

De dynamiek in onze bodem wordt nog te vaak onderschat

Fluxmetingen als ontbrekend puzzelstuk

In de zoektocht naar alternatieve technieken ontdekte Goedele Verreydt tijdens haar doctoraat de potentiële meerwaarde van fluxmetingen tijdens bodemonderzoek. Deze geven niet alleen een beeld over welke verontreiniging er in de ondergrond zit, maar bovenal hoe ze zich - met welke snelheid - naar welke richtingen verplaatsen. Dit inspireerde haar tot de doorontwikkeling van een unieke passieve flux sampling technologie, die vorig jaar werd gelanceerd via de spin-off iFLUX.

Door: Tim Op 't Eyndt en Goedele Verreydt

Over de auteurs:

Tim Op 't Eyndt en Goedele Verreydt zijn de oprichters van iFLUX als onafhankelijke spin-off van VITO en de Universiteit van Antwerpen. Goedele Verreydt leidde jarenlang het onderzoek en de ontwikkeling van de technologie.

Het is een open deur intrappen door te stellen dat complexe verontreinigingen vaak leiden tot een lang en frustrerend saneringsproces, zowel voor deskundige als eigenaar. Oorzaak is vaak de onzekerheid over hoe ver de verontreiniging reikt, zowel horizontaal als verticaal in onze dynamische ondergrond. Traditionele metingen leveren een 'snapshot' van de verontreiniging, maar blijken vaak ontoereikend. Doordat piekconcentraties de monitoringspeilbuis passeren en de monitoring niet continu plaatsvindt, is het niet uitgesloten dat bepaalde pollutiepieken niet worden opgemerkt. Bovendien kan er ook niet gecorrigeerd worden voor schommelingen in grondwaterstand en grondwaterstromingssnelheid.

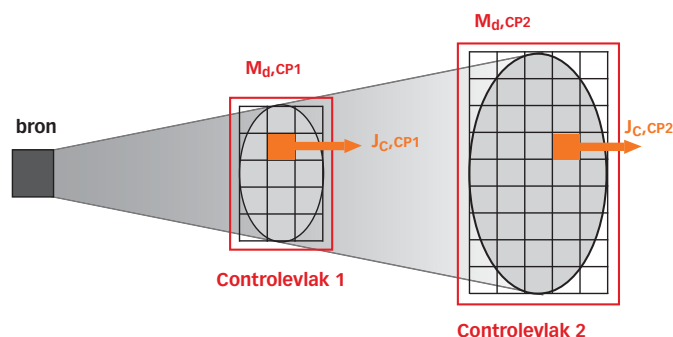
"Fluxmetingen zoals de iFLUX technologie kunnen de impact van bodem- en grondwaterverontreiniging op een receptor in beeld brengen. Dit kan helpen om de risico's die uitgaan van een verontreiniging beter in te schatten", aldus Bert Van Goidsenhoven (OVAM). De massa pollutie die vrijkomt uit een bronzone en effectief een lager gelegen receptor bereikt, bepaalt immers het werkelijke risico.

FLUXEN EN VRACHTEN

Een 'polluentflux' (J_c) wordt gedefinieerd als de hoeveelheid pollutie, in massa uitgedrukt, die per tijdseenheid en per oppervlakte-eenheid doorheen een controlevlak stroomt, doorgaans loodrecht op de grondwaterstromingsrichting.¹ De hoeveelheid pollutie die per tijdseenheid doorheen het hele controlevlak stroomt, wordt door het begrip 'polluentvracht' (M_d) gevat. Polluentflux kan direct of indirect gemeten worden via passieve sampling technieken², terwijl pollutievracht een interpolatie of modellering vereist (zie figuur 1).

Fluxmetingen kunnen nuttige informatie aanleveren in nagenoeg elke fase van het bodemsaneringsproces

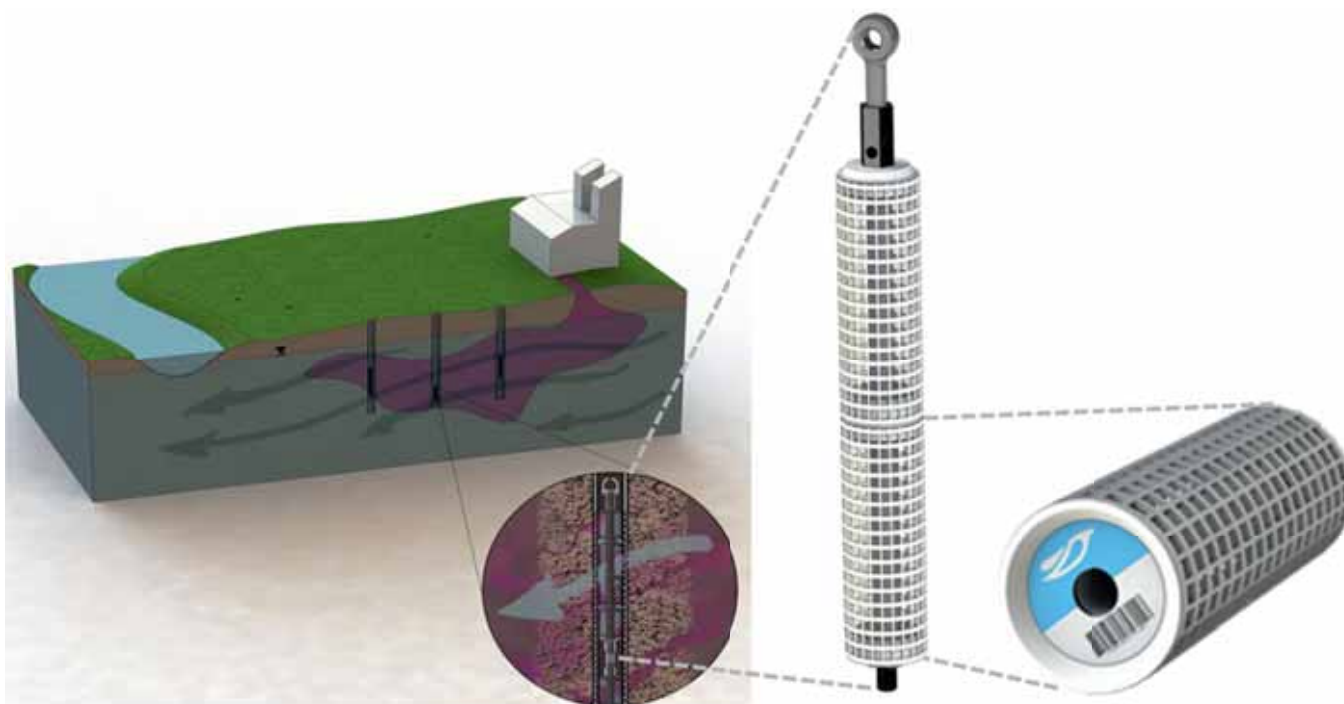
Het begrip 'waterflux' (q_0) is heel analoog aan het begrip pollutieflux en wordt gedefinieerd als het volume water dat per tijdseenheid en per oppervlakte-eenheid doorheen een controlevlak stroomt.



FIGUUR 1: CONCEPT VAN POLLUENTFLUX (J_c) AND POLLUENTVRACHT (M_d).^{3,4}

PASSIEVE FLUX SAMPLING

Er zijn het afgelopen decennium heel wat passieve samplers ontwikkeld. Passieve samplers met toenemende populariteit zijn o.a. Passive Diffusion Bag, SorbiCell, Passive Flux Meter (PFM), Ceramic Dosimeter en Mescosampler. Het potentiële gebruik van passieve samplers voor het meten van fluxen werd uitgebreid onderzocht tijdens een doctoraatsonderzoek.² Om een flux te kunnen afleiden uit de analyse van een passieve sampler, dient er een rechtstreeks verband te zijn tussen de grondwaterstro-



FIGUUR 2: IFLUX SAMPLER: A) VELDCONCEPT, B) IFLUX SAMPLER EN C) IFLUX CARTRIDGE.¹¹

mingssnelheid en de samplingssnelheid. Dit was enkel het geval voor de PFM, ontwikkeld door de University of Florida.^{5,6,7,8} In 2010 werd de eerste Europese PFM-veldtoepassing uitgevoerd⁹, de technologie gevalideerd en geoptimaliseerd en werd de focus van de PFM uitgebreid van bron- naar pluimzonemonitoring.¹⁰ Hiermee werd de iFLUX sampler geboren.

De iFLUX sampler is een passieve sampler die gebaseerd is op de principes van advectie en adsorptie. De sampler bestaat uit permeabele cartridges dewelke gevuld zijn met een specifieke sorbensmatrix. Grondwater stroomt advectief doorheen de cartridges wat een rechtstreeks verband toelaat tussen de samplingssnelheid en de stromingsnelheid. De sorbensmatrix van de waterflux cartridge is geïmpregneerd met gekende hoeveelheden wateroplosbare tracers. Deze tracers elueren uit de matrix aan snelheden evenredig met de grondwaterstromingssnelheid. De gemeten polluenten en achtergebleven tracers op de sorbensmatrix zijn een maat voor de respectievelijke grondwater en pollutentfluxen.

De iFLUX sampler kan rechtstreeks in een (bestaande) peilbuis geïnstalleerd worden waar het de grondwaterstroming snijdt en de polluenten capteert (Figuur 2).

MODULAIR SYSTEEM LAAT SIMULTANE METING VAN VERSCHILLENDE PARAMETERS TOE

De iFLUX technologie is ontwikkeld als een modulaire systeem dat handig in te hangen is in bestaande peilbuizen (zie foto). Een overzicht van de eigenschappen van de modulaire iFLUX sampler is opgenomen in tabel 1. Afhankelijk van de omstandigheden op de verontreinigde site kunnen er meerdere polluenten bemeaten worden in verschillende peilbuizen op meerdere dieptes. In nauwe samenwerking met labopartner SGS werden de afgelopen maanden de verschillende analysepakketten gevalideerd. Naast de gevalideerde analysepakketten voor VOCL, BTEX, PAK's, zware metalen, nutriënten en 1,4-dioxaan, worden momenteel de validatietesten uitgevoerd voor PFOS/PFAS, cyaniden en pesticiden.

FLUXEN METEN EN INTERPRETEREN

In nauwe samenwerking met de milieuconsultant wordt typisch een monitoringplan opgesteld. Vanuit de nood van de klant wordt er zo bepaald welke cartridges voor een specifieke periode

en diepte in welke peilbuizen moeten geplaatst worden. Een meetcampagne duurt gemiddeld tussen 3 en 12 weken. De duur wordt bepaald door enerzijds de verwachte stromingssnelheid en anderzijds het verwachte concentratieniveau (bron- versus pluimzone).

Een in een peilbuis opgemeten flux is verschillend van de effectieve flux die doorheen een aquiferpakket er omheen gaat. Het grondwaterstromingsveld rond een peilbuis, al dan niet uitgerust met een iFLUX-sampler, zal verstoord zijn vanwege het verschil in hydraulische conductiviteit rondom de peilbuis filter, het meetinstrument zelf en de omliggende watervoerende aquiferpakketten. Fluxmetingen die in een peilbuis worden uitgevoerd, moeten daarom altijd worden gecorrigeerd voor deze stromingsveldafbuiging.¹² Dankzij continue testen en validatie, aangevuld met een 3D-simulatie, kan de impact van de belangrijkste omgevingspa-

TABEL 1: EIGENSCHAPPEN VAN DE IFLUX SAMPLER

Eigenschap	Parameter	Beschrijving
Dimensies cartridge	lengte	14,1 cm
	diameter	50 mm (standaard, op vraag aanpasbaar)
Cartridges per stang	aantal	2
	lengte stang	33 cm
Cartridge types	Blauw	Waterflux
	Rood	Vluchtige Organische Componenten
	Grijs	Zware metalen
	Geel	Nutriënten
	Paars	1,4-Dioxaan
Materiaal	centerbuis	polypropyleen
	bevestigingsstang + kabel	inox
	buitenste gaas	100% polypropyleen
Sorbens	materiaal	actieve kool, polymere resins
	tracers	methanol, ethanol, 2-propanol, tert-butanol en 2,4-dimethyl-3-pentanol



FOTO 1: DEMONSTRATIE/ INSTALLATIE VAN IFLUX CARTRIDGES.

rameters correct in rekening worden gebracht om een grondwater- en pollutantflux te berekenen die zo dicht mogelijk bij de werkelijkheid leunt.

De geïnterpreteerde data geven daarna een duidelijker beeld van de verspreidingssnelheid van de onderzochte componenten. Figuur 3 geeft een fluxresultaat weer met de bijhorende lithologie en het installatieschema van de fluxsamplers in de peilbuis. De fluxresultaten van de verschillende pollutanten worden samen met de waterfluxresultaten gevisualiseerd in functie van de diepte.

MEERWAARDE VÓÓR, TIJDENS EN NA DE SANERING

Fluxmetingen kunnen nuttige informatie aanleveren in nagenoeg elke fase van het bodemsaneringsproces: het levert unieke informatie tijdens de risico karakterisatie, geeft inzicht in de zoektocht naar de meest effectieve saneringstechniek, volgt de efficiëntie van de sanering nauw op, en biedt een accurate en eenvoudige controle monitoring achteraf.

Meer nauwkeurige karakterisering

De complexiteit in de ondergrond laat niet altijd toe om de verspreidingsrisico's van een vastgestelde verontreiniging correct in te schatten met staalnames. Correct toegepaste fluxmetingen geven meer informatie over de mobiliteit van de pluim.

Ontwerp saneringsplan

In situ metingen van pollutantfluxen leveren essentiële data die kunnen worden gebruikt om het ontwerp van saneringsmaatregelen te optimaliseren. Hoge fluxzones kunnen worden aangeduid en in situ saneringstechnieken kunnen worden gedimensioneerd op basis van de effectieve en lokale pollutantvracht.

Saneringsurgentie en prioritaire bronzones bepalen

Uit de fluxresultaten kunnen verschillen in bronsterktes bepaald worden, waardoor de meest risicovolle bronnen gelokaliseerd worden. Hiermee kan men direct aan de slag in het saneringsplan: 'Welke verontreiniging saneren en welke niet? Op welke zones moet gaan we ons eerst richten? Welke saneringsinspanningen leveren de grootste vuilvrachtverwijdering op?'

Opvolging van de saneringsefficiëntie

Naast het ontwerpen van saneringsmaatregelen, is de opvolging van de efficiëntie van saneringsmaatregelen ook erg nuttig. Dit kan door de afname van vuilvracht en pollutantflux op te volgen, typisch stroomafwaarts van de behandelde bron of pluimzone.

Monitoring van Natuurlijke Attenuatie

Pollutantfluxen zijn erg nuttig bij het beoordelen van de effectiviteit van het natuurlijke afbraakproces. De natuurlijke afbraak of de vuilvrachtafname van de verontreiniging kan worden berekend aan de hand van de verschillen in totale pollutantvracht over twee dwarsdoorsneden van de verontreinigingspluim. Ook het opvolgen van afbraakparameters, nutriënten en fluxen aan dochterproducten levert erg waardevolle informatie op.

NOOD AAN EEN NIEUW TOETSINGSKADER

Het in situ monitoren van de mobiliteit van de grondwaterverontreiniging is uniek en veelbelovend in bodem- en grondwaterbeheer, maar roept om een kader waarin het correct kan uitgevoerd worden.¹³

Hoewel de technologie naadloos past binnen de procedures en principes die zijn geformuleerd in de voorgestelde EU-kaderrichtlijn bodem, de EU-kaderrichtlijn water, de richtlijn industrie-emissies en het Vlaamse bodemdecreet, is de toepassing van fluxmetingen nog lang niet ingeburgerd en is er nood aan begeleiding en referentieprojecten.

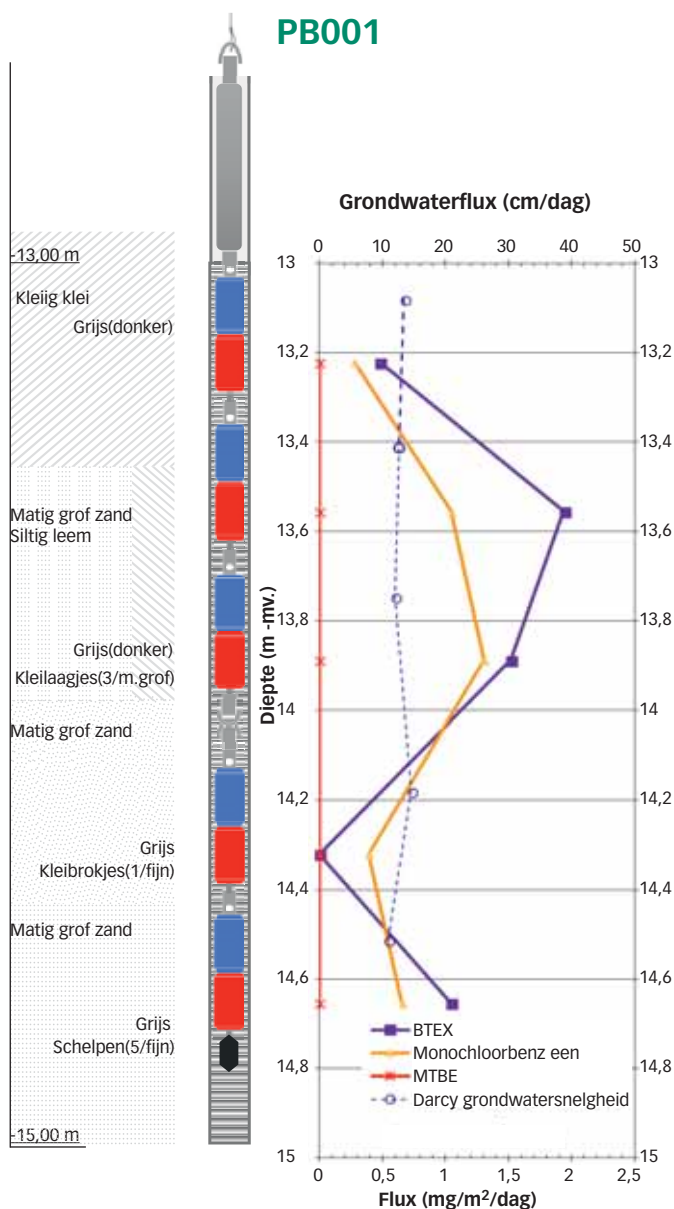
De Vlaamse, Franse en Finse autoriteiten hebben reeds de eerste stap gezet naar mogelijke massafluxdoelstellingen in plaats van concentratienormen. Via pilootstudies werd de fluxtechnologie reeds gevalideerd. Een volgende stap is nu het opmaken van richtinggevend kader in eerste plaats onder de vorm van een code van goede praktijk voor passieve fluxmetingen in grondwater.^{14,15,16}

NICOLE INNOVATION AWARD

In oktober won iFlux de Innovation Award voor de meest beloftevolle en innovatieve technologie van het NICOLE netwerk (Network for Industrially Co-ordinated Sustainable Land Management in Europe). Een bekroning die heel wat naamsbekendheid opleverde en een bewijs dat Vlaanderen en Nederland nog steeds koploper zijn als innovatieve hub rond bodem- en grondwaterbeheer.

Ondertussen werd de technologie al in meerdere projecten toegepast, zowel in Vlaanderen als in het buitenland. De huidige trend richting HRSC (High Resolution Site Characterisation) bevestigt de groeiende interesse van bodemdeskundigen om eerst een duidelijk zicht te krijgen op de verontreiniging on site, om vervolgens de juiste saneringsprogramma uit te schrijven. Ook fluxme-

PB001



FIGUUR 3. FLUXRESULTAAT MET BIJHORENDE LITHOLOGIE EN INSTALLATIESCHEMA.

tingen kunnen hier in de toekomst deel van uitmaken en misschien dat ontbrekend puzzelstukje bieden naar een duurzaam en efficiënt bodembeheer.

BRONNEN

1. Basmadjian, D. 2004. Mass transfer: principles and applications. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press LLC.
2. Verreydt, G., J. Bronders, I. Van Keer, L. Diels and P. Vanderauwera. 2010. Passive samplers for monitoring VOCs in groundwater and the prospects related to mass flux measurements. Ground Water Monitoring and

Een toetsingskader is nodig voor het in situ monitoren van de mobiliteit van een grondwaterverontreiniging

Remediation 30(2): 114-126.

3. ITRC (Interstate Technology & Regulatory Council). 2004. Technical and regulatory guidance for using polyethylene diffusion bag samplers to monitor volatile organic compounds in groundwater. Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, Diffusion/Passive Sampler Team. www.itrc-web.org.
4. Verreydt, G. 2012. New approaches of groundwater management using contaminant mass flux measurement. Peeters Publishing, Beersel, Belgium. ISBN 978-90-57283-92-5. 165 p.
5. Hatfield, K., M. D. Annable, J. Cho, P.S.C. Rao and H. Klammler. 2004. A direct passive method for measuring water and contaminant fluxes in porous media. *Journal of Contaminant Hydrology* 75: 155-181.
6. Annable, M.D., K. Hatfield, J. Cho, H. Klammler, B.L. Parker, J.A. Cherry and P.S.C. Rao. 2005. Field-scale evaluation of the passive flux meter for simultaneous measurement of groundwater and contaminant fluxes. *Environmental Science & Technology* 39 (18): 7194-7201.
7. Hatfield, K., M.D. Annable and P.S. Rao. 2006. Field Demonstration and Validation of a New Device of Measuring Water and Solute Fluxes at CFB Borden. ESTCP report ER-0114.
8. Annable, M.D. 2008. Mass flux as a remedial performance metric at NAPL contaminated sites. In *Methods and techniques for cleaning up contaminated sites*. NATO Science for Peace and Security Series C - Environmental Security, 177-186.
9. Verreydt, G., M.D. Annable, S. Kaskassian, J. Bronders, I. Van Keer, L. Diels and P. Vanderauwera. 2012. Field demonstration and evaluation of the passive flux meter on a CAH groundwater plume. *Environmental Science and Pollution Research*. DOI: 10.1007/s11356-012-1417-8.
10. Verreydt G., I. Van Keer, J. Bronders, L. Diels and P. Vanderauwera. 2011. Grondwaterverontreiniging anders in kaart. *Passieve Fluxmetingen in grondwater*, Bodem 21(6): 25-27.
11. iFLUX. 2017. www.ifluxsampling.com.
12. Verreydt G., J. Bronders, I. Van Keer, L. Diels and P. Vanderauwera. 2014. Groundwater flow field distortion by monitoring wells and passive flux meters, *Groundwater*, DOI: 10.1111/gwat.12290.
13. Verreydt, G., I. Van Keer, J. Bronders, L. Diels and P. Vanderauwera. 2012. Flux-based risk management strategy of groundwater pollutions: the CMF approach. *Environmental Geochemistry and Health*. Special issue on SEG2011. DOI : 10.1007/s10653-012-9491-x.
14. OVAM. 2018. Pilotstudie Polluentfluxen: Pilotstudie Arcadis, Pilotstudie Witteveen+Bos, Pilotstudie Antea.
15. ADEME & INERIS. 2015-2018. Projet Passiflux : Tests d'échantillonneurs passifs de flux dans les eaux souterraines.
16. Finnish Environment Institute SYKE. 2018-2020. PASSIVI project.



FOTO 2: DEMONSTRATIE/ INSTALLATIE VAN IFLUX CARTRIDGES.



FOTO 3: VOORBEREIDING INSTALLATIE.