



UF-membraansysteem, drinkwaterproductiecentrum De Gavers

## AUTEURS

Danny Harmsen  
(KWR)Emile Cornelissen  
(KWR en UGent)Han Vervaeren  
(De Watergroep)Stefan Koel  
(Pentair X-Flow)

## NIEUWE MEETMETHODE VOOR KWALITEITSBEWAKING VAN UF-MEMBRAANSYSTEMEN

**Membranen worden steeds vaker en op steeds grotere schaal toegepast bij drinkwaterbereiding. Ultrafiltratie (UF) bijvoorbeeld verwijdert schadelijke micro-organismen zoals bacteriën en virussen. Bij membraanbeschadigingen kunnen vooral virussen het membraan passeren. Dat is natuurlijk ongewenst. Hoe kun je op praktisch schaal aantonen en monitoren dat de membraaninstallatie daadwerkelijk effectief virussen tegenhoudt?**

De verwijderingsefficiëntie van UF-membranen kan onder andere bepaald worden door de troebelheid van het aangevoerde en het gefilterde water te meten. Deze methode is echter niet gevoelig genoeg om in de drinkwaterbereiding de effectiviteit van virusverwijdering en dus de betrouwbaarheid (integriteit) van de UF-membranen te monitoren. In oppervlaktewater is de concentratie virussen namelijk wel 10 tot 100 keer hoger dan die van bacteriën. De verwijderingsefficiëntie moet dus ook hoger zijn. Om vast te stellen of UF-membranen (nog) aan de gestelde eisen voor virusverwijdering voldoen, is daarom een gevoelige meetmethode nodig. Om die reden kunnen voor de metingen zogenaamde virussurrogaten (bijvoorbeeld MS2-fagen) worden toegevoegd. Dat is bruikbaar voor tests

op laboratorium- of pilotschaal, maar is op praktijkschaal ongewenst vanwege de kosten en de mogelijk negatieve invloed op de drinkwaterkwaliteit.

### Natuurlijke virussen

KWR heeft een gevoelige (gepatenteerde) methode ontwikkeld om natuurlijke virussen uit oppervlaktewater te identificeren. Deze *natural virus* (NV)-methode [1, 2] gebruikt natuurlijke virussen als indicatoren voor de betrouwbaarheid ('integriteit') van het UF-membraan, door het inschatten van het virusverwijderingsrendement.

De mate van verwijdering van micro-organismen, waaronder virussen, wordt uitgedrukt met de term *log reduction value* (LRV). Het is een logaritmische schaal: 6 LRV betekent dat van elke 1 miljoen virussen er 1 overleeft, bij 5 LRV overleeft er 1 op de 100.000.

Afhankelijk van de virusconcentratie in het aangevoerde water haalt de NV-methode een LRV van 7 of meer [2], met kleine monstervolumes en zonder surrogaatvoegingen. De methode is op lab- en pilotschaal getest op geschiktheid voor het systematisch monitoren van de integriteit van UF-membranen. Daarna is de praktische toepasbaarheid van de methode op praktijkschaal getest. Op basis van eerder onderzoek [2] is gekozen voor de in oppervlaktewater veel voorkomende virusmarkers NV2247, NV2310 en NV2314. Van deze drie had NV2310 consequent de hoogste concentratie in het voedingswater ( $1 \times 10^8$  V/L). Daarom zijn de resultaten van deze virusmarker vergeleken met state-of-the-art-troebelheidsmetingen.

### Labtest invloed vezelbeschadiging

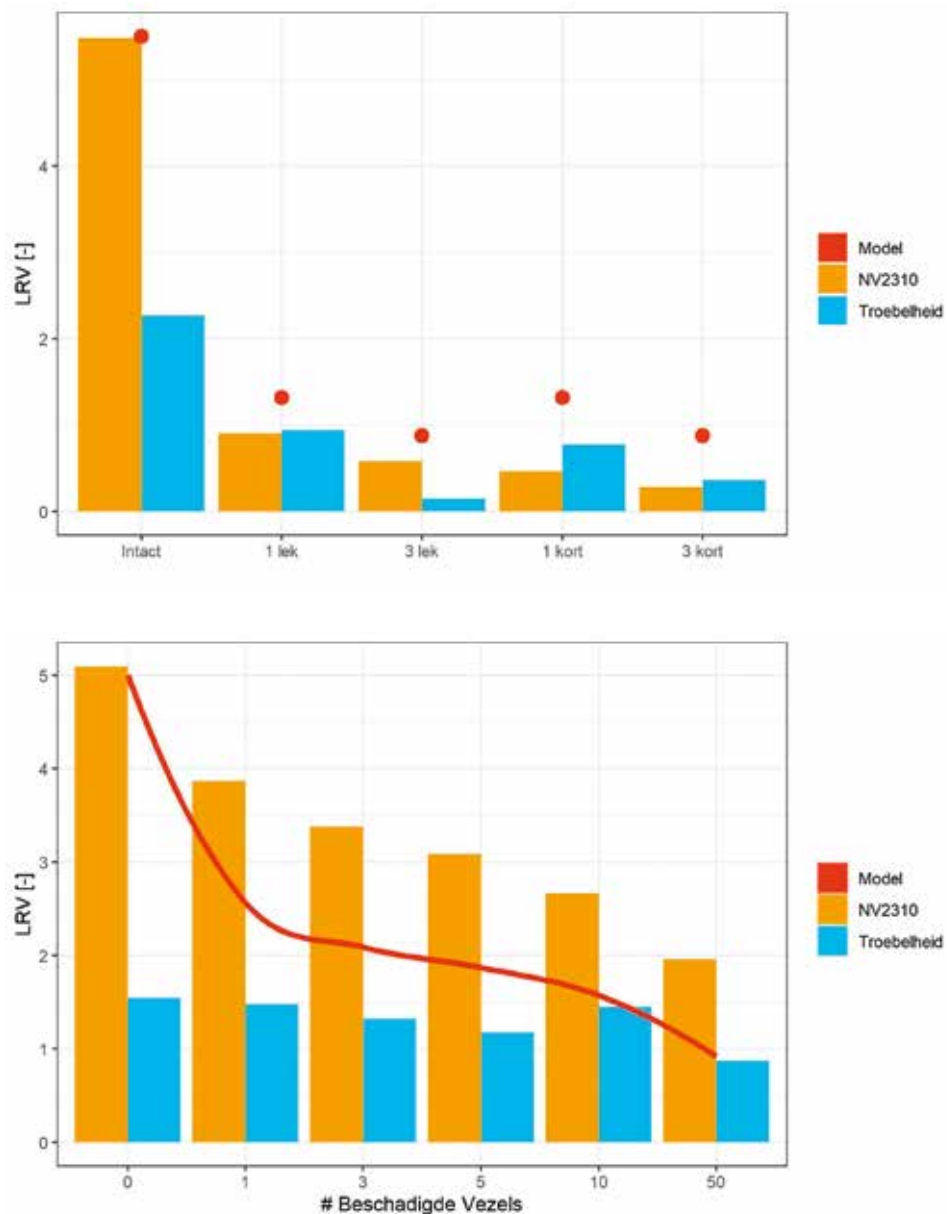
Om de invloed van vezelbreuk op de integriteit van UF-membranen te bepalen hebben KWR en membraanproducent Pentair X-Flow testen gedaan met kleine UF-modules (een met 120 vezels, een van  $0,08 \text{ m}^2$ ) waarvan de vezels opzettelijk en systematisch werden beschadigd. De invloed van vezelbreuk werd berekend met een eenvoudig Excel-model, gebaseerd op bestaande kennis. Hierin is onder andere het effect van vezelbreuk op de permeabiliteit van de vezel meegenomen. Daarnaast was de aanname dat voor virussen de LRV van een kapotte vezel 0 is en voor een intacte vezel 5. Het model berekende dat bij één beschadigde vezel op 120 vezels de LRV sterk daalt, van 5 naar 1,3. Dezelfde berekeningen zijn ook uitgevoerd voor meer beschadigde vezels.

Vervolgens werden in het lab intacte modules en modules met één of drie beschadigde vezels getest (in tweevoud). Twee verschillende vezelbeschadigingen zijn bestudeerd: een lekke vezel (boorgaatje van 0,5 mm) en een kortere vezel (als simulatie voor volledige vezelbreuk). De voeding bestond uit Lekkanaalwater (NV2310  $1 \times 10^8$  V/L). Voor en na de UF-module zijn de natuurlijke virusconcentraties en de troebelheid bepaald. De intacte modules geven een LRV tussen de 5 en 6 voor NV2310 (afbeelding 1, boven), de troebelheidstest resulteerde in een LRV van slechts 2,2. Beschadiging van één vezel met een gaatje leidde tot een LRV-daling richting 1 voor NV2310. Meer beschadigingen leidden tot verdere LRV-daling. De LRV-waarden zijn in lijn met de door het Excel-model berekende daling, al voorspelde het model over de hele range een iets hogere LRV (0,4 LRV), waarmee het model de LRV systematisch overschat.

Daarnaast leidt het inkorten ('breken') van een vezel tot een grotere LRV-verlaging dan beschadiging met een gaatje. De beschadiging van één vezel met een gaatje is echter al voldoende om een significante LRV-daling aan te tonen met behulp van de NV-methode. De troebelheidsmeting laat vergelijkbare LRV's zien voor de verschillende beschadigingen: een waarde rond 1 bij beschadiging van één vezel met één gaatje. Een intacte vezel geeft echter een LRV van 2,2 waardoor de troebelheidsmeting een veel kleinere daling lijkt te geven dan de NV-methode.

### Pilottesten invloed vezelbreuk

Ook voor een 8'' UF-module (18600 vezels,  $64 \text{ m}^2$ ) is de invloed van vezelbreuk op de LRV bepaald, op basis van de modelberekeningen en de resultaten van de labtesten (afbeelding 1 onderste grafiek). Bij één beschadigde vezel zagen we een sterke LRV-daling tot 2,5. Vervolgens zijn met een aanboring in de drukbuis de vezels in de UF-module systematisch doorgesneden. Na iedere aangebrachte beschadiging werd de aanboring afgedicht en werd er een test gedaan van drie filtratiecycli: telkens 20 minuten filtreren en een halve minuut (terug) spoelen om eventuele vervuiling te verwijderen. Monstername van de natuurlijke virussen vond plaats halverwege de tweede en derde filtratiecyclus. Testen werden uitgevoerd met de intacte module en met 1, 3, 5, 10 en 50 doorgesneden vezels. Opnieuw bestond de voeding uit water uit het Twentekanaal met  $3 \times 10^7$  NV2314 V/L. Naast de NV-analyses is ook de troebelheid gemeten voor en na de UF-module.



Afbeelding 1. LRV intacte en beschadigde UF- module, bepaald met NV2310, troebelheid en modelberekeningen. Boven voor kleine module (120 vezels), onder voor 8'' UF-module (64 m<sup>2</sup>)

Net als in het lab kan voor een intacte module 5 LRV (afbeelding 1 onderste grafiek) worden aangetoond. Bij doorsnijden van steeds meer vezels daalt de LRV tot 2; dit is in lijn met de modelberekeningen. Net als in het lab voorspelt het model ook nu een sterkere daling (tot 1,2 LRV). De troebelheidsmetingen tonen ook een afnemende LRV – van 1,5 naar 0,9 – maar de verschillen zijn significant kleiner dan met de NV-methode.

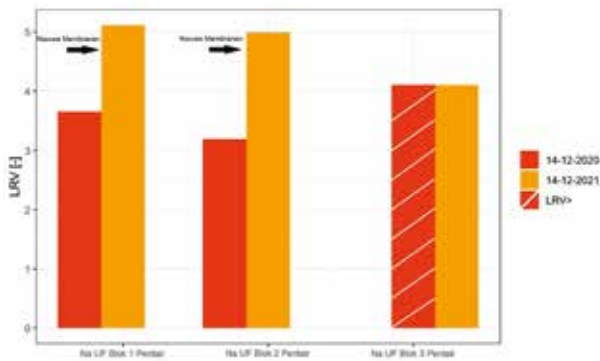
De modelberekeningen komen overeen met de testresultaten en kunnen worden gebruikt voor het voorspellen van trends met betrekking tot vezelbreuk. De berekeningen zijn echter gebaseerd op slechts enkele metingen. Het verdient aanbeveling om het model verder te optimaliseren met meer pilottesten, die bijvoorbeeld de invloed van een beschadigde vezel op de permeabiliteit bepalen

of verschillende typen UF-membranen bij verschillende watertypen testen.

#### En dan de praktijk

Gedurende anderhalf jaar werden praktijkmetingen gedaan met de NV-methode op het drinkwaterproductiecentrum (WPC) De Gavers (De Watergroep, België). Aan het begin en aan het einde van de testperiode werd gemeten aan drie UF-blokken van elk 40 membranen (100 m<sup>3</sup>/uur, Pentair X-Flow membranen). Tijdens de testperiode zijn de membranen van twee van de drie blokken na twaalf jaar gebruik vervangen door nieuwe Pentair X-Flow membranen.

Na vervanging van de membranen steeg de LRV tot 5 (afbeelding 2), ervoor was hij gedaald tot 3 (in blok 2).



Afbeelding 2. LRV NV2310 van drie blokken van de UF-praktijkinstallatie op drinkwaterproductiecentrum De Gavers. In blok 1 en 2 zijn tussentijds de membranen vervangen. Gearceerde balk: de maximaal aantoonbare LRV (in werkelijkheid mogelijk hoger).

Blok 3 werd niet vervangen en gaf bij start en einde van de meetperiode een LRV van 4. De werkelijke LRV bij de start kan hoger zijn – de meetmethode is hier beperkend gezien de kleinere hoeveelheden natuurlijk virus in het voedingswater op het moment van monsternamen. De virusconcentratie in de voeding kan namelijk variëren afhankelijk van de locatie en bijvoorbeeld seizoensinvloeden, met als gevolg dat de maximaal aantoonbare LRV fluctueert. Een LRV aan de start van de meetperiode van 3 à 4 voor de UF-blokken 1 en 2 suggereert 1 tot 3 vezelbreuken of vergrote poriën per membraanmodule (afgaande op voorgaande pilotschaaltesten). Op pilotschaal werden echter niet dezelfde membranen gebruikt, zodat verder onderzoek nodig is om deze conclusie te staven.

Aan de UF-membranen van WPC De Gavers wordt door de leverancier een LRV van 4 toegekend. De gemeten LRV's voldoen aan deze specificaties. We willen hier benadrukken dat de NV-methode geen uitspraak doet over de drinkwaterkwaliteit, zelfs niet als er een vermoeden is van vezelbreuk, aangezien de UF-membranen slechts een onderdeel zijn van de zuiveringsketen. De NV-methode kan echter wel ondersteunend zijn bij operationele beslissingen, bijvoorbeeld over het al dan niet vervangen van membraanmodules.

**Conclusies en betekenis voor de praktijk**

Met de nieuwe NV-methode kan zonder gebruik van surrogaten de virusverwijderingsefficiëntie van intacte UF-membranen bepaald worden, met een bereik van 5 LRV zowel op lab-, pilot- als praktijkschaal. Met troebelheidsmetingen kon in de lab- en pilottesten een LRV van slechts ongeveer 2 worden aangetoond. De NV-methode laat zien dat zowel op labschaal (120 vezels) als op pilotschaal (8" UF-module, 18600 vezels) al bij één vezelbreuk een significante verlaging van de LRV plaatsvindt. Dit komt overeen met modelvoorspellingen. Verdere optimalisatie van dit model zal tot betere voorspellingen leiden. De NV-methode laat de invloed van

vezelbreuk duidelijker zien dan troebelheidsmetingen. Gebruikers, zoals drinkwaterbedrijven, kunnen deze nieuwe methode gebruiken om de prestaties van de UF-membranen exact te volgen, en te bepalen wanneer de prestaties afnemen en membraanvervanging of een andere maatregel raadzaam is.

Danny Harmsen (KWR); Emile Cornelissen (KWR en UGent); Han Vervaeren (De Watergroep); Stefan Koel (Pentair X-Flow)

**BRONNEN**

- [1] European Patent Office (EPO), Method for determining the effectiveness of removal of viruses in a purification process, EP 3 486 650 A1
- [2] Hornstra, L.M, Rodrigues da Silva, T., Blankert, B., Heijnen, L., Beeren-donk, E.F., Cornelissen, E.R. & Medema, G.J. 2019 Monitoring the Integrity of Reverse Osmosis Membranes Using Novel Indigenous Freshwater Viruses and Bacteriophages . ES&T 5 (9), 1535-1544.

**SAMENVATTING**

Membranen worden veel toegepast bij drinkwaterbereiding. Bij membraanbeschadigingen neemt de efficiëntie van virusverwijdering (log reductie value, LRV) af doordat virussen het membraan toch passeren. In dit artikel wordt de LRV van ultrafiltratie (UF)-membranen met een nieuwe meetmethode voor natuurlijke virussen (NV-methode) in oppervlaktewater (zonder toepassing van surrogaten) beschreven. Met deze methode is op lab- en pilotschaal de invloed van vezelbreuk op de integriteit van UF-membranen bepaald, en vergeleken met modelberekeningen. Uit de testen blijkt dat voor een intacte UF-module een LRV 5 kan worden aangetoond. Een beschadigde module vertoont een LRV-verlaging tot LRV 3 - 1, afhankelijk van de aangebrachte beschadiging. Het model blijkt dit goed te kunnen voorspellen. Integriteitsmeting van een UF-installatie op praktijkschaal met de NV-methode resulteert in een LRV van 4 - 5. Gebruikers kunnen met deze nieuwe methode de prestaties van de UF-membranen dus nauwkeurig volgen.