



PFAS-vrij circulair water

Eindverslag

Programma	VLAIO - PIO
Aanbestedende diensten	
Externe begeleider	

1 Inhoudsopgave

1	Inhoudsopgave.....	2
2	Managementsamenvatting	3
3	Context & Objectieven	4
3.1	De projectinitiators	4
3.1.1	Stad Antwerpen.....	4
3.1.2	Programma Innovatieve Overheidsopdrachten	4
3.2	Het voortraject: “PFAS-vrij circulair water”	4
3.2.1	Context.....	4
3.2.2	Scherpstelling van de scope	5
3.2.3	Doelstelling van het voortraject	6
3.3	Gevolgd proces en deelnemers	6
4	Analyse van de gebruikersnoden	8
4.1	Gevolgd proces	8
4.2	Detailtering theoretisch model en implicatie op het meetnet	8
4.2.1	Factoren die de metingen kunnen beïnvloeden	10
4.3	Functionele en technische noden	11
4.3.1	Conclusie	19
5	Marktanalyse.....	20
5.1	Meetsystemen voor het meten van PFAS-concentraties	20
5.1.1	Elektrochemische methodes.....	20
5.1.2	Elektrochemische biosensoren	21
5.1.3	Laboratoriumtechnieken	21
5.1.4	Beoordeling van de soorten oplossingen	22
5.1.5	Conclusie	22
5.2	Meetsystemen voor het meten van stromingssnelheid en -richting.....	23
5.2.1	Bestaande technieken.....	23
5.2.2	Aanbieders van stromingssnelheid- en richtingssensoren.....	24
5.3	Totaaloplossing.....	24
5.4	Gesprek met iFLUX	25
5.4.1	Bedrijfsprofiel en productportfolio	25
5.4.2	Marktpositie	27
6	Conclusie	28
Bijlage A:	State-of-the-Art	29

2 Managementsamenvatting

Dit document is het eindverslag van een voorbereidende en verkennende studie voor het implementeren van een meetnet van sensoren in het domein van de Antwerpse Stadsparkvijver. De sensoren moeten in staat zijn om op een maximaal geautomatiseerde manier de stromingsrichting en -snelheid als ook de PFAS-concentratie in het grondwater te meten, met als doel het theoretisch model van Universiteit Antwerpen te kunnen valideren.

Aan de hand van enkele workshops werden de noden waaraan het meetnet moet voldoen in kaart gebracht. Hieruit werd geconcludeerd dat de vraag duidelijk en scherp afgebakend is: de beoogde sensoren moeten PFAS-concentraties kunnen meten van 20 verschillende PFAS-soorten binnen het bereik van 10-1000 ng/L, alsook stromingssnelheid en -richting in het bereik van 0,1-1 mm/dag. Daarnaast is ook het operationele aspect van groot belang: Stad Antwerpen streeft naar verplaatsbare sensoren die eenvoudig te installeren zijn (bijvoorbeeld in een peilbuis) en waarvan de data gemakkelijk uit te lezen is.

Uit een marktanalyse naar mogelijke oplossingen blijkt dat er momenteel geen commercieel verkrijgbare PFAS-sensoren voor veldgebruik zijn, waardoor een sensoroplossing die zowel PFAS als stromingssnelheid en -richting kan meten nog niet beschikbaar is op de markt. De meest geschikte oplossing die reeds beschikbaar is en voldoet aan de vooraf gestelde functionele behoeften, bestaat uit een volledig meet- en analyseproject, zoals aangeboden door de lokale partij iFLUX. De unieke sampling technologie van iFLUX maakt het mogelijk om beide parameters te monitoren met één geïntegreerde oplossing. Deze oplossing voldoet echter niet volledig aan de initiële operationele vereisten van Stad Antwerpen: de meetresultaten zullen niet meteen beschikbaar zijn en het beheer van de sensoren zal niet door Stad Antwerpen worden uitgevoerd, maar zal deel uitmaken van de totaalservice die iFLUX aanbiedt.

Voor het verdere traject wordt Stad Antwerpen geadviseerd om over te gaan tot de aankoop van een volledig meet- en analyseproject, waarbij implementatie, beheer en analyse worden uitbesteed aan iFLUX.

Ondanks het feit dat slechts een deel van de initiële vraag wordt weerhouden is de algemene conclusie dat het project zeer innovatief is en wel om verschillende redenen:

- Het meten van PFAS-concentraties vormt een technologische uitdaging; de enige methode om alle gewenste PFAS-soorten te detecteren is door middel van laboratoriumanalyse. Zelfs bij de oplossing van iFLUX moet nog verdere ontwikkeling gebeuren om de initiële vraag af te dekken. Dit verklaart waarom er momenteel geen commerciële PFAS-sensoren beschikbaar zijn, ondanks lopend onderzoek op dit gebied.
- Ook voor het meten van grondwaterstroming zijn er slechts een beperkt aantal oplossingen beschikbaar op de markt.
- Voor de combinatie van beide parameters is slechts één unieke aanbieder beschikbaar die deze in één oplossing aanbiedt. Deze oplossing is geen product dat simpelweg kan worden aangeschaft, maar vraagt om een projectmatige aanpak waarbij verschillende externe factoren een rol spelen.

3 Context & Objectieven

3.1 De projectinitiators

3.1.1 Stad Antwerpen

De promotie van een circulaire gemeenschap in Antwerpen en een voortrekkersrol op gebied van klimaatmitigatie en klimaatadaptatie opnemen staan centraal in de missie van de afdeling Stadsontwikkeling – K&L (Klimaat en Leefmilieu) van de Stad Antwerpen.

K&L is verantwoordelijk voor de beleidsvoorbereiding rond klimaatmitigatie en -adaptatie, en leefmilieu (lucht, geluid, ...). In het afgelopen jaar is er gestart met systematische opvolging voor de verspreiding van PFAS, en er zijn diverse wetenschappelijke projecten geïnitieerd. Het project "PFAS-vrij circulair water" is een concreet onderdeel van deze strategie, waarbij als casestudie specifiek gekeken wordt naar de PFAS-concentratie in het grondwater van de Stadsparkvijver.

3.1.2 Programma Innovatieve Overheidsopdrachten

Het Programma Innovatieve Overheidsopdrachten (PIO) van het Agentschap Innoveren & Ondernemen (VLAIO) heeft als doel de omvangrijke koopkracht van de Vlaamse overheid (en de bredere publieke sector in Vlaanderen) meer strategisch in te zetten voor innovatie. Hiertoe wil het PIO overheidsorganisaties in Vlaanderen stimuleren en helpen om een deel van hun aankoopmiddelen te besteden aan innovatieve overheidsopdrachten, dat wil zeggen het (laten) ontwikkelen en/of aankopen van innovatieve producten en diensten waarmee ze hun eigen werking en publieke dienstverlening kunnen optimaliseren en beter kunnen inspelen op de vele maatschappelijke uitdagingen waarvoor ze staan. Op die manier wil het PIO bijdragen tot een performantere overheid, competitievere ondernemingen en oplossingen voor uitdagingen van maatschappelijk belang (gezondheid, milieu en energie, veiligheid, ...). Concreet begeleidt het PIO andere overheden en publieke organisaties bij innovatieve aanbestedingsprojecten en co-financiert ze die innovatie-aankopen ook à rato van 50%, mits de oplossingen voldoende relevant en innovatief zijn.

3.2 Het voortraject: “PFAS-vrij circulair water”

3.2.1 Context

In het kader van haar klimaatadaptatiestrategie en om de verzilting van grondwater in de bodem te beperken, heeft de stad Antwerpen diverse circulaire waterprojecten geïnitieerd. Deze projecten dreigen onder druk te komen staan door de aankomende verstrenging van de normen met betrekking tot het kunstmatig aanvullen van grondwater, waardoor opgepompt grondwater te hoge PFAS-concentraties kan bevatten om in de bodem te laten herinfiltreren.

Als reactie hierop werd een project opgestart met als doel:

- De herinfiltratie van effluent en de verdeling van PFAS doorheen de verschillende compartimenten van de biotoop te modelleren
- Het onderzoeken van fyto-remediatie als ecologische en kostenefficiënte saneringsmethode voor PFAS

In de 1^{ste} fase van het project wordt een theoretisch model ontwikkeld door Universiteit Antwerpen, dat dient gevalideerd te worden aan de hand van metingen uit een meetnet. Dit **PIO-traject** is fase 2 van het bredere project, en heeft als doel het **implementeren** van zo een **meetnet** in het domein van de vijver van het Stadspark, waarmee op een maximaal geautomatiseerde manier de stromingsrichting en -snelheid als ook de PFAS-concentratie in het grondwater kan worden opgevolgd. Dit laatste brengt een aanzienlijke uitdaging met zich mee, gezien de zeer lage PFAS-concentraties in het grondwater.

Bijkomend zou het gunstig zijn dat het ontwikkelde systeem voldoende performant is om stadsbreed te kunnen uitrollen en het ook voor andere doeleinden kan ingezet worden, met name het algemene grondwaterbeheer, handhaving en toezicht, vergunningverlening en het bewaken van grondwatervervuiling in de buurt van bemalingen.

3.2.2 Scherpstelling van de scope

Stad Antwerpen is op zoek naar een **meetnet** waarmee zowel de **stromingsrichting en -snelheid** alsook de **PFAS-concentratie** in het **grondwater** van de Stadsparkvijver kan worden gemonitord. Aan de hand van deze parameters, aangevuld met extra parameters van bestaande monitoringsystemen (grondwaterniveau, waterbalans in vijver en fysiologische parameters zoals temperatuur, neerslag, ...), is het doel om het **theoretisch model** van Universiteit Antwerpen te **valideren**.

Deze doelstelling wordt nagestreefd door een meetnet van sensoren te implementeren in de **bodem** van de Stadsparkvijver en in **drie peilbuizen** in de onmiddellijke omgeving van de vijver.

Om waardevolle resultaten uit de metingen te halen, is het noodzakelijk dat de metingen over een **voldoende lange periode** worden uitgevoerd (1^{ste} ruwe schatting: minstens 1 tot 2 jaar), zodat o.a. rekening kan worden gehouden met seizoenseffecten.

Omdat de sensoren van het meetnetwerk als investeringen worden beschouwd, zullen ze **eigendom** zijn van Stad Antwerpen, dat ook het **beheer** (plaatsing, onderhoud, ...) voor zijn rekening neemt. Hierdoor kunnen de sensoren eventueel worden verplaatst en herbruikt voor andere doeleinden. Een ander model, waarbij de data wordt aangekocht in plaats van de sensoren zelf, valt buiten de scope.

Een ander belangrijk aspect is het verkrijgen en de integratie van gemeten data. Het voornaamste is dat de **data beschikbaar en exporteerbaar** is. Een ontwikkeling van een mogelijke integratie met bestaande IT-systemen of toepassingen voor automatische gegevensuitwisseling valt niet binnen de huidige scope, maar dit zou zeker een meerwaarde bieden.

Elementen die expliciet **niet in scope** zijn:

- Het **meten** van zaken zoals vijverpeil, grondwaterniveau en **fysiologische parameters** zoals temperatuur, neerslag, zuurtegraad, ... - Hiervoor worden bestaande monitoringsystemen gebruikt
- Het **verwijderen van PFAS** uit de Stadsparkvijver
- Implementatie van een **datamodel** dat inzichten verschaft uit de opgemeten data
- Implementatie van een meetnet **buiten de Stadsparkvijver** en omliggende peilbuizen (met uitzondering van de 3 eerder vermelde peilbuizen in de onmiddellijke omgeving van de vijver)

3.2.3 Doelstelling van het voortraject

Het voortraject, voorafgaand aan de publieke aanbesteding voor het vinden van een partner voor implementatie van het meetnet, heeft als doelstelling de **inhoud en aanpak van de publieke aanbesteding te verduidelijken**. Concreet bestaat dit uit:

- Het in kaart brengen van de (belangrijkste) vereisten voor het meetnet
 - Use cases in termen van gebruikers, functionaliteiten en noden, geprioriteerd volgens toegevoegde waarde en risico
 - Referentieoplossing/architectuur van het meetnet
- Het bepalen van de aanbestedingsvorm, bv. een eenvoudige aankoopprocedure, een partnership, een voorstudie nodig, ...
- Het identificeren welk type bedrijven moeten aangeschreven worden

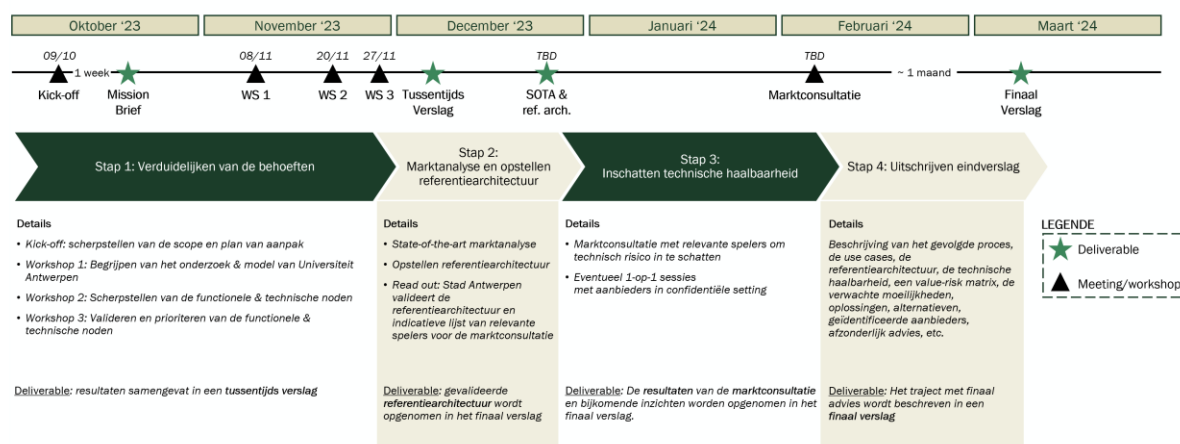
3.3 Gevolgd proces en deelnemers

De voornaamste stakeholders tijdens dit voortraject (*geanonimiseerd*):

- Coördinator PFAS – Stad Antwerpen
- Vertegenwoordiger dienst Milieuinterventie – Stad Antwerpen
- Vertegenwoordiger Circulaire waterprojecten – Stad Antwerpen
- Vertegenwoordiger dienst Milieuvergunningen – Stad Antwerpen
- Milieucoördinator – Stad Antwerpen
- Vertegenwoordiger Natuur- en parkbeheer – Stad Antwerpen
- Onderzoeker Universiteit Antwerpen
- Corien Struijk (PIO)
- Jo Degraef (Addestino)
- Maxel Withofs (Addestino)

Het gevolgde proces is geïllustreerd in onderstaande figuur.

Tijdslijn voortraject – PFAS-vrij circulair water



1. Verduidelijken van de behoeften van de eindgebruikers

- Workshop 1: **Begrijpen** van het onderzoek & model van Universiteit Antwerpen

- Doelstelling: Duidelijk schetsen wat de implicaties zijn van het onderzoek en de ontwikkeling van het theoretische model door Universiteit Antwerpen op het te bekomen meetnet.
 - Timing: woensdag 08/11/2023 10:00-12:00 (2 uur)
 - Locatie: Den Bell (Antwerpen)
 - Workshop 2: Bepalen **eindgebruikers** en definiëren **use cases**
 - Doelstelling: In deze workshop zal eerst worden bepaald wie de eindgebruikers zijn van het te ontwikkelen meetnet. Vervolgens wordt er functioneel beschreven wat hun gebruikersnoden zijn. Dit onder de vorm van use cases: Als een <eindgebruiker> kan ik <iets doen> zodat ik <iets zinvols bereik>.
 - Timing: maandag 20/11/2023 9:00-13:00 (4 uur)
 - Locatie: Den Bell (Antwerpen)
 - Workshop 3: Use cases **prioriteren** volgens toegevoegde waarde
 - Doelstelling: De use cases uit de vorige workshop worden één voor één doorgenomen en indien nodig verduidelijkt, daarna worden ze geprioriteerd via de *planning poker* techniek om de toegevoegde waarde van elke use case in te schatten.
 - Timing: maandag 27/11/2023 9:00-13:00 (4 uur)
 - Locatie: Den Bell (Antwerpen)
 - De resultaten van deze 3 workshops worden door Addestino samengevat in een **tussentijds verslag** dat gedeeld wordt met het kern projectteam
- 2. State-of-the-art analyse & referentiearchitectuur**
- Doelstelling: Op basis van de geprioriteerde use cases, de geïdentificeerde informatiebronnen en een state-of-the-art analyse stelt Addestino een referentiearchitectuur voor. De referentiearchitectuur zal belangrijk zijn voor het bepalen van de relevante spelers voor de marktconsultatie.
 - In deze sessie zal Addestino de state-of-the-art analyse en referentiearchitectuur delen
 - Deze referentiearchitectuur bepaalt mee de opzet en de beoogde deelnemers van de marktconsultatie
 - Timing: maandag 08/01/2024 10:00-12:00 (2 uur)
 - Locatie: Den Bell (Antwerpen)
- 3. Marktconsultatie met relevante spelers: *Heeft niet plaatsgevonden***
- 4. Eindverslag**
- Doelstelling: Voorstellen eindverslag, met een aanbeveling voor de volgende stappen

4 Analyse van de gebruikersnoden

4.1 Gevolgd proces

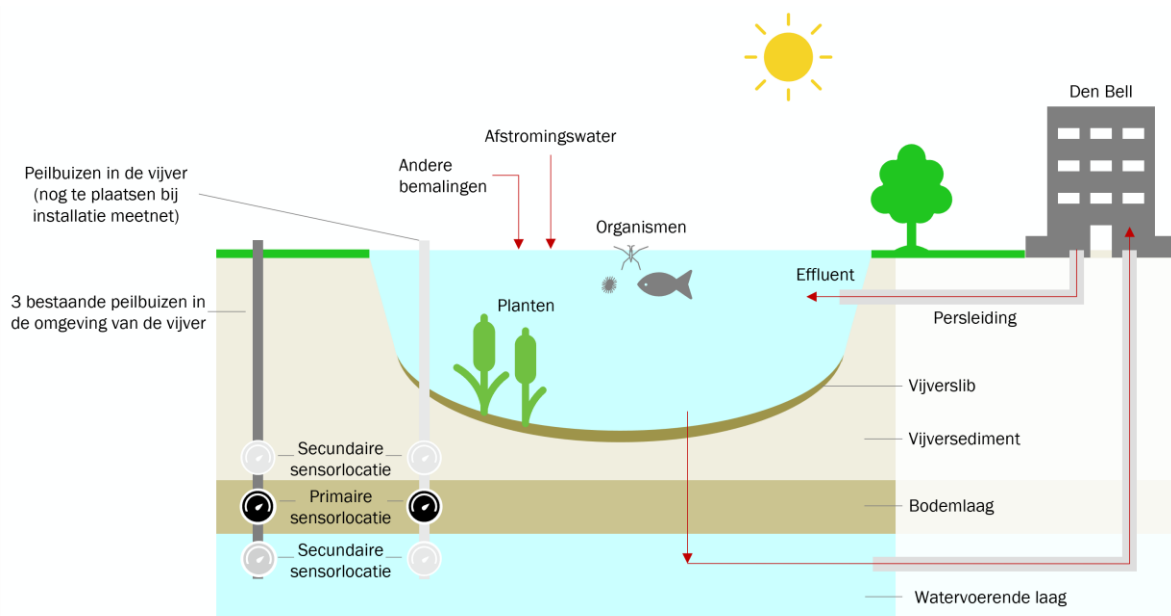
In een eerste workshop werd het onderzoek en theoretisch model dat wordt opgesteld door Universiteit Antwerpen in meer detail doorlopen, met als doel te begrijpen wat de implicaties zijn op het te bekomen meetnet. Er werd o.a. toegelicht wat de doelstellingen zijn van het theoretisch model, hoe effluent vanuit Den Bell verschillende bodemsegmenten doorloopt en hoe de PFAS in dit water met de verschillende vijvercompartimenten interageert (of net niet), alsook de parameters die het theoretisch model kunnen beïnvloeden. Tot slot werd er ook kort ingegaan op enkele vereisten van het meetnet zelf. Deze informatie diende als belangrijke input voor het definiëren van de gebruikersnoden.

In een tweede workshop zijn voor meerdere gebruikersprofielen use cases opgesteld om de functionele vereisten van het meetnet te detailleren. Use cases zijn functionele vereisten geschreven in een vaste vorm: Als <gebruikersprofiel> kan ik <iets doen> zodat <ik iets zinvol bereik>. Deze vorm laat toe om eenvoudig te detecteren **waarom** een specifieke gebruiker nood heeft aan een functionaliteit.

In een derde workshop is de volledige lijst van use cases geprioriteerd om een inschatting van toegevoegde waarde weer te geven voor elke functionele vereiste. Dit laat toe om te identificeren wat de belangrijkste functionaliteiten zijn voor het meetnet en welke eerder *nice-to-have's* zijn.

4.2 Detaillering theoretisch model en implicatie op het meetnet

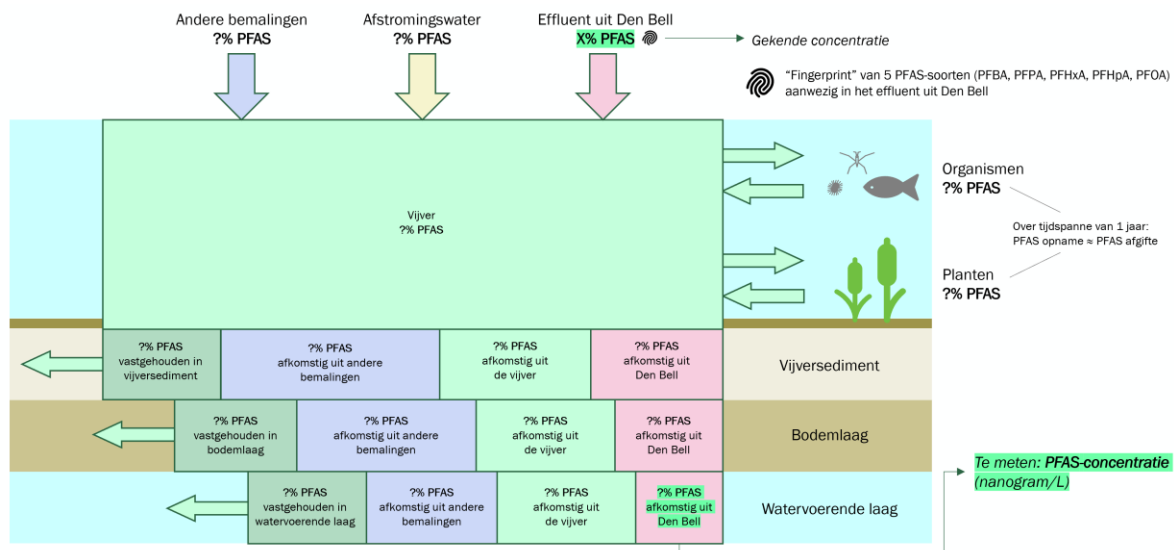
Het theoretisch model van Universiteit Antwerpen tracht de hoeveelheid PFAS die opgenomen wordt door de verschillende componenten in de Stadsparkvijver te modelleren. Onderstaande figuur illustreert deze componenten en het waterverloop in de vijver:



Op de figuur is een schematische weergave van de scope van het project voorgesteld. De figuur is niet op schaal en toont de Stadsparkvijver met de onderliggende bodemlagen, evenals Den Bell, dat zich in werkelijkheid op ongeveer 1,2 km van de vijver bevindt. De rode pijlen stellen de waterstromen voor.

Vanuit Den Bell wordt effluent dat een gekende PFAS-concentratie bevat via een persleiding in de Stadsparkvijver geïntroduceerd. Naast dit effluent zorgen ook andere bemalingen en afstromingswater voor watertoevoer in de Stadsparkvijver. In het vijverwater kunnen organismen en planten een affiniteit vertonen met PFAS en er een bepaalde concentratie van opnemen. Het vijverwater sijpelt door in de bodem dat uit opeenvolgende segmenten bestaat: het vijverslib, het vijversediment, de bodemlaag, en de watervoerende laag. De watervoerende laag bestaat uit het grondwater dat opnieuw wordt opgepompt tot in Den Bell. In de omgeving van de vijver zijn drie peilbuizen geïnstalleerd, en het is de bedoeling om nog één of meerdere peilbuizen in de vijver zelf te installeren als deel van de plaatsing van het meetnet. De metingen van PFAS-concentraties vinden bij voorkeur plaats in de bodemlaag (op de figuur aangeduid als primaire sensorlocatie), zodat we de verticale doorstroming naar het grondwater meten en geen horizontale stromingen vastleggen die mogelijk PFAS van elders kunnen transporteren. Toch is het wenselijk dat het ook mogelijk is om metingen uit te voeren ter hoogte van de andere bodemsegmenten (op de figuur aangeduid als secundaire sensorlocatie).

In de onderstaande figuur wordt de verdeling van PFAS door de genoemde componenten geïllustreerd:



Bovenaan de figuur worden opnieuw de drie bronnen van watertoevoer weergegeven: Effluent uit Den Bell met een gekende PFAS-concentratie, evenals het afstromingswater en water uit andere bemalingen met een onbekende PFAS-concentratie. In het effluent van Den Bell komt een specifiek patroon ("fingerprint") van 5 PFAS-soorten terug: PFBA, PFPA, PFHxA, PFHpA en PFOA. Dit zijn echter niet de enige PFAS-varianten die in de Stadsparkvijver kunnen voorkomen; In totaal hebben de initiatiefnemers 20 verschillende PFAS-soorten geïdentificeerd als mogelijk aanwezig in de Stadsparkvijver. Deze verschillende PFAS-ketens vertonen uiteenlopend gedrag wat betreft hun affiniteit tot specifieke stoffen of oppervlakken, en dit wordt mede bepaald door de lengte van de ketens.

In het vijverwater kan PFAS opgenomen worden door organismen (vissen, insecten, plankton, etc.) en planten. Zowel de organismen als de planten kunnen we over een voldoende lange periode (1 jaar) beschouwen als één vaste verzameling: er zullen planten en dieren bijkomen, maar er zullen er ook weer verdwijnen. Planten kunnen PFAS dat ze opnemen ook weer vrijgeven, bijvoorbeeld door bladverlies of door seizoensgebonden omkering van de nutriëntenstroom. In het laatste geval absorberen de planten water uit zowel de vijver als de bodem, maar tijdens specifieke seizoenen wordt dit water ook weer afgestaan. Als we dit opnieuw over de periode van een jaar beschouwen, kunnen we een abstractie maken van de opname en afgifte van PFAS en deze over een jaar gezien als gelijk beschouwen (i.e. PFAS opname \approx PFAS afgifte over 1 jaar). Ook bij organismen kunnen we deze vereenvoudiging maken: ze nemen PFAS op en kunnen deze weer afgeven bij sterfte.

Wanneer het vijverwater in de bodem sijpelt, wordt er ook PFAS in deze bodemsegmenten geïntroduceerd. In elk segment kan er volgens het theoretisch model een fractie PFAS worden vastgehouden die, in tegenstelling tot bij planten en organismen, niet opnieuw vrijkomt. De PFAS-concentratie die bijkomend geïntroduceerd wordt in de watervoerende laag is wat uiteindelijk gemeten moet worden door het te implementeren meetnet. Op basis van de metingen zelf kan er geen onderscheid worden gemaakt tussen de bijdragen van PFAS-bronnen (bijvoorbeeld, of de PFAS afkomstig is van het effluent uit Den Bell, andere bemalingen, of de vijver). Echter, door de identificatie van de specifieke PFAS-soorten uit Den Bell (de “*fingerprint*”) en de oorspronkelijke concentratie hiervan, kan wel een schatting worden gemaakt van de bijdrage van het effluent uit Den Bell (op de figuur aangeduid als de roze kader onderaan in de watervoerende laag).

4.2.1 Factoren die de metingen kunnen beïnvloeden

Naast de mogelijke retentie van PFAS door organismen, planten en het materiaal in de bodemsegmenten, wat de PFAS-concentratie in het grondwater kan beïnvloeden, zijn er verschillende factoren die ruis kunnen veroorzaken in de metingen, zoals:

- Temperatuur
- Neerslag
- Lokale vervuiling
- Andere bemalingen dan die van Den Bell
- Zuurtegraad
- Seizoenseffecten (bv. toename van plankton in de lente/zomer)

Voor bepaalde factoren, zoals lokale vervuiling en zuurtegraad, wordt verwacht dat hun invloed gering is, waardoor ze buiten beschouwing kunnen worden gelaten. Voor andere factoren zoals temperatuur, neerslag, etc. is het tijdsaspect van significant belang. Bij een enkele meting van de PFAS-concentratie kan er mogelijks een zeer hoge of zeer lage concentratie worden vastgesteld, wat een foutief beeld kan geven als dit wordt veroorzaakt door een tijdsgebonden effect. Om deze reden is het aan te raden om gedurende een voldoende lange periode herhaaldelijk te meten, minimaal vier keer over de duur van één jaar.

Er kunnen ook lokale variaties in de bodemstructuur van de vijver aanwezig zijn, zoals scheuren waar water sneller in de bodem sijpelt, wat verschillen in retentietijd kan veroorzaken en invloed kan hebben op de meetresultaten. Tijdens de workshop is echter besloten dat we van dit ruimtelijke aspect een abstractie kunnen maken en het dus buiten beschouwing kunnen laten.

4.3 Functionele en technische noden

Vóór het oplijsten van de functionele en technische vereisten, werden tijdens de tweede workshop de volgende eindgebruikers van het meetnet geïdentificeerd:

- Expert klimaat & milieu: hoofdgebruiker van de PFAS-metingen
- Toezichthouder: verantwoordelijk voor eventuele handhaving bij te hoge PFAS-concentraties
- Beheerder van het meetsysteem: persoon dat zal instaan voor het operationeel beheer van het meetnet. Het is nog niet duidelijk wie dit juist zal zijn, maar dit is bij voorkeur iemand bij Stad Antwerpen
- Onderzoeker van UA: zal data uit het meetnet gebruiken voor validatie van theoretisch model

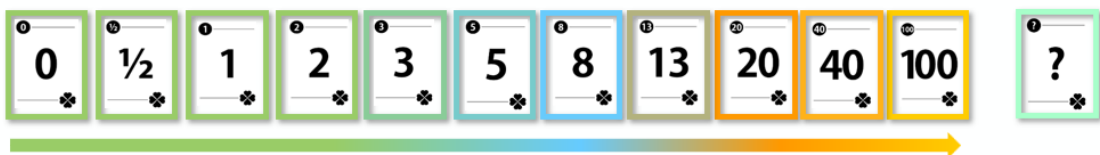
De use cases bekomen uit de tweede workshop zijn gegroepeerd in vier categorieën:

1. Use cases over **wat** het meetnet moet kunnen **meten**
2. Use cases over het **operationeel beheer, onderhoud** en **installatie** van het meetnet
3. Use cases over de **data** verkregen uit het meetnet
4. Use cases over het **ownership** van het meetnet

De toegevoegde waarde van elke use case wordt toegekend door middel van een *planning poker* techniek, waarbij elke use case een score krijgt die de toegevoegde waarde van de use case aangeeft. Deze waarden werden tijdens workshops door de aanwezigen toegekend en gemotiveerd. Onderstaande figuur geeft weer hoe de verschillende scores kunnen geïnterpreteerd worden:

Planning Poker is een 'best practice' voor het inschatten van o.a. waarde, complexiteit en vereiste inspanning.

De kaarten:



De interpretatie voor de spelers:

- | | |
|------|---|
| 0-2 | Hier geef ik niet om, ik zie er de waarde niet van in. |
| 3-5 | Waarom niet, het zou extra waarde kunnen creëren. |
| 8-13 | Interessant, dit brengt zeker meerwaarde voor het meetnet. |
| 20+ | WOW! Dit kan echte veranderingen teweeg brengen en is onmisbaar voor het meetnet. |
| ? | Geen idee, geen ervaring met dit onderwerp. |

1. Use cases over wat het meetnet moet kunnen meten

Use Case 1.1: "Als expert klimaat & milieu kan ik **absolute** PFAS-concentraties meten in het bereik van **10-1000 nanogram/L**, zodat ik alle verwachte PFAS-concentraties kan meten in de context van de Stadsparkvijver."

Score van de toegevoegde waarde: 40

Het meten van absolute PFAS-concentraties is het hoofddoel van het meetnet. De detectielimiet bedraagt 10 nanogram/L, en binnen de context van het effluent uit Den Bell en het water in de Stadsparkvijver wordt verwacht dat de PFAS-concentratie nooit de grens van 1000 nanogram/L zal overschrijden.

*Use Case 1.2: “Als expert klimaat & milieu kan ik **afzonderlijke** concentraties van **5 specifieke PFAS-soorten** meten, zodat ik een specifiek patroon ('fingerprint') van PFAS-soorten uit Den Bell kan identificeren.”*

Score van de toegevoegde waarde: 20

Door het meten van de concentraties van deze 5 PFAS-soorten kan worden ingeschat hoeveel PFAS in het grondwater afkomstig is uit het effluent van Den Bell.

*Use Case 1.3: “Als expert klimaat & milieu kan ik **afzonderlijke** concentraties van een **20-tal PFAS-soorten** meten, zodat ik ook concentraties kan meten van PFAS-soorten die niet noodzakelijk afkomstig zijn uit Den Bell.”*

Score van de toegevoegde waarde: 40

Ten opzichte van use case 1.2 heeft deze use case een hogere toegevoegde waarde, omdat we de concentraties van meer afzonderlijke PFAS-soorten kunnen meten. Hierdoor kan het meetnetwerk ook worden toegepast voor andere bemalingen dan die afkomstig uit Den Bell.

*Use Case 1.4: “Als expert klimaat & milieu kan ik de **totale** PFAS-concentratie in de Stadsparkvijver meten, zodat ik dit kan rapporteren in lijn met de officiële richtlijnen.”*

Score van de toegevoegde waarde: 8

Deze use case heeft een lagere toegevoegde waarde dan use cases 1.2 en 1.3, omdat er geen afzonderlijke concentraties worden gemeten en de metingen dus minder gedetailleerd zijn. Echter voldoet de totale concentratie wel aan de vereisten voor rapportage volgens de wettelijke richtlijnen, waardoor het meten van de totale concentratie nog steeds waardevol is.

*Use Case 1.5: “Als expert klimaat & milieu kan ik in **real-time** absolute PFAS-concentraties meten in het bereik van 10-1000 nanogram/L, zodat ik direct kan laten ingrijpen als dat nodig is.”*

Score van de toegevoegde waarde: 100

Deze use case kreeg een zeer hoge score omdat dit de mogelijkheid zou geven om een automatisch systeem te implementeren waarbij er onmiddellijk kan worden ingegrepen als de PFAS-concentratie te hoog is. Belangrijk is niet zozeer het meten in real-time, maar vooral de directe reactiemogelijkheid bij te hoge concentraties.

*Use Case 1.6: “Als expert klimaat & milieu kan ik (gedurende één enkele meting) absolute PFAS-concentraties meten in het bereik van 10-1000 nanogram/L, **over een specifieke periode (1 maand tot 1 kwartaal)**, zodat ik om de maand een analyse kan voorstellen bij onstabiele in de vijver.”*

Score van de toegevoegde waarde: 13

Belangrijk hierbij is dat er geen doorlopende real-time meting plaatsvindt over de opgegeven periode, maar dat er één meting wordt uitgevoerd als een samenvatting van de afgelopen periode.

Door te meten over een langere periode krijgen we een meer uitgebalanceerd en representatief beeld van de PFAS-concentraties, waarbij fluctuaties in de tijd (pieken en dalen in de PFAS-concentratie) worden meegenomen.

*Use Case 1.7: “Als expert klimaat & milieu kan ik **relatieve** PFAS-concentraties meten, zodat ik inzicht krijg in de hoeveelheid PFAS die naar de grondwaterlaag doorsijpelt.”*

Score van de toegevoegde waarde: 13

Relatieve metingen verwijzen naar metingen die in verhouding staan tot een ijkingswaarde (bv. “zoveel % meer of minder”). Hoewel absolute metingen als waardevoller worden beschouwd, blijven relatieve metingen zeer waardevol.

*Use Case 1.8: “Als expert klimaat & milieu kan ik **de stromingsrichting en -snelheid** meten in het bereik van **0,1-1mm/dag** en met een nauwkeurigheid van **0,01mm/dag**, zodat ik tijdens een analyse het ruimtelijk aspect van de infiltratie van water in de bodem in rekening kan brengen.”*

Deze meetgegevens dragen bij in de validatie van het theoretisch model. Het is niet essentieel dat deze meting wordt uitgevoerd door dezelfde sensor als degene die de PFAS-concentraties meet.

*Use Case 1.9: “Als expert klimaat & milieu kan ik een sensor krijgen met een constante, voorspelbare **foutenmarge van 10%**, zodat ik betrouwbaar en adequaat metingen kan uitvoeren, met een beperkte mate van onnauwkeurigheid.”*

Score van de toegevoegde waarde: 40

Aangezien de PFAS-concentraties in het grondwater zeer laag zijn, wordt een foutenmarge van 10% als zeer gunstig beschouwd.

*Use Case 1.10: “Als toezichthouder kan ik informatie krijgen over de hoeveelheid PFAS die **via een bemaling** in de vijver wordt geïntroduceerd, zodat ik kan beoordelen of handhaving nodig is (en of bijkomende acties vereist zijn) of niet.”*

Score van de toegevoegde waarde: 13

De scope omvat elke vorm van bemaling in de vijver, niet specifiek bemaling afkomstig vanuit Den Bell. Gezien de focus van het project op bemalingen vanuit Den Bell wordt dit eerder als *nice-to-have* beschouwd.

2. Use cases over het operationeel beheer, onderhoud en installatie van het meetnet

In de komende use cases is niet duidelijk bepaald wie verantwoordelijk is voor het operationeel beheer van het meetsysteem. Deze verantwoordelijkheid kan liggen bij Stad Antwerpen, de leverancier van het meetsysteem, of een externe partij. De term "Beheerder van het meetsysteem" kan dus verwijzen naar een van deze drie partijen.

*Use Case 2.1: “Als beheerder van het meetsysteem kan ik als onderdeel van de installatie van het meetnet een **peilbuis** in de **Stadsparkvijver** laten **installeren**, zodat ik hier de sensoren uit het meetnet in kan plaatsen.”*

Score van de toegevoegde waarde: 13

Voor de metingen is het de bedoeling om een of meerdere nieuwe peilbuizen in de vijver te plaatsen. Het zou waardevol zijn als dit ook wordt uitgevoerd door degene die verantwoordelijk is voor de installatie van het meetnet.

Use Case 2.2: “Als beheerder van het meetsysteem kan ik beschikken over een sensor die **geschikt** is voor installatie in een **peilbuis**, zodat ik de sensor op een efficiënte manier in een dergelijke buis kan plaatsen.”

Score van de toegevoegde waarde: 20

Het is geen gegeven dat het meetnet in een peilbuis wordt geïnstalleerd, maar dit wordt beschouwd als de meest voor de hand liggende en efficiënte oplossing om metingen uit te voeren in de verschillende bodemsegmenten.

Use Case 2.3: “Als beheerder van het meetsysteem kan ik een sensor op **verschillende hoogten** in een peilbuis plaatsen, zodat ik de PFAS-concentratie **in de verschillende bodemsegmenten** kan meten.”

Score van de toegevoegde waarde: 40

Het vermogen om in diverse bodemsegmenten te meten wordt als zeer waardevol beschouwd. Over het algemeen is het complexer om metingen uit te voeren in water dat zich in vaste componenten bevindt. Aangezien de grens tussen vaste en vloeibare materie zich ter hoogte van het vijversediment bevindt, zou dit een haalbaar meetpunt voor PFAS-concentraties kunnen zijn.

Deze use case krijgt een hoge score omdat de verschillende hoogtes in de peilbuis impliceren dat PFAS-concentraties effectief kunnen worden gemeten in alle bodemlagen, inclusief die met vaste componenten.

Use Case 2.4: “Als toezichthouder kan ik een **tijdelijke sensor** laten installeren tijdens een tijdelijke bemaling, zodat ik ook andere bemalingen kan opnemen in mijn toezichtsactiviteiten.”

Score van de toegevoegde waarde: 8

De scope is breder dan alleen bemalingen in de Stadsparkvijver, wat voor een toezichthouder een aanzienlijke meerwaarde biedt. Binnen de context van dit project wordt dit eerder als een *nice-to-have* beschouwd.

Use Case 2.5: “Als beheerder van het meetsysteem kan ik beschikken over een sensor die **verplaatsbaar** is, zodat ik deze bij verschillende bemalingen kan gebruiken en installeren.”

Score van de toegevoegde waarde: 13

Zie use case 2.4.

Use Case 2.6: “Als beheerder van het meetsysteem kan ik beschikken over een sensor die **geen onderhoud** vereist, behalve in het geval van een storing, zodat het beheer van de sensor eenvoudig en kostenefficiënt blijft.”

Score van de toegevoegde waarde: 20

Hoe minder onderhoud, hoe beter.

Use Case 2.7: “Als beheerder van het meetsysteem kan ik **automatische meldingen** ontvangen over de correcte werking van de sensor, zodat ik op de hoogte blijf van de sensorstatus en het vertrouwen in de nauwkeurigheid van de metingen behoud.”

Score van de toegevoegde waarde: 13

Het meetnet kan functioneren zonder deze functie, maar de functie is wel zeer wenselijk, omdat handmatige controle van het meetnet niet efficiënt is en regelmatige toegang tot de meetpost in de vijver logistiek moeilijk is.

*Use Case 2.8: “Als beheerder van het meetsysteem kan ik een sensor gebruiken met zowel **herbruikbare** als vervangbare onderdelen (bv. een vernieuwbaar lakmoespapiertje), zodat de duurzaamheid van het systeem wordt bevorderd.”*

Score van de toegevoegde waarde: 8

Bij deze use case wordt ervan uitgegaan dat de sensor zowel een onderdeel heeft dat verbruikt wordt als een herbruikbare component. Hoewel dit geen strikte vereiste is, beoogt men de duurzaamheid van het systeem te bevorderen door te voorkomen dat de gehele sensor moet worden vervangen wanneer het verbruikbare onderdeel is opgebruikt. Voor de correcte werking van het meetsysteem is dit echter minder van belang.

*Use Case 2.9: “Als beheerder van het meetsysteem kan ik de concentraties van **andere PFAS-varianten** meten door de **sensor aan te passen**, zodat de functionaliteit van de sensor wordt uitgebreid.”*

Score van de toegevoegde waarde: 8

De voorkeur gaat uit naar een meetsysteem dat concentraties van diverse PFAS-varianten kan meten zonder aanpassingen.

*Use Case 2.10: “Als beheerder van het meetsysteem kan ik de sensor in de vijver/peilbuis **kalibreren** met hetzelfde **profiel (fingerprint)** van PFAS-soorten als dat gemodelleerd door **Universiteit Antwerpen**, zodat ik kan de metingen kan uitbreiden naar andere PFAS-varianten.”*

Score van de toegevoegde waarde: 8

Zelfde conclusie als bij use case 2.9. Het is waardevol om de meetresultaten uit het meetnet te kunnen correleren met andere metingen, waaronder de metingen van Universiteit Antwerpen.

*Use Case 2.11: “Als beheerder van het meetsysteem kan ik de sensor in de vijver/peilbuis **kalibreren**, zodat verstoring van de directe omgeving van de sensor wordt voorkomen en de **kwaliteit** van de metingen wordt **gewaarborgd**.”*

Score van de toegevoegde waarde: 40

Er bestaat een risico dat als de sensor PFAS vasthoudt, er lokale depletie rondom de sensor optreedt en PFAS wordt onttrokken uit de vaste component, wat de meetresultaten kan beïnvloeden. Indien de kwaliteit van de meetresultaten kan worden gewaarborgd door middel van kalibratie, zou dit aanzienlijke meerwaarde bieden voor het meetnet.

*Use Case 2.12: “Als beheerder van het meetsysteem kan ik een **kwaliteitsgarantie** verkrijgen met betrekking tot de **plaatsing** van de sensor, zodat mijn metingen nauwkeurig blijven, zelfs na onderhoud.”*

Score van de toegevoegde waarde: 20

Het is van essentieel belang dat het meetsysteem op de juiste diepte, locatie en oriëntatie wordt geplaatst om de kwaliteit van de metingen te waarborgen.

*Use Case 2.13: “Als beheerder van het meetsysteem kan ik een intuïtieve en eenvoudig te bedienen (**fool/fieldproof**) sensor onderhouden, zodat jobstudenten, parkmedewerkers, etc. er gemakkelijk mee kunnen omgaan zonder uitgebreide training.”*

Score van de toegevoegde waarde: 13

Indien het meetnet niet 'foolproof' of geschikt voor veldwerk is, bestaat het risico dat het onjuist wordt bediend of geplaatst, wat de kwaliteit van de verzamelde gegevens kan beïnvloeden.

*Use Case 2.14: “Als beheerder van het meetsysteem kan ik een **vandalisme-bestendige** sensor verkrijgen, zodat parkbezoekers de sensoren niet kunnen beschadigen of verstoren.”*

Score van de toegevoegde waarde: 5

Het meetsysteem moet betrouwbaar zijn, maar gezien dit waarschijnlijk in een peilbuis wordt geïnstalleerd is het risico op externe beschadiging minimaal.

3. Use cases over de data verkregen uit het meetnet

*Use Case 3.1: “Als expert klimaat & milieu kan ik sensordata **exporteren** naar een **standaardformaat** (zoals CSV), zodat ik de data zelf kan beheren.”*

Score van de toegevoegde waarde: 40

Het is cruciaal dat de data naar een werkbaar formaat kan worden geëxporteerd.

*Use Case 3.2: “Als onderzoeker van Universiteit Antwerpen kan ik de **ruwe data** in **eenheden van de sensor** verkrijgen, zodat ik de data verkrijg zoals de sensor deze gemeten heeft en hiernaar kan terugkijken tijdens mijn onderzoek.”*

Score van de toegevoegde waarde: 40

Het verkrijgen van ruwe, onbewerkte data in de eenheden die door de sensor zijn gemeten draagt bij tot wetenschappelijke integriteit en transparantie. Voor andere actoren is het noodzakelijk om te weten **hoe** de gegevens kunnen worden **omgezet** naar de eenheden die zij hanteren (bv. nanogram/L).

*Use Case 3.3: “Als toezichthouder kan ik de **ruwe data** verkrijgen in **nanogram/L**, zodat ik ze niet **hoef om te zetten naar andere eenheden**.”*

Score van de toegevoegde waarde: 13

Voor toezichthouders is het van belang dat de meetgegevens bekend zijn in nanogram/L, aangezien deze eenheid ook wordt gebruikt in de wetgeving. De use case krijgt echter een relatief lage score omdat het mogelijk moet zijn dat een toezichthouder zelf in staat is de data naar de gewenste eenheid om te zetten, op voorwaarde dat de nodige formule voor omrekening beschikbaar is.

*Use Case 3.4: “Als expert klimaat & milieu kan ik **metadata** (zoals sensor ID, plaatsingsdiepte, timestamp, etc.) uit de sensor extraheren, zodat deze data achteraf niet handmatig hoeft worden toegevoegd.”*

Score van de toegevoegde waarde: 8

Nuttig om deze informatie uit de sensor te krijgen, maar de data kan ook op een alternatieve manier verkregen worden. Zie ook use case 2.12.

*Use Case 3.5: “Als expert klimaat & milieu kan ik beschikken over een sensor die **geïntegreerd** kan worden met een **3rd party IoT** systeem, zodat ik data (semi-)automatisch kan onttrekken uit het meetsysteem.”*

Score van de toegevoegde waarde: 20

Dit zou een grote meerwaarde bieden, maar het is niet strikt noodzakelijk dat het IoT-systeem wordt aangeboden door de leverancier van de sensoren zelf.

*Use Case 3.6: “Als expert klimaat & milieu kan ik beschikken over een **deels handmatige oplossing** voor het meetsysteem, zodat ik gegevens deels door handmatige handelingen (zoals bv. het verwijderen van lakmoespapier uit de sensor) kan extraheren.”*

Score van de toegevoegde waarde: 5

De voorkeur gaat uit naar een meer geautomatiseerde (IoT) oplossing.

*Use Case 3.7: “Als toezichthouder kan ik toegang krijgen tot een **dashboard** met een **intuïtief gebruikersinterface** dat normen hanteert en rekening houdt met meetonzekerheid, zodat ik in één oogopslag kan vaststellen of de metingen binnen de gestelde normen vallen zonder de gegevens uitgebreid te hoeven interpreteren.”*

Score van de toegevoegde waarde: 8

Voor een toezichthouder is het nuttig om een visualisatie te hebben van de meetgegevens, maar over het algemeen wordt dit eerder als een *nice-to-have* beschouwd.

4. Use cases over het ownership van het meetnet

*Use Case 4.1: “Als expert klimaat & milieu kan ik **eigenaar** zijn van de sensoren, **inclusief** eventuele **software** voor het uitlezen van leesbare en bruikbare data, zodat ik deze als investeringen kan boekhouden.”*

Score van de toegevoegde waarde: 40

De sensoren van het meetnet zullen als investeringen worden beschouwd, wat betekent dat ze eigendom moeten zijn van Stad Antwerpen.

*Use Case 4.2: “Als expert klimaat & milieu kan ik het volledige **operationele beheer** en de **kwaliteitsgarantie** toevertrouwen aan de **systeemleverancier**, zodat ik zeker ben van een continu operationeel en betrouwbaar systeem.”*

Score van de toegevoegde waarde: 5

Dit kan eventueel ook door Stad Antwerpen zelf gedaan worden.

*Use Case 4.3: “Als beheerder van het meetsysteem kan ik beschikken over een **handleiding (draaiboek)** voor het beheer en onderhoud van het meetsysteem, zodat het operationele beheer en de kwaliteitsgarantie in eigen hand blijven.”*

Score van de toegevoegde waarde: 40

De beheerder van het meetsysteem moet iets hebben om op terug te vallen wanneer de systeemleverancier niet betrokken is bij het operationeel beheer van het systeem.

*Use Case 4.4: “Als expert klimaat & milieu kan ik een **sensoraankoop** doen, inclusief onderhoud voor de duur van de POC, zodat ik de **kosten in één keer kan dekken** en geen additionele uitgaven voor onderhoud op lange termijn heb.”*

Score van de toegevoegde waarde: 5

Niet alles hoeft binnen het huidige beschikbare budget te worden geboekt.

4.3.1 Conclusie

Tijdens het *planning poker* proces werden voor de meeste use cases consistente scores toegekend. De aanwezigen in de workshop waren het eens over de toegevoegde waarde van deze use cases. Daarentegen waren er enkele use cases waarbij significante verschillen in scores werden geconstateerd en geen consensuswaarde werd gevonden. Dit kan worden toegeschreven aan de verschillende rollen van de deelnemers - de waarde van een use case kan verschillen afhankelijk van het perspectief van waaruit men scoort. Voor deze use cases werd telkens de hoogste score toegekend en de rol ('Als een <rol> ...') aangepast om overeen te komen met de score.

De evaluatie van de waarde van de use cases leidt tot de conclusie dat de vraag zeer duidelijk en scherp afgebakend is: een meetnet dat in staat is absolute PFAS-concentraties te meten van 20 verschillende PFAS-soorten binnen het bereik van 10-1000 nanogram/L. Daarnaast wordt verwacht dat de sensoren ook stroomsnelheid en -richting kunnen meten in het bereik van 0,1-1 mm/dag. Men verwacht dat de sensoren zullen worden geïnstalleerd in een peilbuis, waarbij metingen op verschillende dieptes in diverse bodemsegmenten mogelijk zijn. Het is ook cruciaal dat de sensordata kwaliteitsvol en betrouwbaar is, en dat deze in een werkbaar formaat kan uitgelezen worden.

Andere aspecten, zoals de mogelijkheid om het meetsysteem breder in te zetten dan enkel bij de Stadsparkvijver, en het bekomen van een IoT-oplossing die automatische gegevensextractie mogelijk maakt, zijn wenselijk maar ondergeschikt aan het verkrijgen van een werkend meetnet.

5 Marktanalyse

Ter voorbereiding op een eventuele marktconsultatie is er onderzoek gedaan naar bestaande oplossingen op de markt die voldoen aan de gewenste functionaliteiten uit de use cases, evenals naar de marktspelers die deze oplossingen aanbieden.

Uit deze studie blijkt dat er momenteel geen sensoren beschikbaar zijn op de markt die voldoen aan de operationele vereisten en zowel PFAS-concentraties als stromingssnelheid en -richting kunnen meten. Er zijn echter wel meetsystemen beschikbaar of in ontwikkeling die één van beide parameters kunnen meten (meetsystemen voor PFAS-concentraties en meetsystemen voor stromingssnelheid en -richting). In sectie 5.1 worden systemen voor het meten van PFAS-concentraties besproken, gevolgd door systemen voor het meten van stromingssnelheid en -richting in sectie 5.2.

5.1 Meetsystemen voor het meten van PFAS-concentraties

Voor het meten van PFAS-concentraties werd er in eerste instantie gekeken naar sensoren dat in het operationele plaatje van Stad Antwerpen passen: herbruikbare, gemakkelijk te installeren en verplaatsbare sensoren die in hun geheel kunnen worden aangeschaft en gebruikt door Stad Antwerpen (zonder tussenkomst van een laboratorium).

In het researchdomein zijn vele methoden beschreven, maar slechts enkele daarvan zijn geschikt voor praktisch veldgebruik of hebben potentieel voor commercialisatie. Enkele van deze oplossingen kunnen worden gecategoriseerd op basis van de onderliggende technologieën die ze gebruiken. Eerst worden Elektrochemische methoden en Elektrochemische biosensoren behandeld. Ten slotte worden technieken waarbij tussenkomst van een laboratorium vereist is beschouwd.

5.1.1 Elektrochemische methodes

Een eerste categorie van oplossingen zijn elektrochemische methodes. Deze methoden vereisen het toedienen van elektrische stroom aan specifieke componenten op de sensor zoals elektroden of chips, om zo een moleculaire reactie op te wekken die de detectie van PFAS mogelijk maakt. De meest vooraanstaande elektrochemische methoden maken gebruik van elektroden die zijn aangepast met Molecularly imprinted polymers (MIP's) of metal-organic frameworks (MOF's).

Elektrochemische sensoren bieden verschillende voordelen, waaronder lage detectielimieten (in het ng/L bereik), selectiviteit voor specifieke PFAS-soorten (wat betekent dat de resultaten niet worden beïnvloed door de aanwezigheid van andere PFAS-soorten), en stabiliteit binnen een breed bereik van pH-, temperatuur- en drukwaarden. Echter, vanwege hun hoge selectiviteit voor een beperkt aantal specifieke PFAS-soorten, kunnen ze over het algemeen alleen de meest voorkomende soorten (zoals PFOS en PFOA) detecteren.

De sensoren worden vaak beschreven als veldtestkits, die voorzien zijn van een potentiostaat voor elektriciteitstoevoer, waarmee real-time on-site metingen kunnen worden uitgevoerd. Momenteel bevinden de aanbieders van dergelijke oplossingen zich nog in de testfase, waarbij vooral met laboratoriumopstellingen wordt gewerkt.

Het is nog onduidelijk wanneer sensoren gebaseerd op deze technologieën daadwerkelijk op de markt beschikbaar zullen zijn. Hoewel de aanbieders van deze oplossingen de ambitie hebben om hun producten in de komende jaren te commercialiseren, blijkt het daadwerkelijk zetten van deze stap een grote uitdaging te zijn. In Bijlage A: State-of-the-Art worden enkele oplossingen uit deze categorie verder gedetailleerd en beoordeeld adhv de beoordelingscriteria uit sectie 5.1.4.

5.1.2 Elektrochemische biosensoren

De oplossingen uit deze categorie maken gebruik van biosensoren, waarbij eiwitten die een affiniteit vertonen met specifieke PFAS-soorten op een chip worden. Door een elektrisch signaal door de chip te sturen, kan worden gemeten hoeveel van de eiwitten gebonden zijn aan PFAS-verbindingen in het water, waardoor de PFAS-concentratie in real-time en tot op gunstige detectielimieten (ng/L) kan worden bepaald.

Ook deze sensoren worden beschreven als draagbare veldtestkits waarmee PFAS-concentraties ter plaatse en in real-time kunnen worden gemeten. Het aantal PFAS-soorten waarvan de concentratie kan worden bepaald is beperkt, de focus ligt opnieuw op enkele veelvoorkomende soorten zoals PFOS en PFOA.

De voornaamste partijen die werken aan dergelijke oplossingen zijn al een stuk verder gevorderd in de commercialisatie van sensoren dan de academische instellingen uit de vorige categorie (sensoren gebaseerd op MIP's en MOF's). Deze bedrijven beschikken al over een bestaand productportfolio en track record, waardoor de kans groter is dat zij met succes een product op de markt kunnen brengen. Concrete tijdslijnen voor de beschikbaarheid van deze oplossingen op de markt zijn echter nog niet bekend. In Bijlage A: State-of-the-Art worden twee aanbieders van dit soort oplossingen in meer detail beschreven en beoordeeld.

5.1.3 Laboratoriumtechnieken

Tot nu toe werden enkel sensoren beschouwd waarmee ter plaatse kan worden gemeten (testkits). De State-of-the-Art techniek voor het meten van PFAS-concentraties vereist echter duur labomateriaal. Gewoonlijk wordt PFAS gemeten met behulp van de LC-MS/MS techniek (Liquid chromatography–mass spectrometry of *Vloeistofchromatografie-massaspectrometrie*). Deze methode scheidt eerst monsters met PFAS in componenten via vloeistofchromatografie. Vervolgens worden deze componenten naar een massaspectrometer geleid, waar ze worden geïoniseerd en gescheiden op basis van hun massa-lading-verhouding. Ten slotte worden de geïdentificeerde PFAS-verbindingen kwantitatief gemeten via massaspectrometrie. Deze techniek garandeert de laagst mogelijke detectielimieten voor het breedste spectrum aan PFAS-soorten en beantwoordt daarom het best de functionele noden.

Er bestaan meerdere welgekende aanbieders dat LC-MS-systemen en labomateriaal aanbieden. Zulke systemen zijn echter zeer duur, dus een goedkoper alternatief is om gebruik te maken van een volledige PFAS-analyseservice. Zowel op de Vlaamse als internationale markt zijn er veel partijen die een volledige analyse aanbieden, inclusief monsternamen, analyse van PFAS-concentraties met behulp van de LC-MS/MS-techniek en het verstrekken van resultaten achteraf. Van de overwogen oplossingen is dit de enige oplossing die reeds beschikbaar is. Beide alternatieven passen echter niet in het beoogde operationele kader van Stad Antwerpen, aangezien een laboratoriumomgeving met getraind personeel vereist is.

In Bijlage A: State-of-the-Art worden beide alternatieven beoordeeld aan de hand van de beoordelingscriteria uit sectie 5.1.4. Enkele aanbieders worden vermeld voor beide alternatieven.

5.1.4 Beoordeling van de soorten oplossingen

Ieder van de drie soorten oplossingen werd beoordeeld op basis van vijf criteria, met als doel het meest geschikte type oplossing te selecteren:

1. Functionele fit

- In hoeverre voldoet de sensor aan de gewenste functionaliteiten? I.e. kan de sensor de gewenste PFAS-soorten detecteren, worden de gewenste detectielimieten gehaald, etc.

2. Operationele geschiktheid van de methode

- Voldoet de sensor aan de verwachtingen met betrekking tot onderhoud, beheer, installatie, aankoopvorm, etc.?

3. Kost

- Schatting van de omvang van de totale systeemkost om gedurende 1 jaar metingen te kunnen uitvoeren

4. Beschikbaarheidstijd

- Geschatte uitroltermijn van de totaaloplossing (sensoren aangekocht, geïnstalleerd, etc.)

5. Vertrouwen tot realisatie

- Intuïtieve schatting of de beschreven sensor daadwerkelijk gerealiseerd zal worden, op basis van de beschikbare informatie

Beoordelingscriteria

Op schaal van 1-5 (meer is beter)

<p>Fit for purpose (hoe geschikt is sensor voor het beoogde doel? I.e. juiste PFAS-soorten, detectielimiet, etc.)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1: Niet geschikt • 3: Beantwoordt de noden grotendeels, maar met beperkingen • 5: Perfect fit 	<p>Beschikbaarheidstijd* (geschatte uitroltermijn van totaaloplossing)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1: 5+ jaar • 3: 2 jaar • 5: ≤6 maanden
<p>Operationele geschiktheid van de methode (voldoet sensor aan verwachtingen m.b.t. onderhoud, beheer, installatie, aankoopvorm etc.)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1: Enkel geschikt voor gebruik in gecontroleerde laboratoriumomgevingen • 3: Werkbare oplossing met enkele beperkingen • 5: Makkelijk verplaatsbare <i>plug-and-play</i> sensor 	<p>Vertrouwen tot realisatie (intuïtieve inschatting of de geplande sensor daadwerkelijk gerealiseerd zal worden, op basis van de beschikbare informatie)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1: Geen (test)resultaten om beweringen te ondersteunen • 3: Veelbelovende testresultaten of een prototype beschikbaar, maar gebrek aan recente vooruitgang • 5: Oplossing bestaat al/bijna klaar voor commercialisatie
<p>Kost* (Totale systeemkost voor metingen gedurende een jaar, ingeschat op basis van de beperkte beschikbare informatie)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1: ≥€100k • 3: €10k • 5: ≤€1k 	

**Ingeschat op basis van domeinkennis en interpretatie van de beperkte beschikbare informatie*

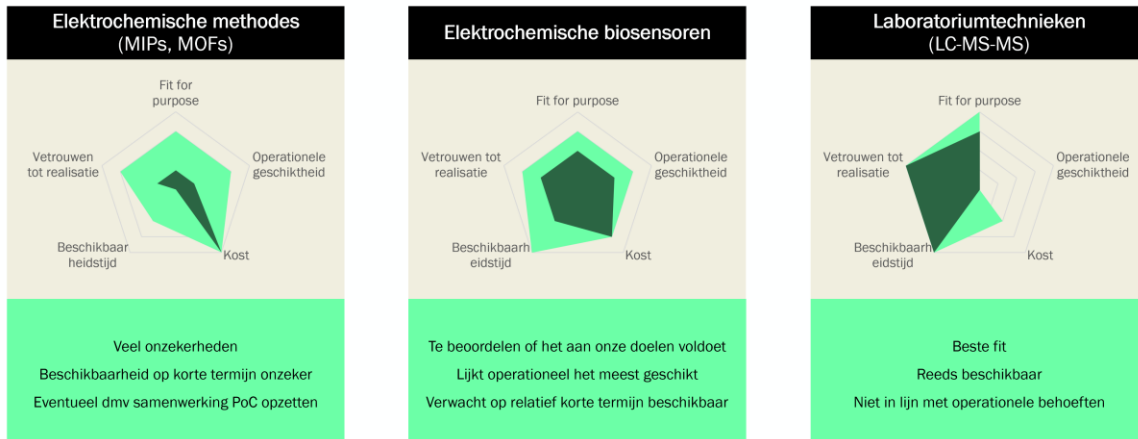
5.1.5 Conclusie

In een interne discussie werden de trade-offs, onzekerheden en scores bij elk type oplossing geschetst. Laboratoriumtechnieken dekken functioneel gezien het best de behoeften van Stad Antwerpen af, maar voldoen niet aan de operationele eisen. Sensoren uit de andere twee categorieën lijken operationeel het meest geschikt, maar het is onzeker of ze voldoende tegemoetkomen aan de functionele behoeften en onduidelijk wanneer deze oplossingen

beschikbaar kunnen zijn. Deze afwegingen worden meegenomen bij het evalueren van de diverse opties voor een totaaloplossing (PFAS + Stromingssnelheid en -richting) in sectie 5.3.

Drie typen oplossingen voor het meten van PFAS-concentraties

Beoordeeld op schaal van 1-5 (meer is beter)



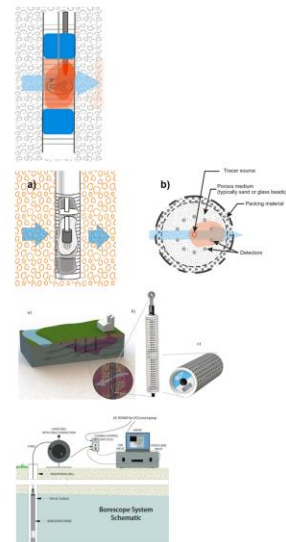
5.2 Meetsystemen voor het meten van stromingssnelheid en -richting

5.2.1 Bestaande technieken

Voor het meten van stromingssnelheid en -richting bestaan er meerdere gekende technieken. In onderstaande figuur volgt een korte uitleg van enkele van de meest gebruikte technieken:

Meerdere gekende technieken, slechts enkelen commercieel beschikbaar

- **Point Dilution Methods**
 - Deel van water in peilbuis gemengd met "tracer" (bv. zouten, radioactieve isotopen of fluorescerende kleurstoffen). Concentratie van tracer over tijd proportioneel met stromingssnelheid.
- **Heat Pulse flowmeter**
 - Zelfde principe als puntverdunningsmethode, maar met **warmte** als tracer.
- **Passive Flux Meter**
 - **Absorberend materiaal** met tracers wordt in een pijlbuis geplaatst. De tracers worden vrijgegeven in functie met de grondwatersnelheid.
- **Colloidal borescope**
 - Water in peilbuis wordt **verlicht** en gemonitord door een camera. Het licht verlicht colloïdale vaste stoffen die zweven in het grondwater dat door de peilbuis stroomt, en de camera registreert de beweging.
- ...



De meeste van deze methoden maken gebruik van tracers: stoffen waarvan makkelijk de concentratie kan worden bepaald en die worden gemengd met grondwater. Door de concentratie van deze tracers te meten, kan de stromingssnelheid van het grondwater worden bepaald.

5.2.2 Aanbieders van stromingssnelheid- en richtingssensoren

Slechts enkele systemen voor het meten van stromingssnelheid en -richting zijn momenteel commercieel beschikbaar. Deze systemen maken gebruik van de technieken vermeld in vorige sectie, en kunnen zowel horizontale en verticale stromingssnelheid meten. Ze voldoen ook aan de operationele behoeften: het is mogelijk om deze sensoren aan te kopen en in een peilbuis te plaatsen. In Bijlage A: State-of-the-Art worden enkele oplossingen in meer detail beschreven en beoordeeld op basis van de criteria uit sectie 5.1.4.

iFLUX

Eén specifieke partij, lokale speler iFLUX, kan met zijn sampling technologie zowel waterstromingssnelheid ('waterflux') als verspreiding van verontreinigingen ('verontreinigingsflux') in grondwater meten. Deze metingen worden echter aangeboden als een totaalservice (volledig meet- en analyseproject), niet als een pakket sensoren dat zonder verdere tussenkomst gebruikt kunnen worden. iFLUX wordt verder behandeld in sectie 5.3, waar mogelijke totaaloplossingen met bijbehorende referentiearchitecturen worden behandeld.

5.3 Totaaloplossing

Zoals eerder vermeld, is een combinatie van metingen van PFAS-concentraties en metingen van stromingssnelheid en -richting nodig, aangezien er momenteel geen sensoroplossingen beschikbaar zijn op de markt die beide metingen in één systeem kunnen integreren. Uit de combinaties van de drie soorten oplossingen voor het meten van PFAS-concentraties (sectie 5.1) met de beschouwde oplossingen voor het meten van stromingssnelheid en -richting (sectie 5.2) volgen twee mogelijke referentiearchitecturen.

Totaaloplossing is een combinatie van PFAS en Stromingsmeting

Met twee verschillende architecturen

	Elektrochemische methodes (MIPs, MOFs)	Elektrochemische biosensoren	Laboratoriumtechnieken (LC-MS-MS)
PFAS	<p>Veel onzekerheden</p> <p>Beschikbaarheid op korte termijn onzeker</p> <p>Eventueel dmv samenwerking PoC opzetten</p>	<p>Te beoordelen of het aan onze doelen voldoet</p> <p>Lijkt operationeel het meest geschikt</p> <p>Verwacht op relatief korte termijn beschikbaar</p>	<p>Beste fit</p> <p>Reeds beschikbaar</p> <p>Niet in lijn met operationele behoeften</p>
Snelheid/richting van grondwater	<p>Te integreren met een flowsensor</p>	<p>Te integreren met een flowsensor</p>	<p>Operationeel integreren (cfr. iFLUX)</p>
Referentie Architectuur	<p>Eén multi-sensor oplossing</p> <p>Samenbrengen van meerdere aanbieders</p>		<p>Eén sensor-dienst combinatie</p> <p>Door één aanbieder</p>

Een eerste mogelijke referentiearchitectuur omvat een combinatie van een PFAS-sensor (MIP's, MOF's of Elektrochemische biosensoren) met een stromingssensor en vereist het samenbrengen van verschillende aanbieders van de deeloplossingen. Dit alternatief ondervindt dezelfde obstakels als beschreven in sectie 5.1, namelijk de grote onzekerheid bij de functionele geschiktheid en de beschikbaarheidstermijn van PFAS-sensoren die geschikt zijn voor veldgebruik.

Als alternatief kan PFAS gemeten worden adhv laboratoriumtechnieken, waarbij het breedste spectrum aan PFAS-soorten kan gedetecteerd worden aan de laagste detectielimieten (zie sectie

5.1.3). Deze metingen, uitgevoerd door een erkend labo, kunnen operationeel worden geïntegreerd met stromingssensoren voor het meten van de grondwatersnelheid en -richting. Uit marktonderzoek blijkt dat **iFLUX** (samen met een partij uit de VS waarmee iFLUX samenwerkt) de enige aanbieder is die deze combinatie van metingen aanbiedt in één oplossing. Deze werkwijze komt niet volledig overeen met de initiële operationele behoeften van Stad Antwerpen (die beide metingen onafhankelijk van andere partijen wil kunnen uitvoeren). Echter, aangezien de functionele behoeften op het eerste zicht grotendeels worden vervuld door de oplossing van iFLUX, is besloten om een 1-op-1 gesprek met hen te voeren om meer informatie te verkrijgen over hun oplossing. Sectie 5.4 geeft een samenvatting van de belangrijkste punten uit dit gesprek.

5.4 Gesprek met iFLUX

Als onderdeel van de marktconsultatie vond op 07/02/2024 een individueel gesprek plaats met een potentiële aanbieder, iFLUX. Deze sectie vat de belangrijkste punten samen die aan bod kwamen tijdens het gesprek.

5.4.1 Bedrijfsprofiel en productportfolio

iFLUX is ontstaan uit doctoraatsonderzoek aan Universiteit Antwerpen, met de ondersteuning van VITO, naar technieken om massafluxen te bepalen. Enkele jaren later hebben de onderzoekers iFLUX als spin-off opgericht om hun ontwikkelde product naar de markt te brengen. Na een aantal jaar van productcommercialisatie heeft iFLUX zich gevestigd als wereldleider in het meten van water- en verontreinigingsfluxen. Het bedrijf voert momenteel meerdere projecten uit wereldwijd en werkt aan de ontwikkeling van nieuwe versies van hun bestaande producten, evenals aan nieuwe technologieën.

iFLUX Samplers

De gepatenteerde sampling technologie van iFLUX kan zowel **waterstromingssnelheid** ('waterflux') als **verspreiding van verontreinigingen** ('verontreinigingsflux') in grondwater meten. iFLUX samplers bestaan uit verschillende cartridges die modulair worden samengebracht, afhankelijk van de verschillende type verontreinigingen en de verschillende dieptes waarop men wil meten. Voor het meten van horizontale flux worden de samplers met een gebruiksvriendelijk installatiesysteem op een bepaalde diepte in een peilbuis geplaatst. Voor verticale flux wordt een ander systeem gebruikt dat rechtstreeks in het bodemsediment wordt geplaatst.

Grondwatersnelheid- en richting

De technologie voor het meten van grondwaterflux (op cm/dag- tot m/dag-niveau) is gebaseerd op het **passieve fluxmeter** principe, dat gebruik maakt van cartridges dat een set wateroplosbare, onschadelijke **tracers** bevat die onafhankelijk van elkaar uitlogen in functie van de grondwatersnelheid. Voor het meten van stromingsrichting is de oplossing afgestemd op specifieke omstandigheden en het beschikbare budget. Dit omvat o.a. het meten van grondwaterstanden, triangulatie, gebruik van de digitale iFLUX flow sensor, en het plaatsen van meerdere samplers in een meetnetwerk.

Verontreiniging

Voor het meten van verontreinigingsflux worden een ander type cartridges gebruikt. Deze cartridges bevatten **sorbentia**, specifiek voor de verontreinigingen die gemeten worden.

Grondwater dat een bepaalde verontreiniging bevat wordt door de cartridge geadsorbeerd en vastgehouden. De cartridges worden een tijd na plaatsing opgehaald en door recuperatie van de geadsorbeerde stoffen kunnen ze geanalyseerd worden in een erkend **labo** (SGS).

PFAS

De PFAS-cartridges van iFLUX, ontwikkeld in samenwerking met een externe leverancier, zijn gevalideerd om de richting en stromingssnelheid van **11 PFAS-soorten** in grondwater te monitoren. De detectielimieten die door deze oplossing worden bereikt, liggen op het niveau van **ng/L**, op de rand van de beoogde detectielimieten voor het project. Deze **11 PFAS-soorten** omvatten **3 van de 5 PFAS-soorten** die werden vastgesteld in het bemalingswater uit **Den Bell**, en die daarom als de belangrijkste soorten werden beschouwd om te monitoren voor het project.

Een belangrijke PFAS-soort die nog **niet gevalideerd** is voor de PFAS-cartridge van iFLUX is **PFBA**, een soort dat moeilijk te detecteren is vanwege zijn korte ketens. iFLUX is zich echter bewust van de toenemende vraag naar PFBA-detectie en onderzoekt op dit moment de mogelijkheid of een nieuwe PFAS-cartridge ontwikkeld kan worden. Dit onderzoek maakt ook deel uit van het Life Capture-project, waarin iFLUX samenwerkt met verschillende internationale partners om onderzoek te doen naar alternatieve technieken en technologieën voor het monitoren van PFAS.

Op dit moment kunnen er echter al **kwalitatieve metingen** worden uitgevoerd op PFBA, wat betekent dat PFBA in het labo geanalyseerd kan worden, maar dat de relatie tussen de PFBA op de cartridge en de PFBA in het grondwater nog niet is gevalideerd. Hiervoor moeten tests worden uitgevoerd om de absorptie- en desorptiecapaciteit te bepalen. In parallel gaat iFLUX na of andere cartridges geschikt zijn voor PFBA -detectie of andere analyses (zoals TOP assay) een toegevoegde waarde hebben en gevalideerd kunnen worden. Bij een uitrol op korte termijn is het mogelijk om nieuwe ontwikkelingen op het gebied van PFBA-detectie in een later stadium aan het meetnet toe te voegen.

Uniciteit

De sampling technologie van iFLUX is **uniek** door de **combinatie** van metingen van water- en verontreinigingsflux. Ze onderscheiden zich daar van traditionele meettechnieken, waarbij concentraties van verontreinigingen op een specifiek tijdstip en op een specifieke locatie worden gemeten en vervolgens worden gecombineerd met simulaties om de verwachte grondwaterstroming te schatten. Deze afzonderlijke metingen bieden minder garantie op nauwkeurige resultaten omdat ze moeten worden gecorreleerd in ruimte en tijd, wat kan leiden tot het optellen van foutenmarges. In tegenstelling hiermee biedt iFLUX een geïntegreerd systeem om zowel grondwaterstroming als verontreinigingsfluxen te meten, met nauwkeurigere resultaten als gevolg.

Naast het aanbieden van passieve flux samplers, richt iFLUX zich ook op digitale monitoringsystemen voor real-time metingen van grondwaterstromingen (snelheid en richtingen) en dynamiek, waarvoor momenteel enkele grootschalige pilootprojecten lopen.

Servicemodel en implementatietraject

iFLUX neemt doorgaans het volledige meet- en analyseproject op zich en biedt hun diensten aan als een **'totaalservice'**. De voornaamste reden hiervoor is dat iFLUX over de **expertise** beschikt voor het uitwerken van een **monitoringplan**: het kiezen van de juiste cartridges, het aantal samplers, de plaatsen waar de samplers moeten geïnstalleerd worden, etc. Daarnaast beschikken klanten over

het algemeen over onvoldoende kennis om fluxresultaten te interpreteren, aangezien er geen normen bestaan voor flux, in tegenstelling tot concentraties. Er werd echter aangegeven dat het model **flexibel** kan zijn indien nodig: de samplers kunnen eventueel worden aangekocht en door een andere partij worden geïnstalleerd, en de meetresultaten kunnen afzonderlijk in een standaardformaat worden meegedeeld. Voor een digitaal monitoringsysteem is het wel noodzakelijk dat iFLUX eigenaar van het materiaal blijft.

Een meetproject bij iFLUX verloopt doorgaans als volgt: Ten eerste werkt iFLUX samen met de klant een monitoring plan uit: na opvragen van informatie en analyseren van de site waar het meetnetwerk wordt geïnstalleerd wordt bepaald welke cartridges voor een specifieke periode (enkele weken tot maanden) en diepte in welke peilbuizen moeten geplaatst worden. Hierna worden de nodige samplers gebouwd en geïnstalleerd door iFLUX zelf. Na het vooraf bepaalde tijdsinterval worden de cartridges opgehaald en geanalyseerd door het labo. Ten slotte verzorgt iFLUX een uitgebreide analyse van de resultaten en wordt dit aan de klant gepresenteerd.

5.4.2 Marktpositie

iFLUX onderscheidt zich als een **unieke speler** op de markt door zowel metingen van water- als verontreinigingsfluxen aan te bieden in één oplossing. De reden waarom iFLUX de enige partij is die op deze manier een oplossing aanbiedt, is tweezijdig.

Ten eerste bestaat de **meerderheid** van de partijen die zich bezig houdt met fluxmetingen van PFAS uit **academische instellingen**. Deze academici richten zich voornamelijk op onderzoek en hebben doorgaans minder focus op de commercialisatie van hun bevindingen. Hun voornaamste doel is vaak het vergaren en verspreiden van kennis, en minder het ontwikkelen van commerciële producten.

Een andere uitdaging is de **commercialisatie van milieubeheeractiviteiten**: voor bedrijven uit de industrie ligt de focus doorgaans niet op het investeren in nieuwe technologieën of diensten op het gebied van milieubeheer, omdat dit niet tot hun kernactiviteiten behoort. Vooral in het geval van PFAS zijn er nog veel onzekerheden en uitdagingen die commercialisatie bemoeilijken.

Deze factoren maken onder andere dat er weinig commerciële partijen in een ver stadium zitten wat betreft commercialisatie van PFAS-monitoring methoden. Naast iFLUX is er nog een partij in de Verenigde Staten die een vergelijkbare oplossing biedt, maar zij worden niet als concurrentie beschouwd aangezien iFLUX met hen samenwerkt voor buitenlandse projecten.

6 Conclusie

Na grondig marktonderzoek is duidelijk geworden dat niet alle vooropgestelde behoeften (zie sectie 4.3) kunnen beantwoord worden door beschikbare oplossingen op de markt. Op dit moment zijn er geen PFAS-sensoren beschikbaar op de markt die real-time metingen op locatie kunnen verrichten en die alle gewenste PFAS-soorten kunnen detecteren; vaak ligt de focus op slechts één of twee van de meest voorkomende varianten. Hoewel verschillende sensoren uit deze categorie in ontwikkeling zijn, blijft het onzeker wanneer dergelijke oplossingen daadwerkelijk beschikbaar zullen zijn. De State-of-the-Art methode voor het meten van PFAS (LC-MS/MS) garandeert de laagst mogelijke detectielimieten en een breed scala aan detecteerbare PFAS-soorten, maar vereist de tussenkomst van een laboratorium, waardoor de resultaten pas na verloop van tijd beschikbaar zijn. Op dit moment is laboratoriumanalyse het enige alternatief dat reeds beschikbaar is waarbij alle gewenste PFAS-soorten kunnen worden gedetecteerd.

Voor het meten van stromingsnelheid en -richting zijn er slechts een beperkt aantal beschikbare oplossingen, waarbij de laagste detectielimieten doorgaans in het bereik van cm/dag liggen, wat groter is dan de gewenste mm/dag. Eén specifieke aanbieder, de lokale speler iFLUX, onderscheidt zich door als enige op de markt een oplossing aan te bieden waarbij zowel stromingsnelheid en -richting als PFAS-concentraties kunnen worden gemeten. iFLUX biedt deze oplossing aan als een totaalservice, inclusief installatie, beheer en analyse van de resultaten.

Rekening houdend met de eerder genoemde factoren, zoals het beperkte aanbod op de markt en de beperkingen van de methoden in ontwikkeling, lijkt het aankopen van een totaalservice (waarbij implementatie, beheer en analyse in handen van de aanbieder liggen) de meest veelbelovende aanpak om een oplossing te verkrijgen op korte termijn. iFLUX onderscheidt zich als een unieke aanbieder op dit gebied en is dus de enige speler die een dergelijke oplossing aanbiedt waarbij beide parameters (PFAS + stromingsrichting en -snelheid) in rekening worden gebracht.

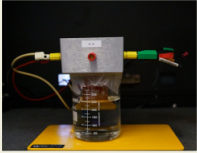

Deze piste kan worden beschouwd als een innovatieve benadering vanwege de grote technologische uitdagingen. Zelfs bij de oplossing van iFLUX moet nog verdere ontwikkeling gebeuren om de initiële vraag af te dekken, wat het gebrek aan beschikbare commerciële oplossingen verklaart. iFLUX' unieke positie als enige aanbieder op de markt met een dergelijke oplossing benadrukt nogmaals de innovatie van dergelijk meetproject.

Bijlage A: State-of-the-Art

Elektrochemische methodes

Elektrochemische methodes

Methodes gebaseerd op MIPs (Molecularly Imprinted Polymers) en MOFs (Metal-Organic Frameworks)

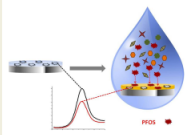
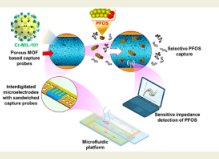
<p>Onderzoeksgroep aan Purdue University (2020-2023)</p>  <ul style="list-style-type: none"> Doel: ontwikkelen van een herbruikbare, makkelijk te installeren en kost-effectieve sensor op basis van MIPs voor het meten van zowel specifieke als totale PFAS in rivierwater Voorlopige prestaties: <ul style="list-style-type: none"> PFOS en PFOA met succes gemeten in rivierwatermonsters (hoge concentraties humuszuur en chloride) met een MIP-gebaseerde chip in een labo-omgeving Methode is minder goed in het onderscheiden van PFOS en kleinere PFAS zoals GenX, maar wel van gefluoreerde en niet-gefluoreerde verbindingen Toekomstige stappen: sensor testen in omgeving, met de hoop op commercialisering in de komende jaren (mogelijks in collaboratie met MITRE) 	<p>Fit for purpose 2-3</p> <ul style="list-style-type: none"> Voorlopig enkel PFOS en PFOA, oppervlaktewater <p>Operationele geschiktheid 2-3</p> <ul style="list-style-type: none"> Voorlopig eerder een labo set-up met randvoorwaarden (zie MITRE) <p>Kost 5</p> <ul style="list-style-type: none"> Zelf aangegeven als kost-effectief <p>Beschikbaarheidstijd 2</p> <ul style="list-style-type: none"> Geen concrete timeline <p>Vertrouwen tot realisatie 3</p> <ul style="list-style-type: none"> Veelbelovend, maar gebrek aan concrete roadmap
<p>2Witech – Amerikaanse start-up (Opgericht in 2019, 1-10 werknemers, ~\$500k financiering)</p>  <ul style="list-style-type: none"> Doel: <ul style="list-style-type: none"> Draagbaar elektrochemisch meetsysteem gebaseerd op MIPs voor on-site detectie van specifieke PFAS-soorten (onbekend welke exact) Gekenmerkt door hoge sensitiviteit (tot 1ng/L), hoge selectiviteit, snelle detectie (<1 uur per monster) en lage operationele en onderhoudskosten Bedoeld voor toepassing in o.a. drink-, afval- en grondwater. Voorlopige prestaties: <ul style="list-style-type: none"> Detectielimiet van 10 ng/L gehaald voor PFOS en PFOA Methode gepatenteerd Toekomstige stappen: <ul style="list-style-type: none"> Valideren van het apparaat op gefilterd water van potentiële klanten Wijzigen van de sensor om specifieke PFAS-klassen of totale PFAS te detecteren 	<p>Fit for purpose 3-4</p> <ul style="list-style-type: none"> Voorlopig enkel PFOS en PFOA, maar doel om uit te breiden; grondwater <p>Operationele geschiktheid 3</p> <ul style="list-style-type: none"> Hybride tussen veldkit en labomateriaal <p>Kost 5</p> <ul style="list-style-type: none"> Vergelijkbaar met Purdue <p>Beschikbaarheidstijd 3</p> <ul style="list-style-type: none"> Testen bij klanten <p>Vertrouwen tot realisatie 3</p>

© 2023 Addestino all rights reserved

ADDESTINO

Elektrochemische methodes

Methodes gebaseerd op MIPs (Molecularly Imprinted Polymers) en MOFs (Metal-Organic Frameworks)

<p>Onderzoeksgroep aan Ca' Foscari University of Venice (2018)</p>  <ul style="list-style-type: none"> Doel: Sensor gebaseerd op MIPs die PFOS ter plaatse en in real-time meet, tegen een fractie van de kosten van laboratoriummethoden Voorlopige prestaties: <ul style="list-style-type: none"> PFOS tot op 20 ng/L gedetecteerd in water met toegevoegd ferroceencarbonzuur Methode gepatenteerd Toekomstige stappen: <ul style="list-style-type: none"> Onderzoek legde de basis voor andere MIP-gebaseerde methodes, maar sinds 2019 op zoek naar een licentie- of ontwikkelingspartner voor de productie van de sensor 	<p>Fit for purpose 2</p> <ul style="list-style-type: none"> Enkel PFOS <p>Operationele geschiktheid 3-4</p> <ul style="list-style-type: none"> Soort van testkit, real-time <p>Kost 5</p> <p>Beschikbaarheidstijd 1-2</p> <p>Vertrouwen tot realisatie 2</p> <ul style="list-style-type: none"> Weinig beweging sinds 2019
<p>Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) - Nationaal Laboratorium van het Amerikaanse Ministerie van Energie New Jersey Institute of Technology (NJIT) (Onderzoek gestart in 2018)</p>  <ul style="list-style-type: none"> Doel: <ul style="list-style-type: none"> Ontwikkelen van een lab-on-a-chip sensor gebaseerd op MOFs dat verschillende PFAS-soorten kan detecteren 2 versies: één voor veldgebruik en één die kan worden geïntegreerd in afvalwaterzuiveringssystemen Voorlopige prestaties: <ul style="list-style-type: none"> In real-time PFOS in water gedetecteerd tot op 10 ng/L Patent op sensor aangevraagd Toekomstige stappen: <ul style="list-style-type: none"> Uitbreiden naar andere PFAS-soorten, o.a. PFOA, PFBA, PFBS en GenX – in verschillende grondwaterbronnen Hoop om te commercialiseren binnen de 2 jaar, startup Essence Diagnostics opgericht om de chips en andere technologie te integreren in een prototypesysteem 	<p>Fit for purpose 4</p> <ul style="list-style-type: none"> Verschillende PFAS-soorten, lage detectielimieten <p>Operationele geschiktheid 4</p> <ul style="list-style-type: none"> Testkit voor veldgebruik <p>Kost 5</p> <ul style="list-style-type: none"> Gelijkaardig met MIP sensoren <p>Beschikbaarheidstijd 3</p> <ul style="list-style-type: none"> ... binnen 2 jaar ... <p>Vertrouwen tot realisatie 3</p> <ul style="list-style-type: none"> Weinig te vinden over start-up


© 2023 Addestino all rights reserved


ADDESTINO

Elektrochemische biosensoren

Elektrochemische Biosensoren

Op basis van eiwit (biosensor) dat affiniteit vertoont met PFAS

FREDsense – Canadees biotechnologiebedrijf (Opgericht in 2014, 11-50 werknemers, ~\$2,6M financiering)		Fit for purpose	4
	<ul style="list-style-type: none"> Doel: <ul style="list-style-type: none"> Draagbaar veldkitsysteem dat de concentratie van zowel totale hoeveelheid PFAS als afzonderlijke PFAS-soorten op ng/L-niveau kan meten in drinkwater, industrieel afvalwater en grond/oppervlaktewater van vervuilde locaties Integreert een PFAS-responsieve biosensoroplossing in het al bestaande platform van FREDsense Voorlopige prestaties: <ul style="list-style-type: none"> Bestaand platform voor arseen en andere verontreinigingen op de markt, aanpasbaar voor diverse toepassingen Toekomstige stappen: <ul style="list-style-type: none"> In samenwerking met partners het systeem commercialiseren "System is coming soon" – februari 2023 	<ul style="list-style-type: none"> Afzonderlijke en totale PFAS, grondwater 	4
	<ul style="list-style-type: none"> Operatieve geschiktheid <ul style="list-style-type: none"> Draagbare testkit, snelle resultaten 	4	
		Kost	~4
		Beschikbaarheidstijd	3~4
		Vertrouwen tot realisatie	3~4

Allonnia - bio-ingenuity bedrijf uit Boston, VS (Opgericht in 2019, ~\$90M financiering)		Fit for purpose	3
	<ul style="list-style-type: none"> Doel: Draagbare testdetectieset dat real-time PFOA-concentratie kan meten in drink- en afvalwater Voorlopige prestaties: <ul style="list-style-type: none"> PFOA gedetecteerd op ng/L-niveau in gezuiverd water op basis van een eiwit dat een sterk bindend vermogen voor PFOA vertoont Toekomstige stappen: <ul style="list-style-type: none"> Evalueren van de gevoeligheid van het eiwit in aanwezigheid van complexe grondwatermonsters en verbindingen met een vergelijkbare structuur als PFOA Andere eiwitten screenen op bindingspotentieel voor andere PFAS-verbindingen Samen met hardwareprovider toestel ontwikkelen <ul style="list-style-type: none"> 2022: "Commerciële lancering gepland voor 2023" 2023: "Verdere labotesten aan de gang" 	<ul style="list-style-type: none"> Voorlopig enkel PFOA 	3
			Operatieve geschiktheid
		<ul style="list-style-type: none"> Draagbare testkit, snelle resultaten 	4
		Kost	4
		Beschikbaarheidstijd	4~5
		<ul style="list-style-type: none"> Concreter qua timeline 	4
		Vertrouwen tot realisatie	4





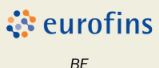




© 2023 Addestino all rights reserved |

ADDESTINO |

Laboratoriumtechnieken

PFAS wordt gewoonlijk gemeten mbv LC-MS-MS*

Verschillende partijen bieden labomateriaal of PFAS-analyse als service aan

Leveranciers labomateriaal en -systemen		PFAS-analyse als service	
Wat Voorbereidingssystemen voor monsters, verbruiksmaterialen en LC-MS systemen, evenals complete workflows voor gestandaardiseerde methoden zoals ISO 21675:2019, US EPA 8327, US EPA 533 en US EPA 537.1		Wat Analyse van PFAS mbv de LC-MS-MS techniek met faciliteiten die geaccrediteerd zijn volgens ISO, Europese en Amerikaanse normen in verschillende soorten water en bodem.	
Wie  VS  VS  BE/VS		Wie  BE  BE  NL  PIH Antwerpen  BE  BE	
Fit for purpose	5	Fit for purpose	5
Operatieve geschiktheid	1	Operatieve geschiktheid van de methode	1
Kost	1~2	Kost	2~3
Beschikbaarheidstijd	5	Beschikbaarheidstijd	5
Vertrouwen tot realisatie	5	Vertrouwen tot realisatie	5

*LC-MS-MS: Liquid chromatography-mass spectrometry

© 2023 Addestino all rights reserved |

ADDESTINO |

Aanbieders van stromingsnelheid- en richtingssensoren

Aanbieders van oplossingen voor het meten van stromingsnelheid en -richting

<p>Aquavector – GC – NL (Opgericht in 2013, 2-10 werknemers)</p>  <ul style="list-style-type: none"> Sensor: Grondwatersensor voor het meten van stromingsnelheid en -richting op basis van hittepuls technologie (detectielimiet niet vermeld) Status: Sinds 2019 verschillende pilotoprojecten opgezet. Door recente goedkeuring van subsidieaanvraag kan sensor worden doorontwikkeld. 	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Fit for purpose</td> <td>4-5</td> </tr> <tr> <td>Detectielimiet niet vermeld</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Operationele geschiktheid</td> <td>4-5</td> </tr> <tr> <td>Niet volledig duidelijk hoe sensor geplaatst wordt</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Kost</td> <td>~4</td> </tr> <tr> <td>Beschikbaarheidstijd</td> <td>3-4</td> </tr> <tr> <td>Vertrouwen tot realisatie</td> <td>3-4</td> </tr> </tbody> </table>	Fit for purpose	4-5	Detectielimiet niet vermeld		Operationele geschiktheid	4-5	Niet volledig duidelijk hoe sensor geplaatst wordt		Kost	~4	Beschikbaarheidstijd	3-4	Vertrouwen tot realisatie	3-4
Fit for purpose	4-5														
Detectielimiet niet vermeld															
Operationele geschiktheid	4-5														
Niet volledig duidelijk hoe sensor geplaatst wordt															
Kost	~4														
Beschikbaarheidstijd	3-4														
Vertrouwen tot realisatie	3-4														
<p>Kerfoot technologies – VS (Opgericht in 1978, 11-50 werknemers)</p>  <ul style="list-style-type: none"> Sensor: GeoFlo grondwaterstromingsmeters gebaseerd op hittepuls technologie voor snelle, on-site meting van stromingsnelheid en -richting. 3 modellen beschikbaar met verschillende afmetingen en detectielimieten (~6cm/dag tot 30m/dag). Status: Commercieel beschikbaar 	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Fit for purpose</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Relatief hoge detectielimiet</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Operationele geschiktheid</td> <td>3-4</td> </tr> <tr> <td>Plaatsing in peilbuis mogelijk, verschillende modellen voor horizontale of verticale stroming</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Kost</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Beschikbaarheidstijd</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Vertrouwen tot realisatie</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	Fit for purpose	4	Relatief hoge detectielimiet		Operationele geschiktheid	3-4	Plaatsing in peilbuis mogelijk, verschillende modellen voor horizontale of verticale stroming		Kost	3	Beschikbaarheidstijd	5	Vertrouwen tot realisatie	5
Fit for purpose	4														
Relatief hoge detectielimiet															
Operationele geschiktheid	3-4														
Plaatsing in peilbuis mogelijk, verschillende modellen voor horizontale of verticale stroming															
Kost	3														
Beschikbaarheidstijd	5														
Vertrouwen tot realisatie	5														
<p>Geotech – VS (Opgericht in 1956, 100-250 werknemers)</p>  <ul style="list-style-type: none"> Sensor: Colloidal borescope dat de richting en snelheid (tot 30mm/s) van het grondwater kan meten in real-time. Pakket bevat ook software om data te analyseren. Status: Commercieel beschikbaar 	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Fit for purpose</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Richting en snelheid, min. snelheid niet duidelijk</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Operationele geschiktheid</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Plaatsing in peilbuis mogelijk, real-time</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Kost</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Beschikbaarheidstijd</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Vertrouwen tot realisatie</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	Fit for purpose	4	Richting en snelheid, min. snelheid niet duidelijk		Operationele geschiktheid	5	Plaatsing in peilbuis mogelijk, real-time		Kost	3	Beschikbaarheidstijd	5	Vertrouwen tot realisatie	5
Fit for purpose	4														
Richting en snelheid, min. snelheid niet duidelijk															
Operationele geschiktheid	5														
Plaatsing in peilbuis mogelijk, real-time															
Kost	3														
Beschikbaarheidstijd	5														
Vertrouwen tot realisatie	5														

© 2023 Addestino all rights reserved |

| ADDESTINO |

iFLUX

iFLUX kan waterstromingsnelheid en verontreinigingsflux meten

Combinatie met labo voor PFAS-meting as-a-service

<p>iFLUX: Sensing solutions</p>  <ul style="list-style-type: none"> Sensor: <ul style="list-style-type: none"> Sensing solutions: meetnetwerk voor real-time metingen van de snelheid en richting van grondwaterstroming, zowel horizontaal als verticaal en met een bereik van 1-500cm/dag. Status: Commercieel beschikbaar als totaalpakket (incl. on-site installatie, dashboards) 	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Fit for purpose</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Snelheid en richting, maar relatief hoge detectielimiet.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Operationele geschiktheid</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Real-time, plaatsing in peilbuis, onderhoud en installatie door hen uitgevoerd</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Kost</td> <td>2-3</td> </tr> <tr> <td>Duurder door totaalpakket</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Beschikbaarheidstijd</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Vertrouwen tot realisatie</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	Fit for purpose	4	Snelheid en richting, maar relatief hoge detectielimiet.		Operationele geschiktheid	5	Real-time, plaatsing in peilbuis, onderhoud en installatie door hen uitgevoerd		Kost	2-3	Duurder door totaalpakket		Beschikbaarheidstijd	5	Vertrouwen tot realisatie	5
Fit for purpose	4																
Snelheid en richting, maar relatief hoge detectielimiet.																	
Operationele geschiktheid	5																
Real-time, plaatsing in peilbuis, onderhoud en installatie door hen uitgevoerd																	
Kost	2-3																
Duurder door totaalpakket																	
Beschikbaarheidstijd	5																
Vertrouwen tot realisatie	5																
+																	
<p>iFLUX: Samplers</p>  <ul style="list-style-type: none"> Sensor: <ul style="list-style-type: none"> Samplers: Naast de stromingsnelheid van grondwater wordt ook de verspreidingsnelheid van bepaalde verontreinigingen gemeten, waaronder meerdere PFAS-soorten. De samplers worden voor een periode van 1 week tot 6 maanden in een peilbuis geplaatst waarna ze worden opgestuurd naar een erkend labo (SGS) voor analyse Status: Commercieel beschikbaar als totaalpakket 	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Fit for purpose</td> <td>3-4</td> </tr> <tr> <td>Massaverplaatsing van verschillende specifieke PFAS-soorten (3/5 uit Den Bell). Niet geweten wat detectielimieten zijn.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Operationele geschiktheid</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>PFAS resultaten niet real-time, analyse door labo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Kost</td> <td>2-3</td> </tr> <tr> <td>Duurder door totaalpakket (incl. analyse)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Beschikbaarheidstijd</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Vertrouwen tot realisatie</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	Fit for purpose	3-4	Massaverplaatsing van verschillende specifieke PFAS-soorten (3/5 uit Den Bell). Niet geweten wat detectielimieten zijn.		Operationele geschiktheid	1	PFAS resultaten niet real-time, analyse door labo		Kost	2-3	Duurder door totaalpakket (incl. analyse)		Beschikbaarheidstijd	5	Vertrouwen tot realisatie	5
Fit for purpose	3-4																
Massaverplaatsing van verschillende specifieke PFAS-soorten (3/5 uit Den Bell). Niet geweten wat detectielimieten zijn.																	
Operationele geschiktheid	1																
PFAS resultaten niet real-time, analyse door labo																	
Kost	2-3																
Duurder door totaalpakket (incl. analyse)																	
Beschikbaarheidstijd	5																
Vertrouwen tot realisatie	5																

© 2023 Addestino all rights reserved |

| ADDESTINO |