



Peter van Thienen, KWR Watercycle Research Institute  
 Roberto Floris, KWR Watercycle Research Institute  
 Sidney Meijering, KWR Watercycle Research Institute  
 Jan Vreeburg, KWR Watercycle Research Institute

# Gedrag van deeltjes in drinkwater tijdens transport in beeld gebracht

**Ondanks de hoge kwaliteit van het Nederlandse drinkwater komt er incidenteel bruin water uit de kraan. Dit wordt veroorzaakt door het opwerpen van deeltjes in het distributienet die gedurende langere tijd op de buiswand zijn opgehoopt. Deze ophoping blijkt voornamelijk moeilijk exact te voorspellen, ondanks recente stappen in de goede richting. Nieuw theoretisch onderzoek laat zien dat turbulente processen hierbij lokaal een belangrijke rol kunnen spelen. KWR ontwikkelde een methode om het effect van deze processen in beeld te brengen. Kennis van de fundamentele processen is noodzakelijk om tot een goede modelmatige beschrijving te komen. Met deze modellen kunnen uiteindelijk kwetsbare gebieden worden geïdentificeerd, zodat gericht maatregelen kunnen worden genomen.**

Bestaande modellen voor de ophoping van deeltjes in het leidingnet gaan uit van het ontstaan van de deeltjes op de wand in gietijzeren leidingen<sup>1)</sup> of van afzetting overheerst door gravitationele uitzakking van de deeltjes<sup>2),3)</sup>. Het is bekend dat in Nederland de deeltjes met name uit de zuivering komen en dat het distributienet slechts voor een klein deel uit gietijzer bestaat. Eerdere laboratoriumexperimenten hebben afzettingspatronen rondom de buiswand opgeleverd die niet met gravitationele processen zijn te verklaren<sup>4)</sup>. Deze observaties leidden tot het zoeken naar

alternatieve en/of aanvullende processen die het afzetten van deeltjes kunnen verklaren.

## Turbulente processen

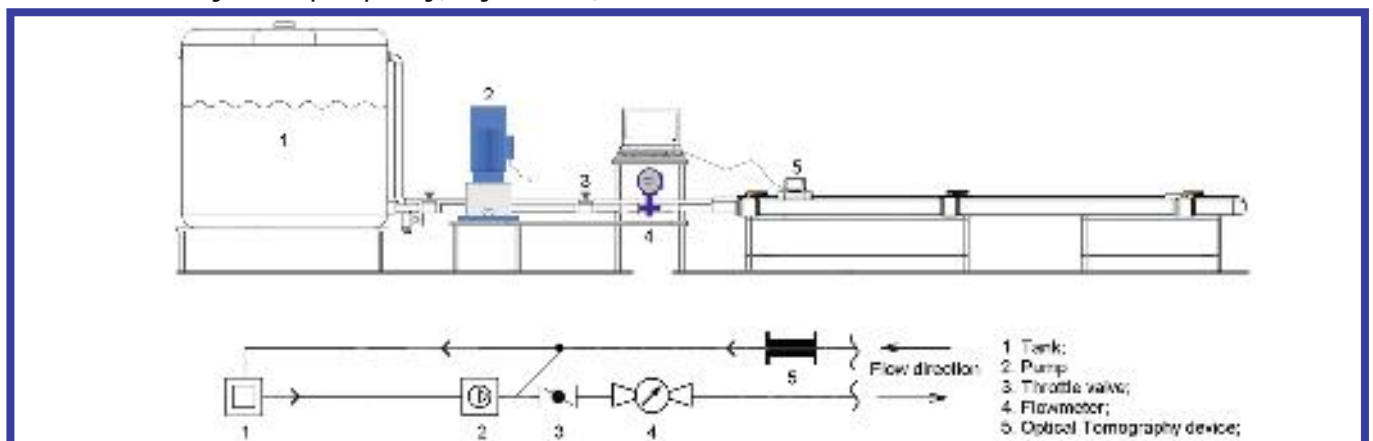
Vanuit de theorie is voorspeld<sup>5)</sup> dat twee turbulente processen een grote rol kunnen spelen bij de afzetting van deze deeltjes (zie kader op de volgende pagina). Het eerste proces is turbulente diffusie, waarbij kleinschalige wervelingen die onderdeel uitmaken van het turbulente stromingsveld, zorgen voor een verspreiding van deeltjes over concentratiegradiënten, analoog aan Brownse diffusie. Hierbij worden concentratieverschillen verminderd. Het tweede

proces is turboforese. Dit proces zorgt voor een nettotransport van deeltjes van een gebied met een hoge naar een gebied met een lagere turbulentie-intensiteit. In het geval van waterleidingen komt dit neer op een transport van deeltjes naar de buiswand toe, hetgeen het proces mogelijk van belang maakt voor de afzetting van deeltjes. Het optreden van deze processen hangt sterk samen met de grootte van de deeltjes en de stroomsnelheid van het water.

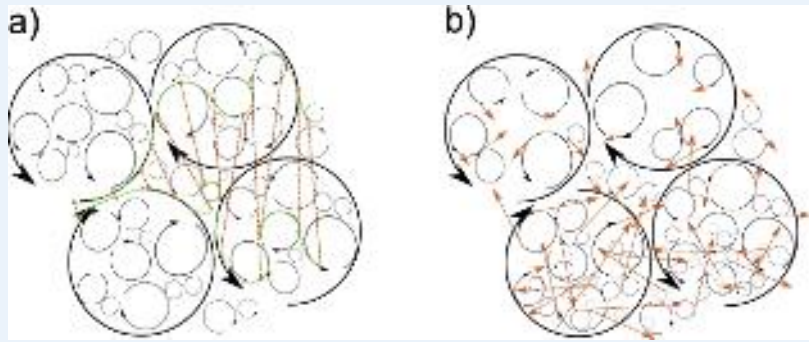
## Proefopstelling

In de proefhal van KWR in Nieuwegein is een stuk transparante buis (perspex) in een recir-

Afb. 1: Schematische weergave van de proefopstelling (overgenomen uit<sup>7)</sup>).



Schematische weergave van relevante turbulente processen: turbulente diffusie (a) en turboforese (b). Gekromde pijlen geven wervelingen in het turbulente stromingsveld weer. In de linkerfiguur volgen we een paar deeltjes van links naar rechts (paden in groen weergegeven). Aanvankelijk liggen de deeltjes dicht bij elkaar, maar doordat ze ieder hun eigen wervelingen in het stromingspatroon van het water volgen, groeit hun onderlinge afstand (rood gestreepte lijn), hoewel ze zo nu en dan wel weer even naar elkaar toe bewegen. Bij turboforese (b) volgen de deeltjes het lokale stromingspatroon niet zo nauwkeurig maar gaan zij in enige mate hun eigen weg. Zij kunnen echter wel door sterke lokale wervelingen gelanceerd worden. Doordat deeltjes vanuit hoogturbulente zones (lange



instantane snelheidsvectoren in rood weergegeven) harder en verder weg gelanceerd kunnen worden dan vanuit laag-turbulente gebieden (korte vectoren), ontstaat een nettotransport van deeltjes naar

de laagturbulente gebieden. Let op dat de hier weergegeven statische wervelingen geen recht doen aan het continu veranderende patroon van turbulente stroming (overgenomen met toestemming uit <sup>5)</sup>).

culatiecircuit aangesloten op een tank, een pomp en een stromingsmeter (zie afbeelding 1). Hiermee kan het gedrag van deeltjes in stromend water visueel worden bestudeerd als functie van de vrij instelbare stroomsnelheid. De verdeling van deeltjes in het water in doorsnede is echter niet gemakkelijk te zien, vooral bij hogere stroomsnelheden. Om goed te kunnen zien waar de deeltjes zich precies bevinden in de dwarsdoorsnede van het stromende water, is meer nodig. Hiertoe is een meettechniek ontwikkeld.

### Optische tomografie

De techniek is te vergelijken met medische tomografietechnieken, zoals de CT-scan. Hierbij wordt op basis van doordringing van röntgenstraling in diverse richtingen een beeld gegenereerd van de weefseldichtheden en daarmee structuren in het inwendige van een patiënt. In diverse richtingen wordt licht gezonden door een 'plakje' van de transparante buis gevuld met stromend water met gesuspendeerde deeltjes<sup>6)</sup> (zie kader). Door overall rondom de buis te meten hoeveel licht

er niet door gesuspendeerde deeltjes wordt geblokkeerd, ontstaat met behulp van een mathematische inversiemethode een beeld van de lichtabsorptie en daarmee van de concentratie van de gesuspendeerde deeltjes. Aangezien met licht wordt gewerkt, spreken we van optische tomografie.

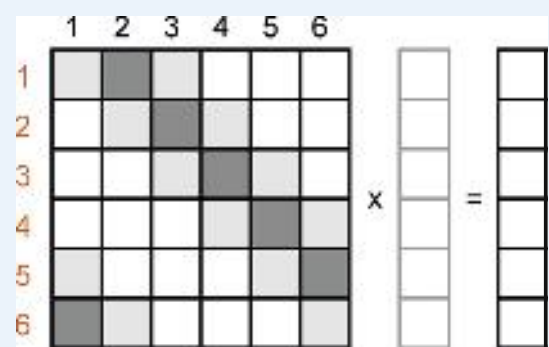
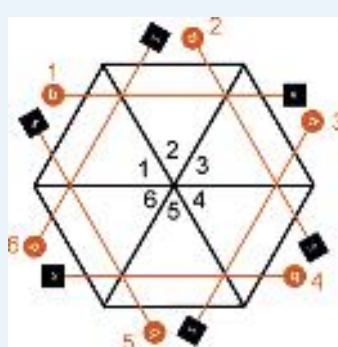
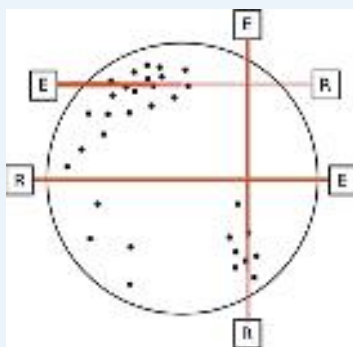
### Laboratoriummetingen

De ontwikkelde techniek wordt in eerste instantie toegepast om theoretische voorspellingen over het optreden van turboforese<sup>5)</sup> te toetsen in het laboratorium. Afbeelding 2 toont bij welke stroomsnelheid en deeltjesgrootte volgens de theorie turbulente diffusie dominant (I) zou zijn en bij welke dit turboforese is (III; II is overgangsg gebied). Het laatste geval is herkenbaar doordat de deeltjes zich, in tegenstelling tot het eerste geval, preferent in de richting van de buiswand bewegen. Hierbij ontstaat een patroon van lage deeltjesconcentraties in het centrum van de buis en hogere concentraties langs de wand (let op dat de zwaartekracht de deeltjes naar beneden blijft trekken en

daarmee ook het patroon beïnvloedt). Dit patroon is duidelijk te zien in afbeelding 3. Bij lage snelheden worden de deeltjes met name over de bodem getransporteerd, waar we de hoogste concentratie waarnemen. Naarmate de stroomsnelheid wordt opgevoerd, verandert het beeld richting een (half)ringvormig patroon, hetgeen verklaard kan worden door het optreden van turboforese onder deze omstandigheden. Dit experiment is weergegeven in afbeelding 2 met een groene horizontale lijn, beginnend in de overgangszone (II) en eindigend in de turboforese-zone (III). Om het proces verder te onderzoeken en ook andere delen van afbeelding 2 experimenteel te verifiëren, worden nieuwe experimenten, onder andere met kleine deeltjes, uitgevoerd.

### Distributienet

De deeltjes die in het distributienet worden gevonden, zijn in de regel kleiner dan 30 micrometer. Voor deze deeltjes en karakteristieke snelheden in het distributienet verwachten we op basis van de theorie en



Het principe van optische tomografie.

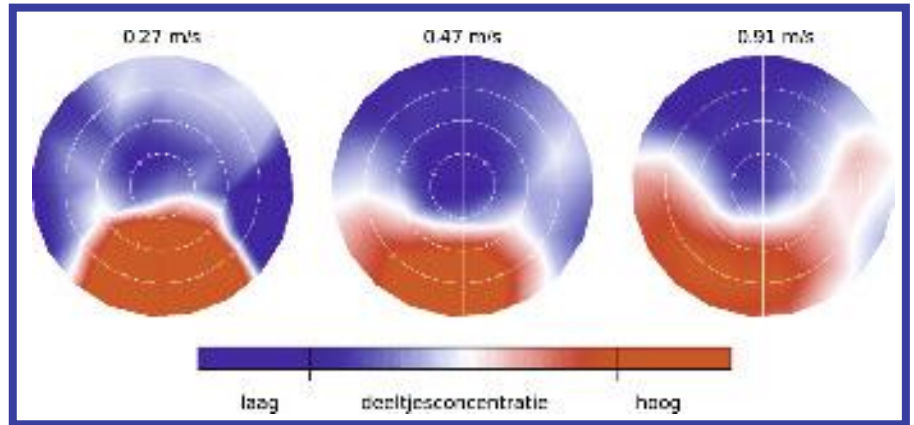
- De hoeveelheid licht die van een bepaalde lichtbron E op een bepaalde sensor R valt, hangt af van de hoeveelheid licht die onderweg wordt geabsorbeerd en/of verstrooid.
- De te verkrijgen sectie wordt in (driehoekige) elementen opgedeeld (1-6). Voor iedere lichtstraal van een bron (b) naar een ontvanger (s) wordt bepaald hoe lang het pad van deze straal door ieder individueel element is.
- De padlengtes worden samengebracht in een matrix, die, na vermenigvuldiging met een vector waarin de lichtabsorptiecoëfficiënten voor alle elementen staan, de totale lichtabsorptie voor iedere

straal oplevert. Aangezien we de matrix kennen (deze stellen we zelf op) en de lichtabsorptie uit de metingen wordt afgeleid, kunnen we via een inversie de lichtabsorptiecoëfficiënten verkrijgen. Deze absorptiecoëfficiënten zijn een directe maat voor de deeltjesconcentraties. Let op dat bij een directe inversie het resultaat door ruis wordt overheerst, zodat een subtielere methode noodzakelijk is. Het bovenstaande is een vereenvoudigde weergave. In de werkelijke implementatie wordt onder andere gewerkt met continu variërende absorptiecoëfficiënten die gedefinieerd zijn op de hoekpunten van de elementen, met een groter aantal elementen en lichtstralen en met (meervoudige) reflectie en refractie van licht.

de experimentele bevestiging hiervan dat turboforese geen noemenswaardige rol speelt bij het afzetten van deeltjes (zone A in afbeelding 2). In transportleidingen echter, waar grotere deeltjes voorkomen en hogere snelheden optreden (zone B in afbeelding 2), draagt turboforese hier naar verwachting wel aan bij.

**Conclusie**

De ontwikkelde methode helpt ons om processen die betrokken zijn bij de afzetting van deeltjes in het leidingnet beter te begrijpen. Hierdoor kunnen we beter modellen maken die op een goedkope en flexibele wijze kunnen worden toegepast om preventieve maatregelen tegen het vervuilen van het net te kunnen nemen.



Afb. 3: Deeltjesconcentratiepatronen bij drie verschillende stroomsnelheden.

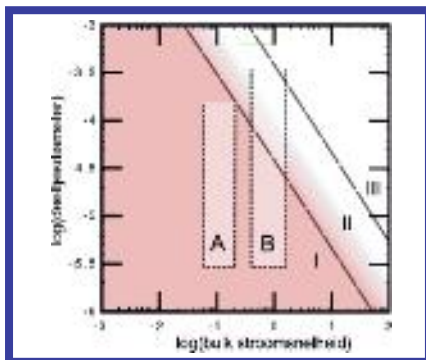
De methode is met name geschikt voor het laboratorium en zal worden ingezet bij nader onderzoek om de deeltjesafzettingssnelheid van turboforese te kwantificeren. Hiernaast kan zij een rol spelen bij experimenten rond de opwerveling van sediment.

**LITERATUUR**

- 1) Boxall J., P. Skipworth en A. Saul (2001). A novel approach to modelling sediment movement in distribution mains based on particle characteristics. In: Proceedings of the computing and control in the water industry conference, water software systems: theory and applications. De Montfort University, Groot-Brittannië.
- 2) Ryan G., M. Mathes, G. Haylock, A. Jayaratne, J. Wu, N. Noui-Mehidi, C. Grainger en B. Nguyen (2008). Particles in water distribution systems.

Tech. Rep. 33. Cooperative Research Centre for Water Quality and Treatment.

- 3) Vogelaar A. en M. Blokker (2011). Australisch model voor sedimentophoping getoetst op Nederlands drinkwaternet. H<sub>2</sub>O nr. 6, pag. 36-39.
- 4) Vreeburg J. en J. Boxall (2007). Discolouration in potable water distribution systems: a review. Water Research 41, pag. 519-529.
- 5) Van Thienen P., J. Vreeburg en M. Blokker (2011). Radial transport processes as a precursor to particle deposition in drinking water distribution systems. Water Research 45, pag. 1807-1817.
- 6) Van Thienen P., R. Floris en S. Meijering (2011). Application of optical tomography in the study of discolouration in drinking water distribution systems. Drink. Water Eng. Sci. Discuss. nr. 4, pag. 39-59.



Afb. 2: Deeltjesgedrag als functie van stroomsnelheid en deeltjesdiameter: I) turbulente diffusie; II) overgangzone; III) turboforese. Let op dat bij te lage stroomsnelheden geen turbulentie optreedt.

advertentie

# Duurzaam beheer van grondwater



Schlumberger is één van s'werelds grootste dienstverleners voor de olie- en gasindustrie. In de watersector opereren wij onder de naam Schlumberger Water Services (SWS).

SWS biedt een compleet scala aan technologie en advies op het gebied van grondwater management. Deze geïntegreerde oplossingen hebben we succesvol toegepast in de volgende werkvelden:

- Interpretatie van de ondergrond (seismiek, geofysische logging)
- Exploratie en optimalisatie grondwateronttrekkingen
- Ondergrondse opslag van water (Aquifer storage en recovery)
- Monitoring grondwaterkwantiteit en -kwaliteit
- Data management
- Grondwatermodelstudies

[www.swstechnology.com](http://www.swstechnology.com)