

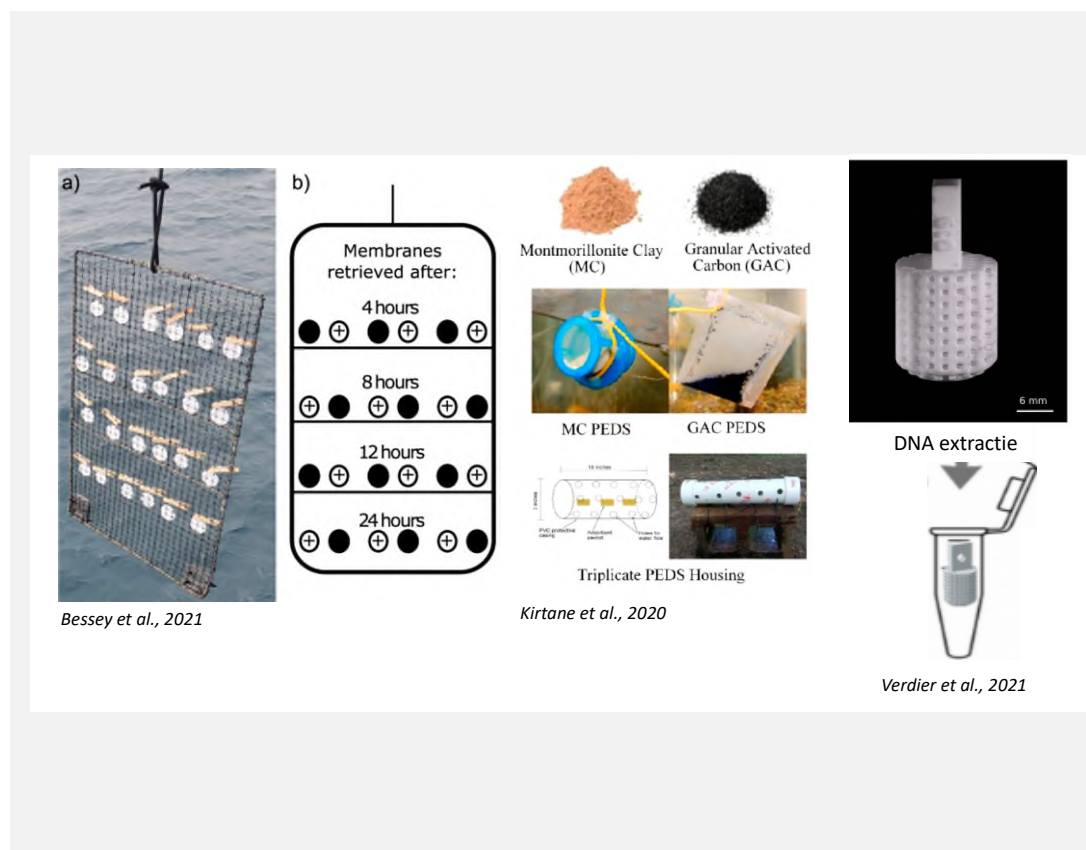
Passive sampling van micro-organismen en DNA

Samenvatting

Passive sampling wordt al lange tijd toegepast voor het bemonsteren van chemische stoffen in verscheidene milieus. Hierbij worden stoffen geaccumuleerd in een matrix over een lange periode (dagen, weken, maanden) zodat de detectielimiet verlaagd wordt en de gemiddelde concentratie achteraf bepaald kan worden. De methode is ook interessant voor microbiologische toepassing, voornamelijk voor het detecteren van (potentieel) pathogene virussen, bacteriën en indicatororganismen voor fecale verontreinigingen, maar ook voor eDNA onderzoek (Figuur 1). In deze trendalert wordt hier verder op ingegaan.

Consequenties voor u

	Laag	Middel	Hoog	Beknopte uitleg
Impact			x	Gevolgen voor waterkwaliteit
Zekerheid			x	Concept bewezen



Figuur 1: Enkele voorbeelden van passieve sampling materialen om DNA, bacteriën en/of virussen te binden in verschillende milieus



Trendbeschrijving en achtergrond

Wat is passive sampling?

Normaliter wordt de bemonstering van water uitgevoerd door één of meerdere steekmonsters te verzamelen. Vervolgens worden de gewenste analyses op deze monsters uitgevoerd, eventueel na de benodigde voorbehandeling. Echter, steekmonsters leveren enkel een discrete momentopname van de samenstelling van het water, zowel chemisch als microbiologisch. In situaties of op locaties met een variabele watersamenstelling over de tijd worden bij het gebruik van steekmonsters deze variaties over het hoofd gezien. Passieve bemonsteringstechnieken, waarbij een matrix (ontvangende fase) over langere tijd in het water achtergelaten wordt, beter bekend als passieve sampling, bieden uitkomst (Vrana et al., 2005). Passieve sampling wordt al enkele decennia toegepast voor de bemonstering van opgeloste chemische verontreinigingen. Bij passieve sampling worden de stoffen uit het milieu (meestal water) gedurende perioden van dagen tot maanden aan de blootgestelde matrix gebonden (adsorptie) of erin opgenomen (absorptie). Hierdoor worden fluctuaties in de chemische samenstelling over tijd geïntegreerd, terwijl het mengsel stoffen gelijktijdig in de sampler wordt geconcentreerd. Aan het eind van de blootstelling wordt de sampler uit het water verwijderd en de opgehoopte stoffen

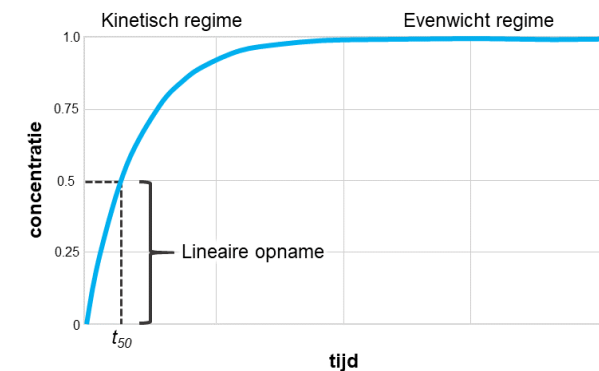
geëxtraheerd. Vervolgens kunnen op het waterextract, afkomstig van de passieve sampler, de gewenste analyses uitgevoerd worden. Door de hogere concentratie van het monster ten opzichte van steekmonsters, zal deze wijze van bemonstering een lagere detectielimiet hebben. Een belangrijk voordeel van deze techniek is dan ook dat het de kans op detectie van stoffen die in lage concentraties of sporadisch aanwezig zijn aanzienlijk vergroot. Ook voorkomt het de logistieke uitdaging van het verplaatsen van grote watervolumes en hoeft het monsterpunt gedurende een lange periode maar twee keer bezocht te worden (sampler plaatsen en ophalen) om een geïntegreerde bepaling te doen van de samenstelling van het water over de gehele blootstellingstijd.

Een ander voordeel van passieve sampling is dat het de vrij opgeloste, en dus biologisch beschikbare, concentraties van stoffen in de bemonsterde matrix weergeeft. Omdat dit representatief is voor de fractie stoffen waaraan organismen worden blootgesteld geeft dit waardevolle informatie voor de interpretatie van de toxiciteit van het aanwezige stoffenmengsel.

Hoe werkt passieve sampling van stoffen?

Vanaf het moment dat de passieve sampler in het milieu geplaatst wordt zullen stoffen ophopen in de sampler. Deze opname verloopt typisch volgens de dynamiek zoals weergegeven in figuur 2. Eerst zullen stoffen via

lineaire dynamiek opgenomen worden in de sampler. Na verloop van tijd vlakt deze lineaire opname af en komt er een eind aan deze zogenaamde kinetische fase, waarna de sampler in evenwicht komt met het omringende medium (Roll & Halden, 2016). Over het algemeen worden passieve samplers óf in de lineaire opname fase gebruikt (kinetische samplers), óf in de evenwichtsfase (evenwicht samplers), maar niet in de fase ertussen. Omdat de dynamiek in deze fases beter te modelleren is, zijn de waterconcentraties namelijk preciezer te berekenen aan de hand van de gemeten concentraties in het passieve sampler extract. Voor het succesvol toepassen van passieve samplers voor de kwantitatieve bepaling van waterconcentraties is het dus nodig om te



Figuur 2. Kinetische en evenwicht opnameregimes van concentratie als functie van tijd voor passieve samplers.



bepalen hoe lang deze fases duren voor verschillende samplers onder een verscheidenheid aan mogelijke omstandigheden. Daarnaast zijn stoffen zodra deze in de matrix van de passieve sampler opgenomen worden, vooral tijdens de kinetische fase, vrij stabiel en worden ze minder snel afgebroken. Dit maakt kwantificatie nog beter mogelijk.

Wat voor passieve samplers zijn er?

Een grote verscheidenheid aan ontwerpen en materialen worden gebruikt voor verschillende passieve samplers (figuur 1 en 3). Deels heeft dit te maken met het gebruik van de samplers voor het kinetisch of evenwicht regime, maar voor en groot deel wordt dit bepaald door het doel waarmee de samplers worden ingezet. Zo zijn er bijvoorbeeld passieve samplers die ontworpen zijn om in korte tijd metalen te bemonsteren in het kinetisch regime, die geheel anders zijn dan passieve samplers die gebruikt worden om over lange periodes een breed scala aan hydrofobe stoffen te bemonsteren in het evenwicht regime. Kinetische samplers bestaan meestal uit een bindende fase: een polymeer in poedervorm of gestabiliseerd in een gel of schijfje, die is omsloten door een membraan en een behuizing. Het membraan dient om de bindende fase te beschermen en om deze op de plek te houden, maar vooral om de toevoer van water naar de bindende fase te beperken. Op deze manier wordt de bemonsteringssnelheid beperkt en de

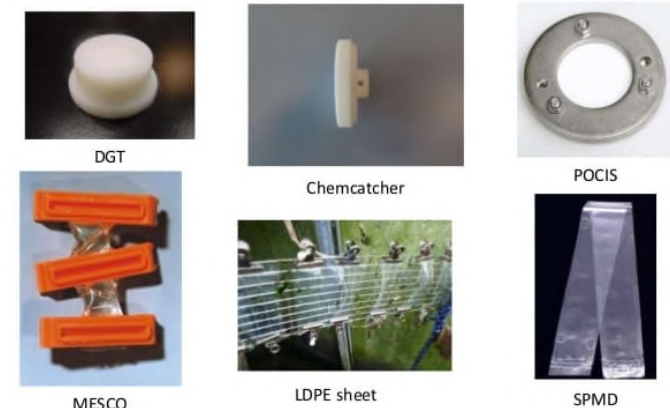
kinetische fase uitgerekte, wat de integratie van lange monsterperiodes mogelijk maakt (Roll & Halden, 2016). Bij evenwichtssamplers is het streven juist om de kinetische fase kort te houden en zo snel mogelijk met het omringende milieu in evenwicht te komen. Daarom bestaan deze samplers meestal uit vellen of ringen van een (siliconen) polymeer die direct in contact met het water staan en waar stoffen gemakkelijk doorheen diffunderen (Booij & Smedes, 2010).

Kwalitatieve vs. kwantitatieve passieve sampling

Zoals hierboven beschreven, kunnen passieve samplers de detectie van stoffen aanzienlijk verbeteren. In de eerste plaats is dit een vergroting van de kans op detectie op kwalitatieve basis (aan- of afwezig in het onderzochte milieu of medium). Veel stoffen, zowel natuurlijk aanwezig als door mensen ingebracht, voldoen op deze manier aan het criterium voor passieve sampling. Zolang de stoffen van interesse zich in hogere concentraties of dichtheden in het materiaal bevinden, zal dit de kans op detectie bij aanwezigheid vergroten. Zo kunnen rudimentaire samplers, zoals bijvoorbeeld stukjes verbandgaas, filter membranen en katoenen watjes toegepast worden voor de detectie van stoffen of organismen in het milieu (bijv. Schang et al., 2021). Echter, om (semi-)kwantitatieve uitspraken te kunnen doen over de concentratie of dichtheden van stoffen in

het milieu op basis van passieve sampler extracten, moet er meer bekend zijn over de opnamekinetiek in de sampler. Voor veelgebruikte passieve samplers zijn meerdere uitgebreide kalibratie experimenten uitgevoerd waarin de opnamesnelheden van stoffen zijn

Types of passive sampling devices for water monitoring



Figuur 3. Verschillende typen passieve samplers die gebruikt worden voor de bemonstering van stoffen in waterige milieus.

bepaald (Ahrens et al., 2015). Ook is kennis nodig over de lengte van het kinetische regime, of over hoe lang het duurt voor een sampler evenwicht bereikt met het omringend milieu. Vervolgens kunnen veldconcentraties berekend worden aan de hand van de concentraties in de passieve sampler, met behulp van formules die bepaald zijn tijdens de kalibratie. Maar ook als de opnamekinetiek van stoffen of organismen in een



sampler nog niet goed bekend is kunnen trendanalyses inzicht geven in veranderingen van concentraties over tijd, zolang de toegepaste methodiek voor bemonstering en de daaropvolgende analyses constant blijft.

Op de hierboven beschreven manieren kunnen passieve samplers ingezet worden als innovatieve methode voor de verbeterde, tijd geïntegreerde en kwantitatieve detectie van (trends in) vervuiling, aanwezig bij lage en fluctuerende concentraties, in een verscheidenheid aan media in een breed scala aan toepassingsgebieden.

Relevantie

Microbiologische waterkwaliteit

Voor het bepalen van de microbiologische waterkwaliteit is vooral de aan- of afwezigheid en concentratie van (opportunistische) pathogene virussen en micro-organismen van belang. In oppervlaktewater worden de pathogenen gemeten, maar in de zuivering, in grondwater en drinkwater worden indicatororganismen gebruikt. Dit zijn organismen die zelf niet pathogeen zijn, maar waarbij de aanwezigheid gerelateerd is aan aanwezigheid van pathogene micro-organismen. Deze indicatororganismen zijn beter te detecteren omdat ze vaak in hogere concentraties voorkomen. In Tabel 1 staan enkele typische indicatororganismen vermeld voor specifieke pathogene protozoa, bacteriën en virussen.

Microbial source tracking (MST)

Voor waterkwaliteitsdoeleinden is het naast het belang dat (potentieel) gevaarlijke virussen en bacteriën gedetecteerd kunnen worden, ook van meerwaarde dat de bron van contaminatie opgespoord kan worden. Microbiële bronopsporing (microbial source tracking; MST) kan hiervoor worden gebruikt worden. Een veelgebruikte MST techniek is bijvoorbeeld het gebruik van 16S rRNA merkers voor fecale indicatorsoorten zoals *Bacteroides* en *Helicobacter* om de fecale besmettingsbron op te sporen van vogels, honden, mensen of runderen ((Jardé et al. 2018, Layton et al. 2006).

Detectie van pathogenen, indicatorsoorten en MST

Omdat voor de microbiologische waterkwaliteit kweekmethoden worden gebruikt en een monster niet ouder mag zijn dan 24u voor analyse, wordt nog vooral gebruik gemaakt van steekmonsters, die enkel een momentopname geven. Deze ‘snapshots’ kunnen leiden tot het missen van een contaminatie moment en daardoor onderschatting van het risico van contaminatie. Dit geldt vooral voor pathogene virussen en bacteriën (Ikner et al. 2012), maar ook voor indicatororganismen en voor MST die sporadisch aanwezig zijn, ondanks de hogere concentraties dan pathogene organismen. Omdat DNA/RNA methoden steeds meer ingang vinden, en die methoden minder

gevoelig zijn voor afsterving, ontstaan goede mogelijkheden voor passieve sampling.

Casus putbesmetting

Een voorbeeld waar passieve sampling in kan bijdragen is onderzoek naar de besmetting van grondwater in winputten voor drinkwaterproductie. Bemonstering van winputten gebeurt met steekmonsters dat enkelvoudige monsters zijn waarbij monsternamen arbeidsintensief is. In lopend BTO onderzoek is aangetoond dat indicator organismen en fecale indicatorsoorten sporadisch aanwezig zijn in grondwater, waardoor de pakkans erg klein is. Hierdoor moeten er regelmatig monsters genomen en geanalyseerd worden. Dit maakt het naast

	Pathogeen	Indicator
Protozoa	<i>Cryptosporidium</i> , <i>Giardia</i> .	Sporen van sulfiet reducerende clostridia (SSRC)
Bacteriën	Campylobacter	<i>E. coli</i> , <i>Enterococci</i> ,
Virussen	Norovirus, Rotavirus, Adenovirus, Enterovirus, Hepatitis, etc.	Somatische colifagen

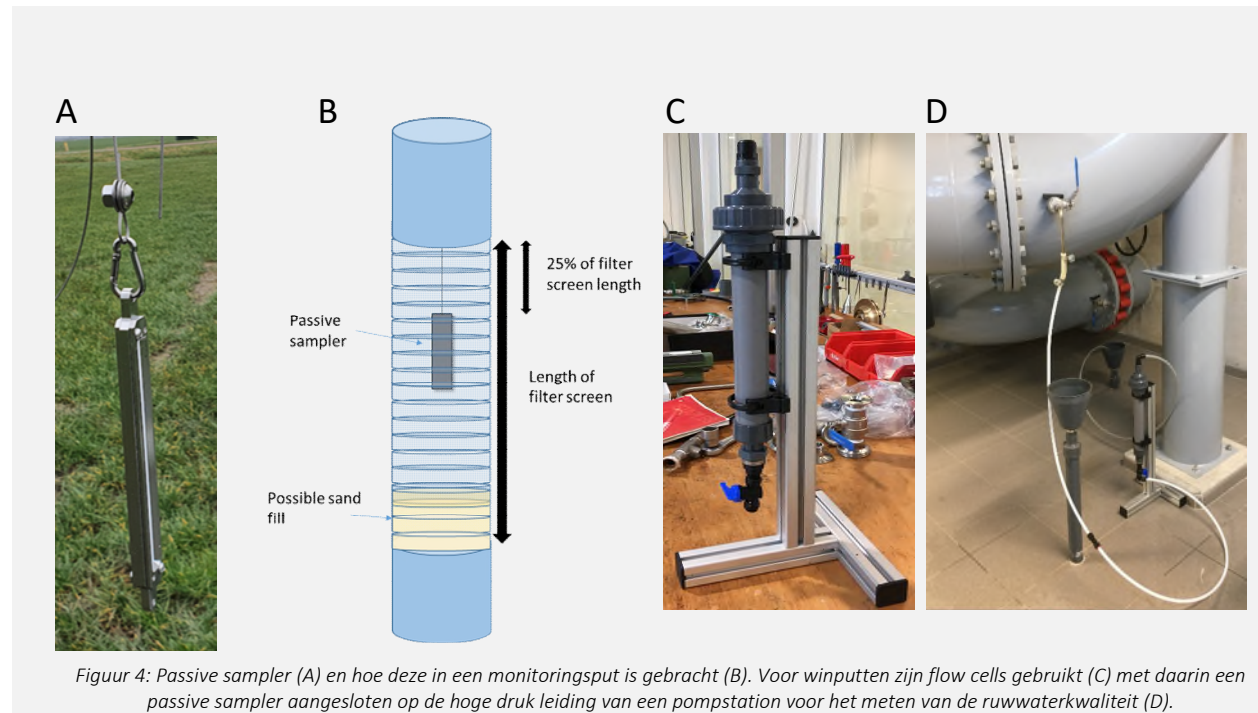
Tabel 1: Typische indicatororganismen voor specifieke pathogene protozoa, bacteriën en virussen.



het missen van een contaminatie moment ook lastig om resultaten te duiden door fluctuerende resultaten. De ontwikkeling van een *in situ* bemonstering tool, zoals passieve sampling, zou hiervoor zeer waardevol zijn. Hiermee zou de detectie van pathogene virussen, indicatororganismen en fecale indicatorsoorten verbeterd kunnen worden doordat de pakkans vergroot wordt. Resultaten zullen daarnaast beter te interpreteren zijn, omdat de besmetting wordt bepaald voor bepaalde tijdsperiodes, en niet voor steekmonsters. Dat betekent ook dat meetprogramma's minder gevoelig worden voor 'dat ene monster' met een hoge concentratie. In eerder BTO onderzoek is al aangetoond dat passieve sampling in winputten voor chemische verontreiniging succesvol bleek. In-huis ontwikkelde passieve samplers die 60 dagen in waarnemingsputten zijn ingebracht (figuur 4A-B) en flow cells met passieve samplers die bij een pompstation zijn gebruikt (figuur 4C-D) hebben veel meer stoffen gedetecteerd die normaal door de lage detectielimiet en sporadisch voorkomen met steekmonsters niet aangetroffen werden (Been et al., 2021).

Passive sampling van virussen en bacteriën

Passive sampling is tot nu toe weinig toegepast voor het detecteren van micro-organismen. Een voorbeeld is onderzoek naar de detectie van het poliovirus, norovirus en pathogene bacteriën in afvalwater en



oppervlaktewater met gaas/katoen als bindende fase (Fattal and Katzenelson 1976, Tian et al. 2017). Daarnaast zijn er passieve samplers ontwikkeld met membranen (zetapor, nylon, en lage-dichtheid polyethylene [LDPE]) die virussen absorberen. In dit onderzoek nam de hoeveelheid DNA van het humane norovirus (NoV) en Ostreid herpesvirus 1 (OshV-1) toe in de tijd, wat aantoont dat polymeer-membranen geschikt

zijn voor het accumuleren van virussen. Ook toont dit aan dat uit het gekozen materiaal van de passieve sampler het DNA succesvol geëxtraheerd kan worden (Vincent-Hubert et al. 2017).

In vervolgonderzoek is gekeken naar dezelfde 3 typen membranen die 48 uur en 15 dagen zijn achtergelaten in mariene milieus tijdens verschillende seizoenen. In dit onderzoek zijn virussen (NoV, sapovirus, OshV-1),



bacteriën (*Vibrio* spp., *V. cholerae*, *V. vulnificus*, *V. parahaemolyticus*, en *V. alginolyticus*) en humaan-geassocieerde fecale indicatoren gedetecteerd en gekwantificeerd (Vincent-Hubert et al. 2021). Naast hogere concentraties dan voor steekmonsters, werden ook seizoenseffecten op de concentraties van de verschillende virussen en bacteriën waargenomen, die overeenkwamen met eerder onderzoek (Vincent-Hubert et al. 2021). In een andere recente studie werd passieve sampling succesvol ingezet voor de detectie van SARS-CoV-2 in rioolwater (Schang et al., 2021). De onderzoekers plaatsten stukjes verbandgaas, filter membranen en katoenen watjes in verschillende beschermende houders en stelden deze gedurende 24 uur bloot aan rioolwater van populaties met een laag aantal COVID-19 infecties. Gelijktijdig werden reguliere steekmonsters genomen. De passieve samplers konden gevoelig SARS-CoV-2 detecteren, en stelden de onderzoekers zelfs in staat de detectielimiet voor COVID-19 in rioolwater te verlagen. Bovendien werd er een significante positieve relatie gevonden tussen de concentratie SARS-CoV-2 in steekmonsters en in de passieve samplers, wat laat zien dat de toekomstige (semi-)kwantitatieve detectie van virussen met passieve samplers veelbelovend is. Ook in Nederlands rioolwateronderzoek worden ze inmiddels toegepast.

Deze studies tonen aan dat katoengas en membranen goed te gebruiken zijn als passieve samplers voor het ophopen van virussen en bacteriën, maar ook voor daarop volgende DNA en RNA extracties.

Passive sampling van eDNA

Passive sampling van DNA heeft meer aandacht gekregen dan passieve sampling van virussen of bacteriën. Verschillende soorten passieve samplers voor het vangen van DNA zijn onderzocht, zoals 3-D geprinte hydroxyapatite samplers (Verdier et al. 2021), of actief kool en klei (Kirtane et al. 2020) en nylon en cellulose membranen (Bessey et al. 2021) (Figuur 1). Environmental DNA (eDNA) metabarcoding is een gevoelige techniek om de soortenrijkdom van bijvoorbeeld vissen in kaart te brengen. Een groot voordeel hiervan is dat de vissen niet gevangen hoeven te worden, maar dat watermonsters waar het DNA van de vissen in aanwezig is gefiltreerd worden. Deze filtratie moet wel met grote volumes water gedaan worden, waarbij monsternamen en filtratie arbeidsintensief zijn en speciale apparatuur vereisen. Hierdoor worden er meestal te weinig monsters genomen om de biodiversiteit goed in kaart te brengen. Passive sampling kan daarom ook hierin uitkomst bieden (Bessey et al. 2021).

Vervolgonderzoek

Omdat passieve sampling van chemische vervuiling in principe anders is dan passieve sampling van levende organismen en DNA, zijn er een aantal belangrijke aspecten die onderzocht moeten worden:

Materiaalkeuze

Ten eerste zal een keuze gemaakt moeten worden in materiaal dat virussen, bacteriën en/of DNA kan absorberen of adsorberen. Vervolgens zullen huidige passieve samplers aangepast moeten worden met dit materiaal. Een voordeel is dat bij KWR al passieve samplers zijn ontwikkeld voor winputten, en dus alleen een aanpassing van de bindende fase nodig is (Figuur 4). Ook is er al ervaring met passieve samplers voor detectie en kwantificatie van DNA en RNA virussen.

Kwantificatie vs. kwalificatie

Accumulatie van bacteriën, virussen, en DNA die zich door het water verplaatsen zal plaatsvinden op de membranen, zoals ook bij chemische stoffen het geval is. De vraag is of ook biologisch materiaal stabiel is na binding aan de sampler, zoals bij chemische opgeloste stoffen. Een extra factor bij levende organismen is dat er namelijk biofilm vorming zal optreden, wat de groei van specifieke micro-organismen en virussen zal bevorderen. Anderzijds zullen andere micro-organismen en virussen juist sterven, en vrijgekomen DNA zal afbreken, wat al



aangetoond is voor eDNA studies (Krehenwinkel et al. 2018). Deze dynamiek zal het uitdagend maken om kwantitatief iets te zeggen over de oorspronkelijke concentraties, maar is niet anders dan voor chemische stoffen waar afbraak en biofilmvorming ook een rol spelen.

Om te kwantificeren zal dus onderzocht moeten worden of er een verschil gemaakt kan worden tussen ab- of adsorptie, en groei en sterfte/degradatie van micro-organismen en DNA. Ab- of adsorptie zal namelijk zorgen voor andere opname regimes dan groei. Sterfte en DNA degradatie zal zorgen voor een afname in detectie. Kwalitatief heeft het altijd meerwaarde boven steekmonsters, omdat de pakkans en/of representativiteit sowieso is vergroot.

Risico's

Als laatste zal onderzocht moeten worden of materiaal van de passive sampler zelf, en van het gebonden biologisch materiaal, ook weer kan loslaten en daardoor in het water terecht komt. Dit is extra van belang in bijvoorbeeld grondwater winputten, waar het ongewenst is dat er niet-inheemse materialen in voorkomen. Ook kan een loslatende biofilm zorgen voor een onderschatting van contaminatie wanneer alleen de passive sampler geanalyseerd wordt en niet ook het water.

Met behulp van de bovenstaand onderzoek kan bepaald worden of passive sampling van micro-organismen en DNA kwantificeerbaar is, of alleen kwalitatief te interpreteren is. In beide gevallen zal de meerwaarde t.o.v. steekmonsters aangetoond moeten worden voor detectie van virussen, bacteriën en/of DNA in verschillende milieus.

Auteurs

Peer Timmers & Milo de Baat

Meer informatie

- Ahrens, L., Daneshvar, A., Lau, A. E., & Kreuger, J. (2015). Characterization of five passive sampling devices for monitoring of pesticides in water. *Journal of Chromatography A*, 1405, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2015.05.044>
- Been, F., Beernink, S., Amato E., Combining passive sampling with suspect and non-target screening (NTS) to monitor groundwater quality. BTO 2021.001, January 2021.
- Bessey, C., Neil Jarman, S., Simpson, T., Miller, H., Stewart, T., Kenneth Keesing, J. and Berry, O. (2021) Passive eDNA collection enhances aquatic biodiversity analysis. *Commun Biol* 4(1), 236.
- Booij, K., & Smedes, F. (2010). An improved method for estimating in situ sampling rates of nonpolar

passive samplers. *Environmental Science and Technology*, 44(17), 6789–6794.

<https://doi.org/10.1021/es101321v>

- Fattal, B. and Katzenelson, E. (1976) Evaluation of gauze pad method to recover viruses from water. *Water Research* 10(12), 1135-1140.
- Ikner, L.A., Gerba, C.P. and Bright, K.R. (2012) Concentration and recovery of viruses from water: a comprehensive review. *Food Environ Virol* 4(2), 41-67.
- Jardé, E., Jeanneau, L., Harrault, L., Quenot, E., Solecki, O., Petitjean, P., Lozach, S., Chev e, J. and Gourmelon, M. (2018) Application of a microbial source tracking based on bacterial and chemical markers in headwater and coastal catchments. *Sci Total Environ* 610-611, 55-63.
- Kirtane, A., Atkinson, J.D. and Sassoubre, L. (2020) Design and Validation of Passive Environmental DNA Samplers Using Granular Activated Carbon and Montmorillonite Clay. *Environ Sci Technol* 54(19), 11961-11970.
- Krehenwinkel, H., Fong, M., Kennedy, S., Huang, E.G., Noriyuki, S., Cayetano, L. and Gillespie, R. (2018) The effect of DNA degradation bias in passive sampling devices on metabarcoding studies of arthropod communities and their associated microbiota. *PLoS One* 13(1), e0189188.



- Layton, A., McKay, L., Williams, D., Garrett, V., Gentry, R. and Sayler, G. (2006) Development of Bacteroides 16S rRNA gene TaqMan-based real-time PCR assays for estimation of total, human, and bovine fecal pollution in water. *Appl Environ Microbiol* 72(6), 4214-4224.
- Roll, I. B., & Halden, R. U. (2016). Critical review of factors governing data quality of integrative samplers employed in environmental water monitoring. *Water Research*, 94, 200–207.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.02.048>
- Schang, C., Crosbie, N. D., Nolan, M., Poon, R., Wang, M., Jex, A., John, N., Baker, L., Scales, P., Schmidt, J., Thorley, B. R., Hill, K., Zamyadi, A., Tseng, C.-W., Henry, R., Kolotelo, P., Langeveld, J., Schilperoort, R., Shi, B., ... McCarthy, D. T. (2021). Passive Sampling of SARS-CoV-2 for Wastewater Surveillance. *Environmental Science & Technology*, *acs.est.1c01530*.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.1c01530>
- Tian, P., Yang, D., Shan, L., Wang, D., Li, Q., Gorski, L., Lee, B.G., Quinones, B. and Cooley, M.B. (2017) Concurrent Detection of Human Norovirus and Bacterial Pathogens in Water Samples from an Agricultural Region in Central California Coast. *Front Microbiol* 8, 1560.
- Verdier, H., Konecny, L., Marquette, C., Reveron, H., Tadier, S., Grémillard, L., Barthès, A., Datry, T., Bouchez, A. and Lefébure, T. (2021).
- Vincent-Hubert, F., Morga, B., Renault, T. and Le Guyader, F.S. (2017) Adsorption of norovirus and ostreid herpesvirus type 1 to polymer membranes for the development of passive samplers. *J Appl Microbiol* 122(4), 1039-1047.
- Vincent-Hubert, F., Wacrenier, C., Morga, B., Lozach, S., Quenot, E., Mege, M., Lecadet, C., Gourmelon, M., Hervio-Heath, D. and Le Guyader, F.S. (2021) Passive Samplers, a Powerful Tool to Detect Viruses and Bacteria in Marine Coastal Areas. *Front Microbiol* 12, 631174.
- Vrana, B., Allan, I. J., Greenwood, R., Mills, G. A., Dominiak, E., Svensson, K., Knutsson, J., & Morrison, G. (2005). Passive sampling techniques for monitoring pollutants in water. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 24(10), 845–868.
<https://doi.org/10.1016/j.trac.2005.06.006>

Keywords

Passive sampling, eDNA, pathogene micro-organismen, virussen