van de stand van wetenschap en techniek rond de veiligheid en milieu-impact van nanomaterialen. De belangrijkste conclusies die ze opsommen zijn: er zijn wel degelijk risico's gemoeid met sommige, maar niet alle nanomaterialen; er is een gebrek aan kennis over wanneer welke materialen een significant risico opleveren; generalisatie van materialen moet worden vermeden, producenten moeten per implementatie een grondige risicoanalyse maken; een gebrek aan kennis maakt het moeilijk voor producenten om een effectieve risico-analyse op te stellen. Vanuit het perspectief van drinkwaterbehandeling geven Gherke et al. (2015) aan dat er voornamelijk een wereldwijd gebrek is aan heldere regelgeving rond de risico's van nanomaterialen. Het Amerikaanse EPA en het Europese REACH reguleren nanomaterialen, maar hebben nog geen richtlijnen voor uitstoot of maximaal toegestane concentraties (Gherke et al., 2015; EPA, 2017). Cloutier et al. (2015) noemen de lange termijn impact van nanodeeltjes in antibacteriële coatings op milieu en gezondheid een van de belangrijkste openstaande vragen die grootschalige toepassing van dergelijke coatings in de weg staat.

### 2.3.4 Kosten en commerciële toepassingen

De kosten van grootschalige toepassing van een bepaald antibacterieel oppervlak hangen vooral af van de bijbehorende productietechniek. In de bestudeerde literatuur zijn tal van productietechnieken genoemd. Technieken om bactericiden en chemicaliën met anti-biofouling eigenschappen op het oppervlak te binden worden onder andere genoemd in Banjeree et al. (2011), Glinel et al. (2012), Campoccia et al. (2013), Cloutier et al. (2015) en Damodaran and Murthy (2016). Technieken voor aanpassing van de topografie van het oppervlak worden genoemd in onder andere Anselme et al. (2010), Banjeree et al. (2011), Serrano et al. (2015) en Tripathy et al. (2017). Een algemeen overzicht van technieken voor nanotechnologie vanuit de context van industriële toepassing wordt gegeven door Charitidis et al. (2014) en Müller et al. (2017). Bovengenoemde overzichten zijn wat betreft kosten echter veelal incompleet en kwalitatief van aard. Wel wordt vaak onderkend dat kosteneffectieve (en concurrerende) opschaling naar oppervlakken van meer dan een paar

vierkante centimeter een openstaande technische uitdaging is voor veel technieken, ook bijvoorbeeld in Gherke et al. (2015) en Elbourne et al. (2017).

Desalniettemin worden er in de literatuur ook verschillende commerciële toepassingen van nanotechnologische antibacteriële oppervlakken genoemd. Huang et al. (2016) geven een overzicht van commercieel toegepaste bactericide oppervlakken in de voedsel-, textiel- en medische industrie. Bixler en Bushan (2012) geven voor zowel chemische als topografische anti-biofouling coatings een overzicht van de toepassing in specialisaties zoals medische implantaten en wedstrijdzwempakken, maar ook van toepassingen op industriële schaal in bijvoorbeeld de bouw en scheepvaart. De totale marktomvang van de technieken besproken in deze studie was ongeveer \$600 miljoen US dollar in 2012 en wordt verwacht te groeien naar ongeveer \$6 miljard in 2020 (Futuremarkets, 2014). Dit alles geeft aan dat commerciële toepassing van veel verschillende technieken haalbaar is bij specifieke doorontwikkeling.

### 2.3.5 Discussie en conclusie

Voor geen van de bovenstaande aspecten van antibacteriële oppervlakken kon gemakkelijk een systematisch overzicht opgesteld worden op basis van de literatuur. Voor de aspecten 'veiligheid' en 'effectiviteit' wordt in de literatuur het ontbreken van een systematisch overzicht expliciet benoemd en toegewezen aan het feit dat het huidige onderzoek nog gefragmenteerd is. Overzichten voor de aspecten 'kosten' en 'levensduur' kunnen waarschijnlijk verkregen worden door de verschillende productietechnieken van antibacteriële oppervlakken met elkaar te vergelijken. Een dergelijk gedetailleerde vergelijking is niet gevonden in de literatuur en het uitvoeren een vergelijking viel buiten de strekking van dit onderzoek.

Het is duidelijk dat de ontwikkeling van veel verschillende antibacteriële oppervlakken nog in volle gang is. Het feit dat er al commerciële toepassingen bestaan suggereert dat ook een toepassing in drinkwaterleidingen binnen de technische mogelijkheden van nanotechnologie valt. Het is echter ook duidelijk dat kennis en ervaringen slecht overdraagbaar zijn van bestaande naar nieuwe toepassingen (in het bijzonder op het gebied van veiligheid). Een toepassing in het drinkwaterdistributienet zou waarschijnlijk van de grond moeten worden opgebouwd. Dit strookt met de conclusies van Charitidis et al. (2014) dat succesvolle toepassing van nanotechnologie tot op heden gepaard gaat met een nauwe samenwerking tussen onderzoek, industrie en eindgebruiker in een iteratief onderzoeks- en ontwikkelproces dat is afgestemd op één specifieke toepassing.

In het voorliggende literatuuronderzoek is geen volledig en kwantitatief overzicht verkregen van de haalbaarheid van de verschillende typen antibacteriële oppervlakken. Toch kunnen op inhoudelijke gronden wel uitspraken gedaan worden over welke technieken meer of minder veelbelovend zijn. Oppervlakken die gebruik maken van bactericiden zijn minder veelbelovend vanwege de risico's op bacteriële resistentie die door verschillende studies genoemd worden. De oppervlakken met bactericiden die uitlogen zijn met name onwenselijk, omdat het toevoegen van extra desinfectiemiddelen aan het drinkwater conflicteert met de bedrijfsfilosofie van de Nederlandse drinkwaterbedrijven (en nanomaterialen lijkt hiervoor ook een omslachtige manier te zijn). Chemische anti-biofouling technieken lijken op dit moment nog ver af te staan van een oppervlak dat intact blijft op tijdschalen van circa 100 jaar. Technieken die werken via de topografie van het oppervlak lijken daarom de beste optie. Met name de anti-biofouling oppervlakken lijken veelbelovend, omdat deze het minst specifiek zijn voor één bepaalde bacteriesoort. Elbourne et al. (2017) geven echter aan dat deze oppervlakken op de langere duur toch gekoloniseerd kunnen worden, en pleit daarom voor een hybride aanpak met een topografie die zowel kill-on-contact als anti-biofouling eigenschappen bezit. Op basis van het uitgevoerde literatuuronderzoek, wordt de hybride

aanpak als meest veelbelovende richting beschouwd voor ontwikkeling van een specifieke toepassing in het distributienet.

## 3 Randvoorwaarden

### 3.1 Inleiding

De introductie van nanomaterialen in het leidingnet is een substantiële ingreep met mogelijk verstrekkende gevolgen. In dit onderzoek werden experts binnen KWR geraadpleegd om vast te stellen of een dergelijke ingreep zou stroken met de huidige randvoorwaarden voor drinkwaterdistributie. Er is aandacht besteed aan de randvoorwaarden vanuit de huidige regelgeving, vanuit asset management en vanuit microbiologische en chemische waterkwaliteit en veiligheid. Geraadpleegd zijn:

- Anthony Verschoor (microbiologische veiligheid);
- Martin Meerkerk (wetgeving en richtlijnen);
- Patrick Bäuerlein (chemische veiligheid);
- Ralph Beuken (assetmanagement).

De experts zijn steeds gevraagd om een aantal vragen te beschouwen. De belangrijkste conclusies worden hieronder samengevat. De volledige set vragen en antwoorden zijn opgenomen in Bijlage I.

### 3.2 Belangrijkste bevindingen

- De chemische en toxicologische eisen voor materialen in contact met drinkwater besteden geen aandacht aan de mogelijke modificatie van eigenschappen die kan optreden wanneer deze materialen worden gevat in nanostructuren. Mogelijke schadelijke eigenschappen van nanotechnologie vallen daardoor momenteel in een blinde vlek van de regelgeving.
- De meerwaarde van nanotechnologie lijkt beperkt, omdat het probleem van nagroei beperkt lijkt. Ook de meerwaarde vanuit een eventuele reductie in stromingsweerstand zal gering zijn.
- Een eventuele reductie in biofilmvorming ten opzichte van die op de huidige kunststof leidingen is niet te meten met Duitse (VM) en Britse (MDOD) methoden, maar wel met de Nederlandse biomassa-productie potentie (BPP-)methode. De BPP-methode is als enige geschikt is om een eventuele reductie van biofilmvorming meetbaar te maken. Omdat twee andere normen geen meetbaar effect zullen opleveren, is de noodzaak voor verandering niet voort uit regelgeving.



## 4 Workshop nanostructuren op leidingwanden tegen nagroei

### 4.1 Inleiding

Dinsdag 11 september 2018 organiseerde KWR een workshop met experts van drinkwaterbedrijven (Dunea, Evides, PWN), leidingproducenten (Pipelife, Sabic, Wavin) en onderzoeksinstituten (Waterlaboratorium Noord, Kiwa Technology, KWR, Universiteit van Twente). Het doel van de workshop was om gezamenlijk - vanuit een brede verzameling perspectieven rond de productie en toepassing van leidingen - te kijken naar de mogelijkheden, randvoorwaarden en meerwaarde van het toepassen van nanotechnologie om biofilmvorming tegen te gaan. Hieronder volgt het verslag van de workshop.

### 4.2 Experts

Aanwezig waren:

- Johannes Akkerman (Wavin),
- Dirkjan van den Berg (Kiwa),
- Ralph Beuken (KWR),
- Mark Boerakker (Sabic),
- Jurgen Bosch (Dunea),
- Ralph Handstanger (Sabic),
- Peter Horst (PWN),
- Sjoerd Jansma (Kiwa),
- Henk de Kater (Evides),
- Karel van Laarhoven (KWR),
- Rob Lammertink (Universiteit Twente),
- Ed van der Marck (Dunea),
- Astrid Mous (Waterlaboratorium Noord),
- Wilco Sengers (Pipelife),
- Joost van Summeren (KWR),
- Jérôme Vachon (Sabic),
- Anthony Verschoor (KWR).

### 4.3 Presentaties en discussies

Joost opent de workshop met een introductie van het onderwerp en het project. Aansluitend wordt een voorstelronde gehouden. Hierin komt duidelijk naar voren dat nanotechnologie voor alle aanwezigen een nieuw onderwerp is, zeker met oog op toepassing in het leidingnet. Karel geeft een algemeen overzicht van biofilmremmende oppervlakken in de wetenschappelijke literatuur:

*Er zijn tal van uiteenlopende technieken om biofilmremmende oppervlakken te maken met nanotechnologie. Systematische overzichten en algemene regels voor productiekosten, levensduur en veiligheid per techniek zijn in de wetenschappelijke literatuur nog niet beschikbaar. Toch zijn er nanotechnologische, biofilmremmende technieken die commercieel en op grote schaal worden toegepast. Deze toepassingen illustreren dat het in kaart brengen en aanscherpen van veiligheid, duurzaamheid en productiekosten een integraal onderdeel*

*zal moeten zijn van de ontwikkeling van een specifieke oplossing voor een specifieke context. Dergelijke ontwikkelingsspanningen zullen zeker vereist zijn voor toepassing op leidingwanden.*

Naar aanleiding van de presentaties van verschillende deelnemers zijn de volgende punten naar voren gekomen en besproken:

- Imago en publieke opinie moeten beschouwd worden bij toepassing van nanotechnologie.
- Er is een sterke wens bij de waterbedrijven om nagroei in leidingen tegen te gaan. In het bijzonder worden als redenen genoemd:
  - vanwege klimaatverandering worden hogere temperaturen verwacht;
  - PE-leidingen hebben mechanisch de voorkeur (trekvast, aanleg van rol) maar worden afgewezen vanwege nagroei-risico;
  - verlagen risico bruinwaterklachten;
  - verlagen risico Aeromonas.
- De waterbedrijven zijn geïnteresseerd in innovatieve oplossingen hiervoor, mogelijk ook nanotechnologie. Voorwaarden zijn:
  - voldoen aan veiligheidseisen;
  - een (op termijn) sluitende businesscase;
  - geen negatieve invloed op andere materiaalparameters (bijv. sterkte).
- Levensduren die vergelijkbaar zijn met de levensduur van leidingen zijn wenselijk.
- De huidige veiligheidseisen voor leidingmaterialen kunnen geen garanties geven met betrekking tot nanomaterialen. Eisen moeten samen met het product ontwikkeld worden.
- De producenten van buizen volgen ontwikkelingen op het gebied van nanomaterialen, maar hebben bedenkingen met betrekking tot levensduur en inbedding in de bestaande productie.
- De totale ontwikkeling van product, veiligheidseisen en duurzaamheidstesten zou jaren kosten.

#### 4.4 Conclusies

Op basis van de workshop en drie parallelle brainstormsessies worden de volgende conclusies vastgesteld:

- Er is nog geen kant-en-klare oplossing voor drinkwaterbuizen met nanomaterialen. De ontwikkelingen op het gebied van nanomaterialen moeten voorlopig passief gevolgd worden. Nadenken over toepassing wordt een optie zodra er meer duidelijkheid is over veiligheid, kosten en levensduur.
- De waterbedrijven staan open voor pilots, want ze zien ook dat een passieve houding nooit de voor de drinkwaterpraktijk vereiste ontwikkelingen teweeg zullen brengen.
- Er zijn wellicht makkelijkere wegen om PE toepasbaar te maken in het Nederlandse leidingnet. Het heeft de voorkeur om die gezamenlijk na te streven alvorens een oplossing met nanotechnologie te zoeken. Er is besproken om uit te zoeken wat de achterliggende oorzaak is van de tijdens de aanbesteding van PE-leidingmaterialen geconstateerde verschillen in biomassa-productie potentie (BPP)-waarde van de verschillende leveranciers en zelfs van verschillende batches van dezelfde leverancier. Ook is er interesse om de BPP-waarde van PE met een binnenbekleding van teflon te vergelijken met reguliere PE-materialen.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Conclusies

De conclusies uit het in dit rapport beschreven onderzoek zijn gebaseerd op de uitkomsten van (1) een literatuuronderzoek, (2) een inventarisatie van randvoorwaarden door KWR-onderzoekers op het gebied van regelgeving, assetmanagement en microbiologische en chemische waterkwaliteit en (3) een workshop met experts van waterbedrijven, leidingproducenten en onderzoeksinstituten. De belangrijkste gevolgtrekkingen zijn als volgt samengevat:

- Er is op dit moment geen kant-en-klare oplossing voor drinkwaterleidingen met nanomaterialen. Hoewel bestaande ontwikkelingen de haalbaarheid van een toepassing voor drinkwaterleidingen suggereren, blijkt uit voorgaande ontwikkelingstrajecten dat kennis en ervaringen van bestaande naar nieuwe toepassingen slecht overdraagbaar zijn.
- Het nanotechnologische werkingsprincipe dat naar voren komt als het meest kansrijke om biofilmvorming op leidingwanden tegen te gaan, is het aanpassen van de oppervlaktetopografie van leidingwanden op nanoschaal. Specifieker, een hybride vorm met zowel kill-on-contact als anti-biofouling eigenschappen lijkt het meest veelbelovend. Met toepassing van alleen anti-biofouling eigenschappen is op lange termijn kolonisatie van het oppervlak te verwachten. Het werkingsprincipe van bactericide oppervlakken wordt als minder kansrijk ingeschat, vanwege aanwijzingen in de literatuur voor risico's op bacteriële resistentie. Dergelijke oppervlakken met uitlogende bactericiden zijn met name onwenselijk, aangezien de toevoeging van desinfectiemiddelen aan het drinkwater conflicteert met de bedrijfsfilosofie van de bij het BTO aangesloten waterbedrijven. Ook chemische anti-fouling technieken worden voorlopig niet kansrijk ingeschat, omdat de staat van ontwikkeling van deze technieken nog ver af te staat van de benodigde om een oppervlak intact te houden op tijdschalen van circa 100 jaar.
- Een systematisch overzicht ontbreekt in de literatuur voor de aspecten veiligheid en effectiviteit van antibacteriële oppervlakten, wat voortkomt uit de gefragmenteerde staat van de huidige wetenschappelijke inzichten.
- Voor een overzicht van de aspecten 'kosten' en 'levensduur' is waarschijnlijk een vergelijking van productietechnieken nodig. Een dergelijk gedetailleerde vergelijking is niet gevonden in de literatuur.
- Mogelijke schadelijke effecten van door nanotechnologie gemodificeerde eigenschappen van materialen vallen buiten de huidige regelgeving voor materialen in contact met drinkwater.
- Er is een sterke wens bij de waterbedrijven om PE-leidingen te gebruiken, vanwege mechanische voordelen (trekvast, aanleg vanaf rol) –voordelen die naar verwachting zwaarder gaan wegen in de toekomst vanwege klimaatverandering (denk aan zettingen door uitdroging van de bodem). De waterbedrijven zijn echter terughoudend in het toepassen van PE-leidingen in het distributienet vanwege risico's op microbiologische nagroei, *Aeromonas* en bruinwaterklachten, waarvan de effecten groter worden bij klimaatverandering.

## 5.2 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Op basis van dit onderzoek doet KWR de volgende aanbevelingen voor doorontwikkeling van nanomaterialen tegen biofilmvorming op drinkwaterleidingwanden:

- De ontwikkelingen op het gebied van nanomaterialen moeten voorlopig passief worden gevolgd. Nadenken over toepassing wordt een optie zodra er meer duidelijkheid is over veiligheid, kosten en levensduur. Een passieve houding zal echter nooit de voor de drinkwaterpraktijk vereiste ontwikkelingen teweeg brengen. Het uitvoeren van pilots is van belang en waterbedrijven staan hiervoor open.
- Gegeven de huidige stand van de wetenschap zijn er naar verwachting makkelijkere wegen om de nagroeipotentie van PE te reduceren dan met nanotechnologie. KWR beveelt aan deze na te streven in een vervolgonderzoek alvorens een oplossing met nanotechnologie te zoeken. De aanbeveling voor een vervolgtraject is om de achterliggende oorzaken te onderzoeken van de tijdens aanbesteding van PE-leidingmaterialen geconstateerde verschillen in BPP-waarden van de verschillende leveranciers en materiaalbatches van dezelfde leverancier met als doel om met een verbeterde productiemethode de BPP van PE te verlagen.
- Voor een succesvolle doorontwikkeling van nieuwe (nano)materialen voor drinkwaterleidingen wordt een nauwe samenwerking aanbevolen tussen onderzoek, industrie en eindgebruikers in een iteratief onderzoeks- en ontwikkelingsproces. In de literatuur is dit beschreven als een belangrijke succesfactor voor het overdragen van kennis naar nieuwe toepassingen (Charitidis et al., 2014).

## 6 Literatuur

- Anselme, K., Davidson, P., Popa, A.M., Giazzon, M., Liley, M., Ploux, L. (2010) The interaction of cells and bacteria with surfaces structured at the nanometre scale. *Acta Biomaterialia* 6:3824-3846.
- Banjeree, I., et al. (2011) Antifouling Coatings: recent developments in the design of surfaces that prevent fouling by proteins, bacteria and marine organisms. *Advanced Materials* 23:690-718.
- Bixler, G.D., and Bhushan, B. (2012) Biofouling: lessons from nature. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 370:2381-2417.
- Campoccia, D., et al. (2013) A review of the biomaterials technologies for infection-resistant surfaces. *Biomaterials* 34:8533-8554.
- Charitidis, C.A. et al. (2014) Manufacturing nanomaterials: from research to industry. *Manufacturing Review* 1:1-19
- Cloutier, M., et al. (2015) Antibacterial Coatings: Challenges, Perspectives, and Opportunities. *Trends in Biotechnology* 33(11):637-652.
- Damodaran, V.B., and Murthy, N.S. (2016) Bio-inspired strategies for designing antifouling biomaterials. *Biomaterials Research* 20:18
- De Kwaadsteniet, M., et al. (2011) Application of anotechnology in antimicrobial coatings in the water industry. *NANO: Brief Reports and Reviews* 6(5): 395-407.
- Elbourne, A., et al. (2017) Nano-structured antimicrobial surfaces: From nature to synthetic analogues. *Journal of Colloid and Interface Science* 508:603-616.
- Epstein, A., et al. (2012) Liquid-infused structured surfaces with exceptional anti-biofouling performance. *PNAS* 109-13182-13187.
- Futuremarkets (2014) Nanocoatings: the global market to 2024. *Nanotech Magazine* 7, Future Markets, inc., Edinburgh, UK
- Gehrke, I., Geiser, A., and Somborn-Schulz, A. (2015) Innovations in nanotechnology for water treatment. *Nanotechnology, Science and Applications* 8:1-17
- Gielgens, L., et al. (2017) nanonextnl - Netherlands nano/microtechnology research and innovation programme End term Report 2010-2016. M. Beukers and A. Polman.
- Glinel, K., et al. (2012) Antibacterial surfaces developed from bio-inspired approaches. *Acta Biomaterialia* 8:1670-1684.
- Graham, M.V., en Cady, N.C. (2014) Nano and microscale topographies for the prevention of bacterial surface fouling. *Coatings* 4:37-59.
- Green, J.-B.D., et al. (2012) Immobilized antimicrobial agents: a critical perspective. In: Mendez-Vilas, A. (Ed.) *Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances*. ISBN 978-84-939843-1-1, Formatex, Badojoz, Spain.

- Harmsen, D.J.H., Bertelkamp, C. & Cornelissen, E.R. (2017) Prestaties van op nanotechnologie gebaseerde membranen voor de verwijdering van organische microverontreinigingen. BTO 2017.037, KWR, Nieuwegein.
- Hasan, J., et al., (2013) Antibacterial surfaces: the quest for a new generation of biomaterials. *Trends in Biotechnology* 31(5):295-304.
- Hasan, J., et al. (2013b) Selective bactericidal activity of nanopatterned superhydrophobic cicada *Psaltoda claripennis* wing surfaces. *Applied Microbiology and Biotechnology* 97(20):9257-9262.
- Hedge, K., et al. (2015) Environmental hazards and risks of nanomaterials. In: Brar, S.K. et al. (Eds.) *Nanomaterials in the Environment*. ISBN: 9780784414088, ASCE, Reston, Virginia, U.S.A.
- Huang, K.-S., et al. (2016) Recent advances in antimicrobial polymers: a mini-review. *International Journal of Molecular Sciences* 17(9):E1578.
- NEN, 2015. Influence of materials on water for human consumption. Enhancement of microbial growth (EMG). European Standard NEN-EN 16421:2014.
- Müller, K., et al. (2017) Review on the processing and properties of polymer nanocomposites and nanocoatings and their applications in the packaging, automotive and solar energy field. *Nanomaterials* 7:1:47
- Pu, X., et al. (2016) Preparation, anti-biofouling and drag-reduction properties of a biomimetic shark skin surface. *Biology Open* 0:1-8
- Rigor, S., et al. (2018) Nanoscience-based strategies to engineer antimicrobial surfaces. *Advanced Science* 5(5):1700892.
- Serrano, C. et al. (2015) Nanostructured medical sutures with antibacterial properties. *Biomaterials* 53:291-300
- Tripathy, A., et al. (2017) Natural and bioinspired nanostructured bactericidal surfaces. *Advances in Colloid and Interface Science* 248:85-104.
- van der Kooij, D. and H. R. Veenendaal (2001) Biomass production potential of materials in contact with drinking water: method and practical importance. *Water Science & Technology: Water Supply* 1(3): 39-45.
- Van der Wielen, P. and L. Bereschenko (2016). Rol van leidingmateriaal bij groei van micro-organismen en opportunistische pathogenen, BTO 2016.022, KWR, Nieuwegein.
- Ware, C.S., et al. (2018) Marine antifouling behavior of lubricant-infused nanowrinkled polymeric surfaces. *ACS Applied Materials & Interfaces* 10:4173-4182.

# Bijlage I Bevindingen KWR-experts over de randvoorwaarden aan de toepassing van nanotechnologie

## Chemische waterkwaliteit

“Welke algemene randvoorwaarden en/of prestatie-indicatoren i.r.t. chemische waterkwaliteit zijn van belang? Zijn deze te kwantificeren, zodat fabrikanten ze kunnen gebruiken voorafgaand/tijdens het ontwikkelen van een nieuw nanomateriaal.”

Deze tekst laat goed zijn wat drinkwaterbedrijven moeten doen. Zo legt de overheid uit wat drinkwaterbedrijven moeten doen. Nano staat alleen genoemd i.v.m. filtratie. Dus, voor nanomaterialen zullen in eerste instantie de zelfde regels moeten gelden als voor alle materialen. Er wordt geen onderscheid gemaakt.

## Kwaliteitseisen voor drinkwater

De overheid stelt vast hoeveel stoffen en organismen maximaal in het drinkwater mogen voorkomen. De wettelijke kwaliteitseisen voor drinkwater staan in het Drinkwaterbesluit. Zo mag drinkwater maar heel kleine hoeveelheden lood bevatten (10 microgram per liter water) en zeer kleine hoeveelheden kwik (1 microgram per liter water). Deze eisen zijn gebaseerd op de Europese Drinkwaterrichtlijn. Om schoon en veilig drinkwater te krijgen, moeten drinkwaterbedrijven grondwater en oppervlaktewater op een voorgeschreven manier zuiveren.

## Eisen aan producten voor drinkwatervoorziening

Drinkwaterbedrijven en installatiebedrijven mogen alleen goedgekeurde producten, zoals leidingen en kranen, gebruiken bij de drinkwatervoorziening. En zij moeten deze producten op een bepaalde manier toepassen, zodat het drinkwater niet vervuild raakt. De regels hiervoor staan in het Drinkwaterbesluit (<http://wetten.overheid.nl/BWBR0030111/2015-11-28>), het Bouwbesluit (<https://rijksoverheid.bouwbesluit.com/Inhoud/docs/wet/bb2012>) en de Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening (<http://wetten.overheid.nl/BWBR0030279/2017-07-01>).

## Controle drinkwaterkwaliteit

Drinkwaterbedrijven moeten controleren of de kwaliteit van het geleverde drinkwater voldoet aan de kwaliteitsnormen uit het Drinkwaterbesluit. Zij rapporteren hierover aan de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT).

“Zijn nanomaterialen opgenomen in lijst met verboden stoffen? Zo ja, welke (overzicht of referentie)?”

Noch op de lijst van ZZS (zeer zorgwekkende stoffen) van het RIVM noch op de lijst Substances of very high concern (Echa) zijn nanomaterialen te vinden. Dit sluit uiteraard niet

uit dat elementen of verbindingen die in nanomaterialen worden gebruikt of waaruit nanomaterialen zijn gemaakt, op de ze lijsten kunnen staan.

### Microbiologische waterkwaliteit

“Welke algemene randvoorwaarden en/of prestatie-indicatoren i.r.t. microbiologische waterkwaliteit zijn van belang? Zijn deze te kwantificeren, zodat fabrikanten ze kunnen gebruiken voorafgaand/tijdens het ontwikkelen van een nieuw materiaal.”

Een mogelijk risico van nieuwe materialen is dat deze bevorderend werken op de groei van micro-organismen. Algemeen geldt de Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening (1 juli 2017). Hieronder vallen diverse normen om de gebruikte materialen te beoordelen. Omdat de microbiologische waterkwaliteit wordt bepaald door een zeer diverse gemeenschap, worden groeibevorderende eigenschappen van materialen beoordeeld op basis van simpele, vaak indirecte, bepalingen van de biologische activiteit. In de norm die hiervoor geldt, NEN-EN 16421 (NEN, 2015), kunnen drie verschillende methodes worden gebruikt om de groeibevorderende eigenschappen van niet-metalige materialen te beoordelen:

- In het Verenigd Koninkrijk is de BS (British Standard) DD82 (later BS9620) ontwikkeld [1982], welke de Mean Dissolved Oxygen Difference (MDOD) bepaling voorschrijft, een test waarbij de extra zuurstofopname in aanwezigheid van het desbetreffende materiaal wordt bepaald.
- In Duitsland (Arbeitsblatt DVGW W270 [1984]) wordt slijmvorming (biofilmvolume) gemeten op het materiaaloppervlak (VM).
- In Nederland is (mede door KWR) de biomassa-productiepotentiaal ontwikkeld (BPP-test, Van der Kooij & Veenendaal, 2001), gebaseerd op het ATP-gehalte in het water.

Deze bepalingen verschillen niet alleen in de meetmethode maar ook in de procestechnische details. De methodes en inzet ervan kunnen behoorlijk verschillen, en soms kunnen deze methodes naast of in plaats van elkaar gebruikt worden.

“Welke specifieke randvoorwaarden zijn er in relatie tot nagroei en biofilmvorming in het distributienet?”

Voor BPP geldt een beoordelingscriterium van 1000 pg ATP/cm<sup>2</sup>.

Indien de beoordelingscriteria, die gehanteerd worden bij de VM- en MDOD-testmethode, een aan het beoordelingscriterium voor BPP gelijkwaardig beschermingsniveau bieden, dan kunnen de testresultaten verkregen met de VM- of MDOD-methode gebruikt worden. Voor VM betreft dit het beoordelingscriterium van 0,05 ± 0,02 ml slijmvolume /800 cm<sup>2</sup>.

Voor elastomeren die toegepast worden als afdichtingsmateriaal in contact met drinkwater is nog geen BPP-criterium vastgesteld. Vooralsnog gelden hiervoor de beoordelingscriteria VM van 0,12 ± 0,03 ml slijmvolume /800 cm<sup>2</sup> en 0,20 ± 0,03 ml slijmvolume /800 cm<sup>2</sup> voor afdichtingsmaterialen met een respectievelijk groot en klein contactoppervlak met drinkwater.

“Is het nodig/nuttig het testtraject te integreren in de ontwikkeling van de materialen? Zo ja, waar moet op gelet worden?”

De nieuwste methode, de BPP-test, kan veel kleinere verschillen in activiteit meten dan de andere twee methodes. Hierdoor is al aangetoond dat er zelfs binnen hetzelfde type



kunststof grote verschillen in BPP kunnen voorkomen, niet alleen tussen verschillende fabrikanten maar ook tussen batches van dezelfde fabrikant (KWR, 2016).

Bij ontwikkeling van nieuwe materialen is het zeer wenselijk om dit te integreren in een testtraject waarin de microbiologische (na)groei wordt beoordeeld:

- Hierdoor kan in een vroeg stadium ge-evalueerd worden of het te ontwikkelen materiaal wel de beoogde functionaliteit heeft ten aanzien van microbiologische (na)groei.
- Om onvoorziene microbiologische risico's van het materiaal in te kunnen schatten is het zinvol om hier al in een vroeg stadium een beeld van te krijgen.
- Voor toelating op de markt zal het materiaal uiteindelijk toch beoordeeld dienen te worden op groeibevorderende eigenschappen.

Eerste testen zouden zich dienen te richten op zowel de nagroei-potentie van het materiaal in het algemeen, als op specifieke ziekteverwekkers (opportunistische pathogenen). Eerder KWR-onderzoek heeft namelijk uitgewezen dat sommige ziekteverwekkers zich in de biofilms bevinden, terwijl andere juist opkomen wanneer er weinig biofilm is.

De groeibevorderende eigenschappen van materialen zijn goed te onderzoeken in het laboratorium. Dit zegt echter nog weinig over het gedrag van het materiaal onder praktijkomstandigheden, waarin groeieigenschappen mede worden bepaald door de hydraulische omstandigheden (stroomsnelheid, effect van spuien. Hiervoor is het KWR In Vitro DIStributiesysteem (KIVODIS) ontwikkeld, waarin specifiek coupons van het te onderzoeken materiaal getest kunnen worden.

Het daadwerkelijke (hydraulische) gedrag van het materiaal en de interactie hiervan met de microbiologie kan alleen op pilot-(buis)schaal getest worden.

“Geef een globaal overzicht van lab)experimenten die nodig zijn om microbiologische risico's van een nieuw materiaal in te schatten (-> type en hoeveelheid van experimenten + duur van het hele testtraject).”

| Soort experiment                          | Doel  | Gebruikte methodes                             | Doorlooptijd (weken)                             |
|---|---|--|--|
| BPP-test (algemeen)                       | Bepalen nagroei-potentie micro-organismen op te onderzoeken materiaal onder statische (batch) omstandigheden                                    | ATP-bepaling                                   | 16   |
| <i>Aeromonas</i> -groeipotentie           | Bepalen nagroei-potentie <i>Aeromonas</i> op te onderzoeken materiaal onder statische (batch) omstandigheden                                    | ATP-bepaling, kweek, qPCR                      | 36 (start tegelijk met BPP)                      |
| Groeipotentie opportunistische pathogenen | Bepalen nagroei-potentie specifieke (opportunistische) pathogenen onder statische (batch) omstandigheden  | ATP-bepaling, qPCR                             | 16   |
| In-vitro-testen                           | Bepalen nagroei-potentie micro-organismen op te onderzoeken materiaal onder dynamische omstandigheden (KIVODIS), analyse microbiële gemeenschap | ATP-bepaling, Next Generation Sequencing (NGS) | 12 (afhankelijk van resultaten statische testen) |

|             |   |                      |   |
|-------------|---|----------------------|---|
| Pilottesten | (metabarcoding/metagenomics)<br>Bepalen nagroeipotentie micro-organismen in pilotbuizen van te onderzoeken materiaal onder realistische hydraulische omstandigheden | ATP-bepaling,<br>NGS | ? |
|-------------|---|----------------------|---|

### Assetmanagement

“Beschouw de keuze voor materialen als een kosten-batenafweging met meerdere factoren (o.a. kosten voor aanleg, vervanging/levensduur, reiniging, chemische en microbiologische veiligheid/waterkwaliteit). Stel nu dat NT-leidingen het risico op microbiologisch nagroei zouden reduceren tot nul. Hoe verhoudt deze meerwaarde zich tot de andere PI's (bijv. in een PRK-matrix, of uit te drukken in euro's?)”

- Dat is een voordeel, echter de vraag is of er daadwerkelijk meerwaarde valt te behalen boven PVC en huidig PE. Is aangegeven dat nagroei een probleem is, of is het vooral iets om rekening mee te houden?
- Een mogelijk voordeel kan zijn dat je leidingen glad en niet-permeabel kan maken. Dan zou je met kunststof werkend vanaf een rol kosten kunnen besparen.
- Bedrijven geven aan dat zij vooral kiezen op basis van kosten, met inachtneming van randvoorwaarden voor waterkwaliteit. Als er geen harde eis is om te komen tot reductie van nagroei, zullen zij er maar zeer beperkt extra geld tegenover willen zetten. Bij de toenemende vervangingsvraag zie je de focus op kosten zeker niet afnemen.
- De risicoreductie van een klein probleem tot een zeer klein probleem lijkt me beperkt t.o.v. de extra kosten.
- Ik zie wel meerwaarde als je NT kan inzetten om naast reductie van nagroei ook de sterkte te laten toenemen en daarmee het aantal lekkages kan verminderen. Dan nog steeds binnen strakke financiële randvoorwaarden.

“Stel dat de leidingweerstand afneemt vanwege een glad oppervlak, kan dit in NL bijdragen tot een substantiële besparing?”

De vraag hierbij is wat de afname is van de hydraulische weerstand. Die is van de meest gebruikte kunststoffen al betrekkelijk laag. Uit een rekenvoorbeeld dat ik bij de hand heb blijkt dat een reductie van de k-factor van 0,05 naar 0,01 een besparing van de weerstand oplevert van 4% in termen van kPa.

Energieverbruik is 0,5 kWh/m<sup>3</sup> (2015, kerngegevens Vewin), stel 40% transport en distributie. Dan geldt:  $0,5 * 1081 \text{ Mm}^3/\text{jr} = 430 \cdot 10^6 \text{ kWh/jr}$ . Stel prijs per m<sup>3</sup> is €0,20, dan totaal 86 M€. Een besparing van 4% bedraagt 3,5 M€ per jaar. Daar moet je dan wel 120.000 km leidingen voor vervangen.

“Wat zijn de huidige trends in de richting van recycling van leidingmateriaal? Zal het toepassen van extra materialen als coatings op de buiswand daarvoor een belemmering vormen?”

Meer dan de helft van de leidingen wordt gerecycled naar (voor een groot deel) nieuwe buizen (zie ook <https://www.bureauleiding.nl/bis-buizeninzamelsysteem/>). Er wordt hierbij

aangegeven dat leidingen heel aangeleverd moeten worden en dat vervuilingen met grond extra worden belast. Niet acceptabel zijn o.a.: verbindingen, folies, polyester. Kortom men wil de buizen zo schoon mogelijk verkrijgen. Als er nanotechnologie is toegepast dan zo veel mogelijk zonder toevoeging van andere materialen (als dat kan).

De toepassing van NT in leidingen lijkt me alleen haalbaar als je tegen zeer beperkte meerkosten dit kan inpassen in het huidige productieproces van kunststof buizen. Wellicht dat het verhaal over recycling nog wel te tackelen is met de gedachte dat vervanging van deze leidingen pas na 2120 zal plaatsvinden: 'dan zal er vast wel een passende techniek zijn'.

### Regelgeving

"Welke veiligheidsvoorschriften, regelgeving, praktijkcodes of keurmerken zijn van belang voor nieuwe materialen in contact met drinkwater?"

"Hoe wordt omgegaan met materialen waarvan de (lange-termijn) veiligheidsrisico's onbekend zijn? Wat is nodig (lab-test, e.d.) voorafgaand aan certificering en toepassing?"

### Publiekrechtelijke regelgeving voor producten die in contact (kunnen) komen met drinkwater of het daarvoor bestemde water

*Algemeen* (volgens De 'Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening' van 1 juli 2017 = een van de 4 ministeriële Regelingen onder het Drinkwaterbesluit)

Producten (materialen, chemicaliën en middelen) die in contact (kunnen) komen met drinkwater of het daarvoor bestemde water mogen geen stoffen afgeven in hoeveelheden die schadelijk kunnen zijn voor de gezondheid van de consument of anderszins de drinkwaterkwaliteit aantasten. Daartoe dienen die producten te voldoen aan de voorwaarden voor toxicologische, microbiologische en organoleptische aspecten, die zijn vastgelegd in de van kracht zijnde Ministeriële 'Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening'. Dit betekent dat de procedure voor het verkrijgen van een erkende kwaliteitsverklaring volgens die Regeling (conform de artikelen 19 en 20 van het Drinkwaterbesluit) met positief resultaat dient te zijn afgerond.

Producten die zijn voorzien van een kwaliteitsverklaring<sup>1</sup> die is afgegeven door bijvoorbeeld een buitenlandse certificatie-instelling, mogen ook in Nederland worden toegepast, mits deze kwaliteitsverklaring door de Minister gelijkwaardig is verklaard aan de kwaliteitsverklaring zoals die wordt bedoeld in de Regeling.

#### Cementgebonden producten

De Regeling verwijst voor cementgebonden producten uitsluitend naar de 'common approach' zoals die is opgesteld door vier betrokken Europese lidstaten ('4MS', 'four member states') met inbegrip van een positieve lijst voor stoffen ten behoeve van die producten.

Bij het vervaardigen van betonnen constructies mogen technologische hulpmiddelen (ontkistingsmiddelen en curing compounds) worden ingezet. Ook deze middelen dienen over

---

<sup>1</sup> Een kwaliteitsverklaring afgegeven door een onafhankelijke certificatie-instelling in een andere lidstaat van de Europese Unie dan Nederland of in een andere staat die partij is bij de Overeenkomst betreffende de Europese Economische Ruimte, is gelijkwaardig aan een erkende kwaliteitsverklaring, voor zover naar het oordeel van de Minister uit de eerstgenoemde kwaliteitsverklaring blijkt dat wordt voldaan aan ten minste gelijkwaardige eisen als bedoeld in de 'Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening'.

een erkende kwaliteitsverklaring volgens de Regeling te beschikken. Dat geldt ook voor eventueel toe te passen betonreparatiemiddelen (bijvoorbeeld bij de afwerking) en voegmassa's.

#### Producten van metallische materialen

In Bijlage II is de wet- en regelgeving van enkele ijzerlegeringen in contact met drinkwater gedetailleerd beschreven.

#### Producten van koolstofstaal, gietijzer en staal met een beschermende zinklaag

De materialen koolstofstaal en gietijzer zijn zonder permanente beschermende laag niet geschikt voor gebruik in contact met drinkwater, zie 'Part B - 4MS Common Composition List', onderdeel III 'Steel/Iron', 2 'Carbon steel' respectievelijk 3 'Cast iron'. Constructies van deze materialen dienen aan de binnenkant daarom te zijn voorzien van een beschermende laag. Doorgaans zal dit een kunststof coating zijn. Hiervoor wordt verwezen naar het onderdeel kunststof producten.

Staal met een beschermende zinklaag wordt onder bepaalde condities voor de watersamenstelling wel toelaatbaar geacht, zie 'Part B - 4MS Common Composition List', onderdeel III 'Steel/Iron', 1 'Galvanised steel'.

Ten aanzien van staal met een beschermende zinklaag noemt de van toepassing zijnde compositielijst uitsluitend gegalvaniseerd staal<sup>2</sup>. Thermisch verzinkt staal wordt niet expliciet genoemd. Gezien het feit dat de samenstelling van de aangebrachte zinklaag wordt omschreven (100% zink met inbegrip van 0,01% of 0,02% verontreinigende zware metalen), wordt verondersteld dat ook dit staal in de compositielijst wordt bedoeld.

#### Producten van roestvaststaal

Alle RVS materialen volgens de Europese normen NEN-EN 10088-1 en NEN-EN 10283 zijn toelaatbaar voor constructies voor drinkwater(bereiding). Volgens de regelgeving is voor producten van die RVS materialen een certificatie-traject door de erkende certificatie-instelling volgens de Regeling vereist.

#### Kunststof producten

Voor het verkrijgen van een erkende kwaliteitsverklaring volgens de Regeling op kunststof constructies voor drinkwatertoepassingen wordt het volgende traject doorlopen:

- Vaststellen toelaatbaarheid:
  - Grond- en hulpstoffen worden toxicologisch geëvalueerd, waarbij de Europese positieve lijst wordt gehanteerd.
  - De toelaatbaarheid moet worden aangetoond door middel van onderzoek (met proefstukken), dat bestaat uit:
    - toxicologische aspecten: onderzoek naar de migratie van TOC en stoffen in de receptuur met een 'MTC' (Maximaal Toelaatbare Concentratie);
    - organoleptische aspecten: onderzoek naar de migratie van stoffen in verband met geur en smaak, kleur en troebelingsgraad;
    - microbiologische aspecten: nagroei via een van de methoden BPP (Nederland), VM (Duitsland) of MDOD (Verenigd Koninkrijk) volgens de Europese norm NEN-EN 16421.

<sup>2</sup> In het Engels worden voor 'galvanised steel' 'hot-dip galvanised steel' en 'electro-galvanised steel' onderscheiden: thermisch verzinkt staal en elektrolytisch verzinkt staal.

- Als de toelaatbaarheid is aangetoond, wordt een certificatie-traject door de erkende certificatie-instelling volgens de Regeling uitgevoerd, waarbij onder meer de receptuur wordt gecontroleerd.

“Hebben nanomaterialen een aparte status, of vallen deze simpelweg onder ‘nieuwe materialen’?”

*Producten van nanomaterialen*

Recent heb ik over het beoordeling en toelatingsbeleid van dergelijke producten navraag gedaan bij enkele leden van de zogeheten Commissie van Deskundigen Materialen en Chemicaliën, een door de overheid ingesteld gremium ter advisering van de Minister (die formeel de toelating van een product accordeert) en daarbij dus een essentiële rol vervult. Het onderwerp nanomaterialen blijkt in die Commissie een keer te zijn genoemd, maar niet meer dan dat. Een en ander impliceert dat het om een volledig nieuw onderwerp gaat qua regelgeving voor gezondheidskundige aspecten en helemaal van onder af aan moet worden opgepakt.

## Bijlage II Wet- en regelgeving van enkele ijzerlegeringen in contact met drinkwater

### Algemeen

§ 2.8 'Metallische materialen' van bijlage A 'Productomschrijving en beoordeling' van de herziene Regeling [2] omvat twee subparagrafen. De integrale tekst van § 2.8.1 is als volgt: *'Voor de beoordeling van metallische materialen geldt de common approach voor metallische materialen.'* In de laatste twee onderdelen van § 2.8.2 'Bijzondere bepalingen' wordt beargumenteerd waarom metalen niet worden onderzocht op organoleptische respectievelijk microbiologische aspecten.

De common approach voor metallisch materialen waarnaar in de Regeling wordt verwezen, is te vinden op de 4MS-website (<https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/water/drinking-water/distributing-drinking-water/approval-harmonization-4ms-initiative>) die namens de participerende Europese lidstaten wordt beheerd door het Duitse Umwelt Bundesamt (UBA). Het gaat om twee documenten ('Part A - Procedure for the Acceptance' [3] en 'Part B - 4MS Common Composition List' [4]) die beiden zijn voorzien van het opschrift 'Acceptance of metallic materials used for products in contact with drinking water'. Op de voorkant van beide documenten komt onder meer de volgende tekst voor:

*'France, Germany, the Netherlands and the United Kingdom (4MS) work together in the framework of the 4MS Common Approach as laid down in the Declaration of Intent (January 2011). This common approach aims for convergence of the respective national approval schemes for materials and products in contact with drinking water. The 4MS have adopted Part A of this document as a common basis for implementing the concept of accepting metallic materials in their national regulations. The document is subject to revisions agreed by the 4MS. Part B of this document includes a Composition List of metallic materials accepted in all of the 4MS following the procedure described in Part A.'*

Deel B van de common approach voor metallische materialen in contact met (drink)water betreft een 'compositielijst' met geaccepteerde materialen. In het navolgende wordt ingegaan op enkele relevante legeringen op basis van ijzer, onderscheiden in niet-roestvast en roestvast.

### Ijzerlegeringen, niet-roestvast

Onderdeel III van Part B - 4MS Common Composition List [4] is getiteld 'Steel/Iron'. Hoofdstuk 1 daarvan heeft betrekking op 'Galvanised steel'. § 1.3 heeft betrekking op 'Accepted Alloys'. Uit die paragraaf blijkt dat gegalvaniseerd staal mag worden toegepast voor alle productgroepen als het voldoet aan de nader omschreven eisen ten aanzien van de waterkwaliteit.

Hoofdstuk 2 'Carbon Steel' van onderdeel III stelt ten aanzien van 'Carbon Steel for pipes and tanks' aan het begin het volgende: *'Carbon steel without permanent protective layers is not suitable for use in contact with drinking water.'* Koolstofstaal zonder permanente

beschermende laag wordt binnen de common approach dus niet geschikt geacht voor gebruik in contact met (drink)water.

Aan het begin van hoofdstuk 3 'Cast iron' is er een alinea 'Cast iron for pipes and tanks'. De integrale tekst van die alinea luidt: '*Cast iron without permanent protective layers is not suitable for pipes and fittings in contact with drinking water.*' Ondanks de titel van dit hoofdstuk worden tanks in de eigenlijke tekst (gietijzer wordt niet geschikt geacht voor gebruik in contact met (drink)water) niet genoemd.

### Roestvaststaal

De complete en ongewijzigde tekst van hoofdstuk 4 'Stainless steel' is als volgt. '*Stainless steels according to EN 10088 and EN 10283 can be applied for all product groups (A-D).*

#### *Restrictions:*

*Some stainless steels show a higher probability of occurrence of local corrosion (e.g. pitting or crevice corrosion) caused by the contact with certain drinking waters or in case of disinfection with high chlorine concentrations. For this purpose EN 16056 can be used to compare the passivity behaviour of the different stainless steel grades.'*

Roestvaststalen materialen volgens de Europese normen EN 10088 en EN 10283 mogen volgens de common approach worden ingezet voor alle drinkwatertoepassingen, dus met inbegrip van de behandeling en opslag van (drink)water. De EN 10088 blijkt een normenserie van vijf delen te zijn. De delen 2 tot en met 5 hebben betrekking op 'technische leveringsvoorwaarden' van verschillende producten. In deel 1 ([NEN-EN 10088-1](#)) worden de verschillende soorten RVS in een lijst weergegeven. De norm [NEN-EN 10283](#) heeft betrekking op corrosievast gietstaal.

RVS materialen die onder bepaalde condities lokaal corrosie vertonen, kunnen op passiviteit worden getest aan de hand van de Europese norm [NEN-EN 16056](#).