

Pilot: sector- en grensoverschrijdend samenwerken voor innovatie

Margarita Amador & Alfons Uijtewaal (Stichting Huize Aarde), Raissa Ulbrich (Universiteit Osnabrück), Caroline van Bers (The Integrated Assessment Society, Universiteit Osnabrück)

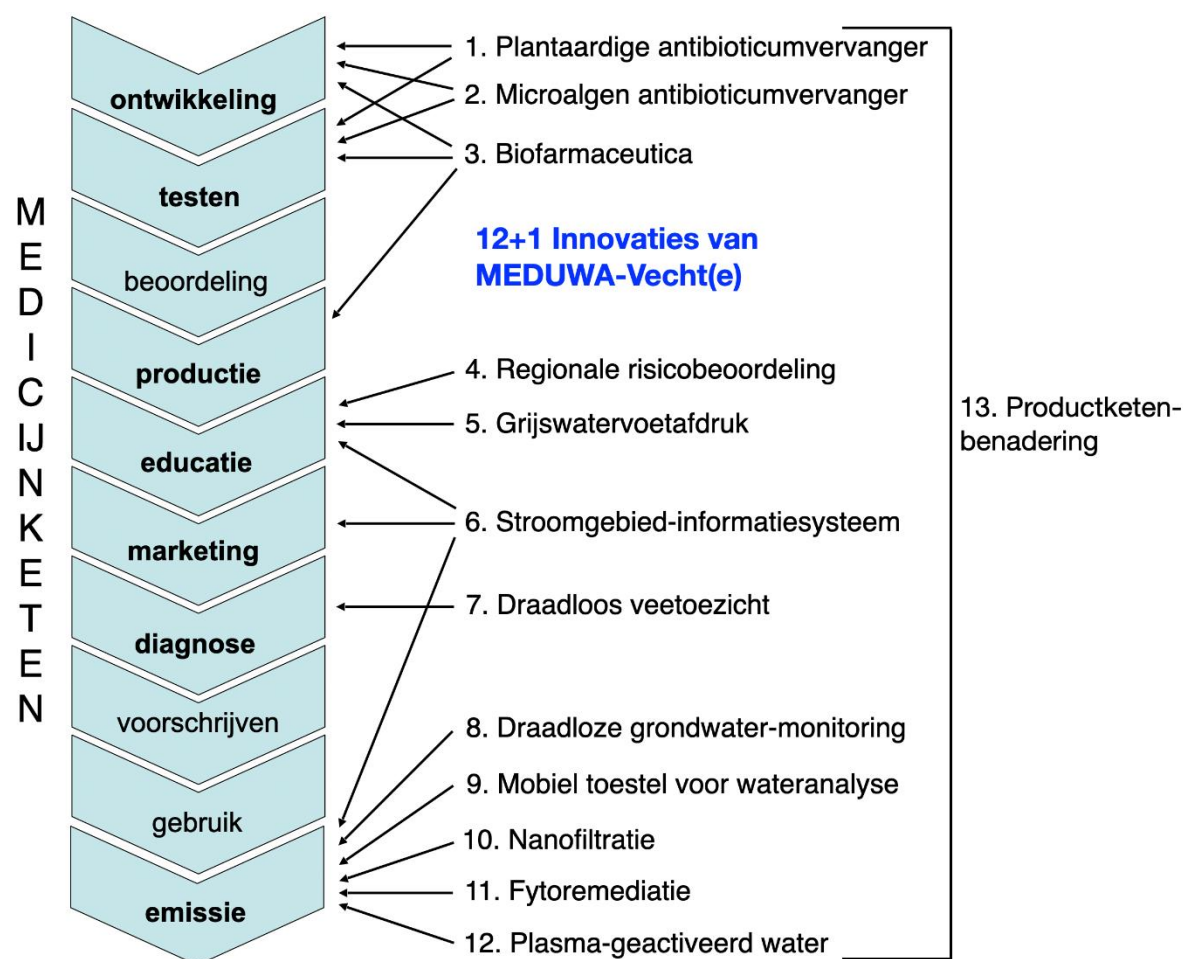
Het Duits-Nederlandse project INTERREG-VA MEDUWA-Vecht(e) is onlangs afgerond. Het doel was de ontwikkeling van innovatieve methodieken om de emissie van humane en veterinaire medicijnen en antimicrobieel resistente micro-organismen naar bodem, oppervlakte- en grondwater te voorkomen. De MEDUWA-coalitie heeft in zeven van de tien schakels van de medicijnketen in totaal twaalf nieuwe gereedschappen voortgebracht voor de preventie, mitigatie, meting en monitoring van verontreiniging, alsmede simulatie, visualisatie en communicatie van oplossingen. Daarnaast heeft de sectoroverstijgende en grensoverschrijdende opzet voor samenwerking tussen partners uit meerdere niveau's van de productketen in één enkel project zich in de praktijk bewezen.

Het aantal door mens en dier uitgescheiden medicijnen, omzettingsproducten en antimicrobieel resistente micro-organismen dat in het milieu terecht komt, is overweldigend. Het risico van de verspreiding van antimicrobiële resistentie via het milieu is evident. In de wetenschap bestaat ook geen twijfel meer over de schade door medicijnen aan de ecologie, mede doordat deze stoffen permanent in het milieu worden aangevoerd en zich in organismen ophopen [1], [2]. Het is een vraagstuk van wereldwijde proporties, onzichtbaar, zonder eenduidige oorzaak en oplossing en gekenmerkt door vele kennisleemten: belangrijke informatie over metaboliëten, mengsel- en chronische toxiciteit ontbreekt vooralsnog [1], [3], [4]. Ook is onbekend hoeveel van deze chemische en biologische verontreinigingen via water, voedsel en lucht (landbouwstof) weer bij mens en vee terugkomen en wat de gevolgen daarvan zijn. Zeker is dat de medicinale milieukringloop in de komende decennia versterkt zal worden, door klimaatverandering, een stijgend medicijngebruik wegens een vergrijzende populatie en toenemende vleesproductie. Volgens de Agenda voor duurzame ontwikkeling in de 21e eeuw van de Verenigde Naties zijn breed opgezette onderzoeks- en ontwikkelingsprojecten nodig om antwoorden te vinden op dergelijke mondiale vraagstukken [5]. Oplossingen hangen niet alleen af van kennis- en technologische innovatie. Ook de manier waarop (semi-)overheden, universiteiten, innovatoren en burgerinitiatieven met elkaar communiceren en samenwerken is bepalend. Iedere deelnemende groep heeft de kennis, invloed en het vermogen om op het eigen niveau in de productketen oplossingen te ontwikkelen en processen te veranderen. Duurzame samenwerking tussen groepen kent meerdere obstakels [6], zoals beschreven in het artikel van Lieneke Stam et al. [7]. Daartoe is het noodzakelijk scenario's te creëren waarin nieuwe vormen van samenwerking kunnen worden ontwikkeld.

Met deze gedachte heeft Stichting Huize Aarde het MEDUWA-Vecht(e)-project ontwikkeld, dat door nauwe samenwerking met The Integrated Assessment Society (TIAS), de Universiteit Osnabrück en EUREGIO is gerealiseerd. In totaal bestond de Nederlands-Duitse coalitie uit 27 projectpartners: 16 bedrijven, 8 onderzoeksinstituten, waaronder twee academische ziekenhuizen, een waterschap en twee maatschappelijke organisaties. Partners waren afkomstig uit meerdere fasen van de levenscyclus van medicijnen en uit meerdere maatschappelijke sectoren: humane en veterinaire gezondheidszorg, milieubeheer, bedrijfsleven, overheid en burgerinitiatieven. Bedrijven werkten samen met onderzoeksinstituten om hun innovaties met wetenschappelijk bewijs te onderbouwen en de prestaties te optimaliseren. Het 6000 km² grote stroomgebied van de Duits-Nederlandse Vecht (in het Duits Vechte), met ruim 350 kilometer rivier (Vecht, Regge, Dinkel, Steinfurter Aa) en 1,5 miljoen inwoners, was het proefgebied van dit project. Het project liep van oktober 2016 tot april 2021. De totale kosten bedroegen € 8,45 miljoen, gefinancierd door het Europese INTERREG-VA-programma; de Europese unie bekostigde € 4,22 miljoen, de regionale overheden € 1,79 miljoen, en € 2,44 miljoen werd door de projectpartners zelf bijgedragen.

12+1 innovaties

De MEDUWA-coalitie heeft in zeven van de tien schakels van de medicijnketen in totaal twaalf nieuwe gereedschappen voortgebracht (zie afbeelding 1). De dertiende innovatie van MEDUWA: sectoroverstijgende en grensoverschrijdende samenwerking tussen partners uit meerdere niveau's van de productketen in één enkel project, heeft zich in de praktijk bewezen. Er zijn instrumenten ontwikkeld om de risico's van de medicinale milieuverontreiniging te beoordelen en te visualiseren en om de effectiviteit van maatregelen te evalueren. Andere instrumenten werden ontwikkeld voor de zuivering van water, om de vervuiling bij de bron tegen te gaan en om ziekte bij vee sneller te detecteren. Ook zijn medicijnen voor mens en dier ontwikkeld die minder persistent zijn in het milieu en het gebruik van antibiotica voorkomen. Alle instrumenten zijn maatschappelijk relevante innovaties vanwege de groeiende noodzaak om biologische en chemische vervuiling in het milieu te verminderen en te monitoren, de wereldwijde vraag naar het tegengaan van antimicrobiële resistentie en de toenemende behoefte aan een groene farmacie en chemie. De innovaties van MEDUWA-Vecht(e) dragen bij aan zeven van de zeventien duurzame ontwikkelingsdoelen (SDG's) van de Verenigde Naties. Door de brongerichte benadering volgt MEDUWA het Verdrag van de Europese Unie en de Europese Kaderrichtlijn Water. Dit sluit aan bij alle zes doelen van de Europese strategie voor medicijnen in het milieu [8] en bij doelen van de Europese Green Deal. Daarnaast draagt het project bij aan regionale strategische INTERREG-VA-doelen en aan groei en werkgelegenheid in de grensregio [9], [10]. Meer projectinformatie: [meduwa.eu](https://www.meduwa.eu)
Betrokken lezers van H2O worden uitgenodigd de MEDUWA-Verklaring te ondertekenen op <https://www.meduwa.uni-osnabrueck.de/nl/declaratie/>



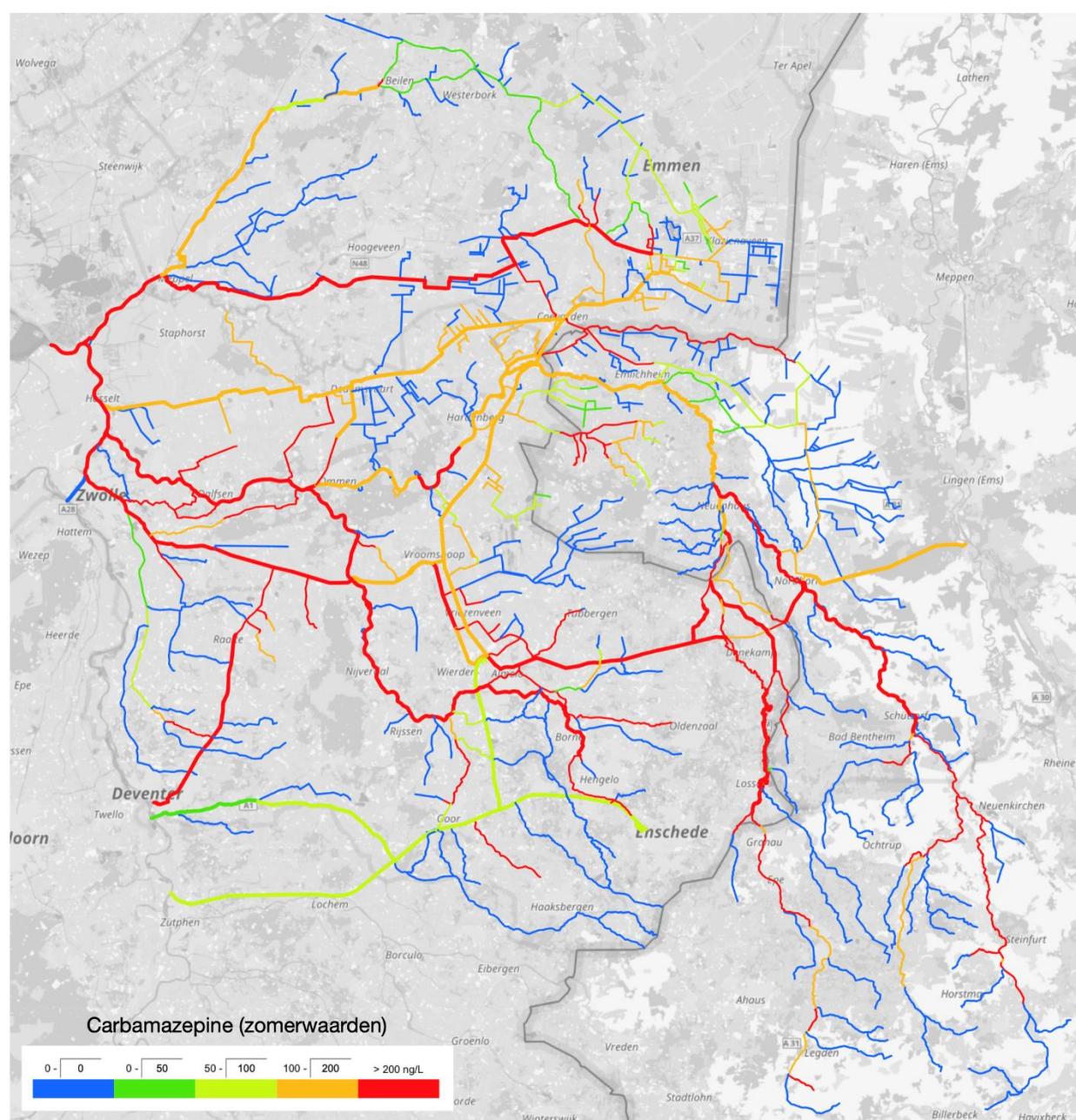
Afbeelding 1. Medicijnketen met 12+1 MEDUWA-innovaties

1. Het onzichtbare zichtbaar maken

De Universiteit Osnabrück (Instituut voor onderzoek naar milieusystemen), Geoplex GIS GmbH, Wetsus, Radboud Universiteit, Universiteit Twente en het waterschap Zuiderzeeland hebben gezamenlijk een breed toegankelijk digitaal platform voor oppervlaktewater-gerelateerde risico-evaluatie opgezet: het Watershed Information System (WIS). Doel van het WIS is het complexe gedrag van verontreinigingen, zoals medicijnen en antimicrobieel resistente bacteriën, en hun mogelijke effecten op ecologie en volksgezondheid zichtbaar te maken bij zowel nat als droog weer. Met dit platform kan voor iedere maatregel de potentiële bijdrage aan het verminderen van de uitstoot van chemische en biologische verontreinigingen gesimuleerd worden. Het digitale platform is dan ook door de MEDUWA-projectpartners gebruikt om de effectiviteit van hun innovaties te visualiseren en evalueren. De simulatie-optie maakt het platform geschikt voor communicatie en besluitvorming over maatregelen [11], [12]. Voor een bèta-versie van het Watershed Information System, zie meduwa.geoplex.de. Meer productinformatie: www.usf.uni-osnabrueck.de; meduwa.geoplex.de

2. Regionale risico-evaluatie

Dankzij de Radboud universiteit (onderzoeksgroep Humane en Ecologische Risicobeoordeling) kan in het WIS momenteel de voorspelde concentratie en het ecologisch risico van vijftien medicijnen voor elk segment van het Vechtstroomgebied worden opgevraagd. Ook de selectiedruk van antibiotica kan voor elke gewenste locatie weergegeven worden. De concentraties van pilhormoon 17 α -ethinylestradiol, pijnstiller diclofenac en anti-epilepticum carbamazepine liggen voor planten en dieren in het Vechtwater in zomer en winter te hoog (zie afbeelding 2). Op basis van de huidige beperkte kennis zijn de risico's voor volksgezondheid via drinkwater, sportvissen of zwemmen klein [13], [14]. Meer informatie: <https://www.ru.nl/environmentalscience/research/themes-0/human-environmental-risk-assessment-hera/>



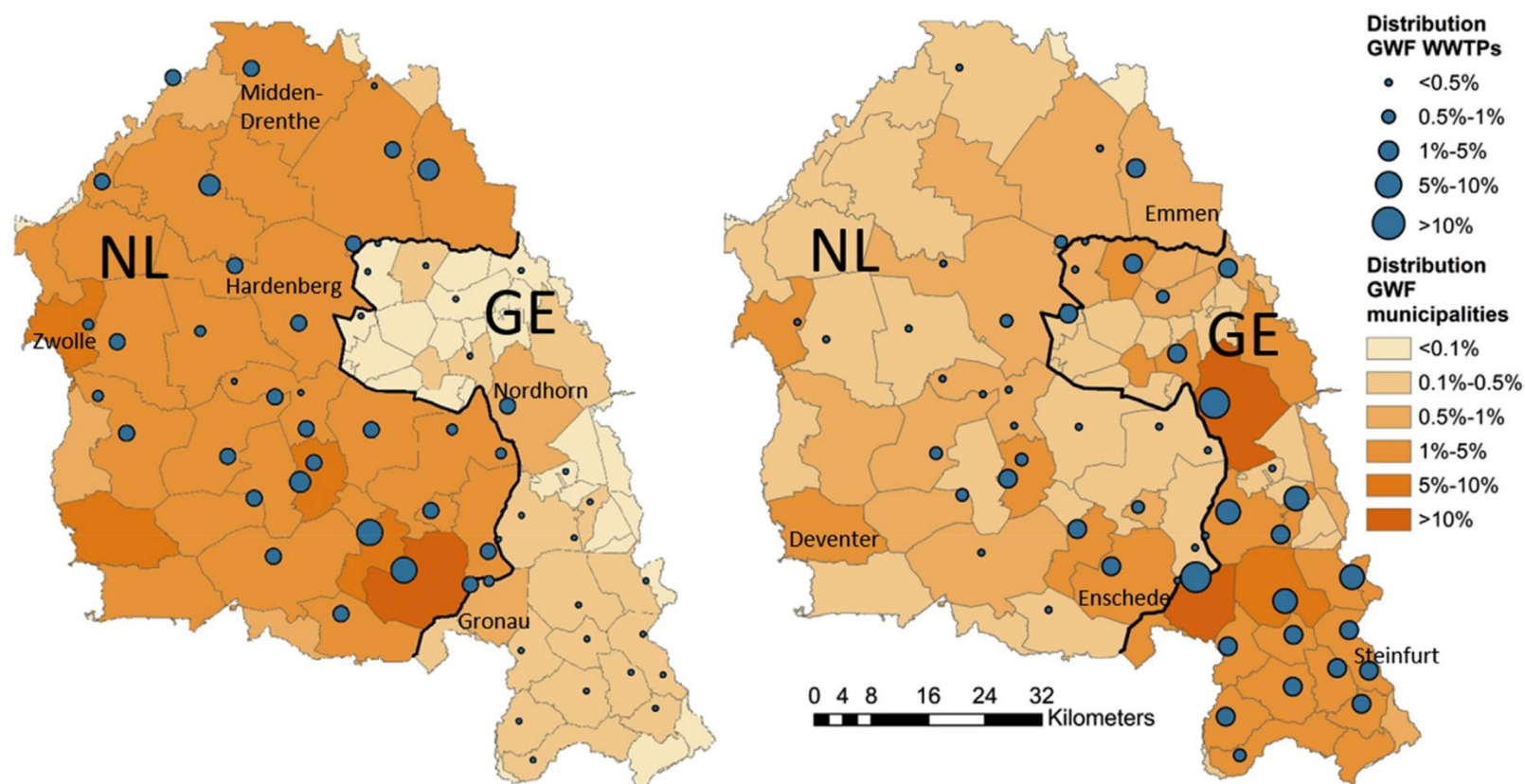
Afbeelding 2. Verspreiding van carbamazepine over het Vechtstroomgebied [12]

3. Resistentieverbreiding

Door de bijdrage van Wetsus is het nu ook mogelijk in het WIS de verspreiding van *extended spectrum beta-lactamase*- (ESBL)-resistente en niet-resistente *E. coli*-bacteriën voor een heel stroomgebied te modelleren. Op basis van de gemeten en gemodelleerde *E. coli*-concentraties kon worden geconcludeerd dat het water in het stroomgebied van de Vecht niet overal van zwemwaterkwaliteit is [15]. Op een aantal van deze bacterieel verontreinigde locaties zwemen tijdens zomerse dagen grote aantallen mensen [16]. Wat dit betekent voor de volksgezondheid is nog niet onderzocht. Meer informatie: <https://wetsusacademy.nl>

4. Grijswatervoetafdruk

Onderdeel van het WIS is de grijswatervoetafdruk van medicijnen. Deze voetafdruk staat voor de hoeveelheid water die nodig is om de concentratie van een verontreinigende stof in water te verlagen tot een niveau dat volgens de waterkwaliteitsnormen niet langer giftig is. De hoeveelheid water is afhankelijk van de concentratie en de toxiciteit van een verontreinigende stof in het water. De Universiteit Twente (Multidisciplinair Waterbeheer) heeft de grijswatervoetafdruk van verschillende medicijnen voor het proefgebied berekend. Interactieve kaarten tonen de voetafdruk van medicijnen per gemeente, regio, ziekenhuis of veeteeltproduct (zuivelproducten, rundvlees, varkensvlees, kippenvlees en eieren). De grootste medicinale grijswatervoetafdruk werd gevonden voor het synthetische pilhormoon 17 α -ethinylestradiol: 16 miljard m³ water per jaar (huishoudens) en de antibiotica ciprofloxacine (ziekenhuizen) en doxycycline (veeteelt) (zie afbeelding 3). [17], [18]. Meer informatie: <https://www.utwente.nl/en/et/wem/>



Afbeelding 3. Grijswatervoetafdruk (GWF) van ethinylestradiol (L) en erythromycine (R) per gemeente en rwzi (WWTP) [18]

5. Waterhuishouding bodem

Met als doel de verspreiding van ondergrondse waterstromen met daarin verontreinigingen als zouten, meststoffen, medicijnen en pesticiden in kaart te brengen, heeft Novaris Orbit Technology BV een draadloos en energiezuinig ondergronds meetsysteem ontwikkeld. Met deze techniek kunnen irrigatie en mestgift beter op de bodem worden afgestemd. Grondwaterbeheerders krijgen hierdoor beter inzicht in de verspreiding van verontreinigingen. Meer informatie: <https://www.novaris.nl>

6. Vingerafdruk

InProSens UG ontwikkelt een optisch en daarmee chemicaliënvrij meettoestel waarmee vloeistofmonsters continu en in enkele seconden ter plaatse kunnen worden geanalyseerd. Het te meten monster wordt door een sensor bestraald met licht uit het bijna-infrarode bereik. Het deel van het licht dat niet door het monster wordt geabsorbeerd, wordt teruggekaatst naar de sensor, die van elke stof een individueel absorptiespectrum ontvangt, net zo karakteristiek als een vingerafdruk. Op deze wijze kan het concentratieverloop van verontreinigingen, bijvoorbeeld in een rioolwaterzuivering, gedurende een langere tijd gevolgd worden. Meer informatie: <https://www.inprosens.com/english/>

7. Diergedrag

Met de trend naar grotere stallen voor groepen landbouwhuisdieren, wordt het steeds belangrijker om gedrag, gezondheid en welzijn van individuele dieren in die groepen te kunnen monitoren. Individuele monitoring maakt het mogelijk ziekten vroegtijdig op te sporen en snel gericht op te treden, wat bijdraagt aan een vermindering van overmatige groepsmedicatie. Noldus Information Technology heeft een systeem voor geautomatiseerde dierobservatie ontwikkeld, waarbij meerdere gegevens over de dieren worden geïntegreerd. De ultra-breedband-sensoren zijn ontwikkeld door Ubisense GmbH. Demcon BV ontwikkelde een prototype van een lichaamstemperatuursensor, gebaseerd op onderhuidse meting en draadloze datatransmissie [19], [20]. Meer informatie: <https://noldus.com>.

8. Microalgen

Microganic GmbH tracht de in wetenschappelijke studies aangetoonde positieve effecten van microalgen te gebruiken om de ontwikkeling van ziekten te voorkomen of te verzachten. Uit een voederproef bleek dat de geselecteerde algen inderdaad positieve effecten hadden op gezondheid en groei van varkens. Microalgen kunnen voordelig en veilig worden ingezet in de diervoedersector voor landbouwhuisdieren of huisdieren, maar ook als voedingssupplementen voor mensen. Meer informatie: <https://microganic.de>

9. Ayurvedische kruiden

Het Europa Ayurveda Centrum (EAC), de instituten voor Hygiëne en Medische Microbiologie van het universitair medisch centrum Münster (UKM) en Wetsus deden onderzoek naar de reinigende (*fyto-remedierende*) en antimicrobiële eigenschappen van planten. Een

set van vijf waterplanten bleek staat concentraties van medicijnen in het water te verlagen. Daarnaast kon van vijftien verschillende waterplanten de antibiotische werking tegen sporenvormende, huid-, milieu- en waterbacteriën worden aangetoond. Het gebruik van de extracten als substituuat voor antibiotica in de diergeneeskunde en de humane geneeskunde is dan ook denkbaar en zal in verdere studies en projecten worden getest [21]. Meer informatie: <https://www.ayu.nl>; <https://www.medizin.uni-muenster.de/hygiene/forschung/forschungsgebiete-und-arbeitsgruppen/krankenhaus-und-umwelthygiene/arbeitsgruppe-professor-dr-rer-nat-thorsten-kuczus.html>

10. Biological

Alloksys Life Sciences BV, AMRIF BV, TDI BV en Aix Scientifics werken aan de ontwikkeling van een biofarmaceuticum (*biological*) op basis van alkalinefosfatase (AP), een lichaamseigen, dus biologisch afbreekbare, ontstekingsremmer zonder bijwerkingen. Het middel wordt, na veelbelovende resultaten bij openhartoperaties en niertransplantaties, inmiddels ook bij coronapatiënten getest op het onderdrukken van complicaties veroorzakende ontstekingsreacties. Daarnaast richt men zich op de inzet van AP bij de vermindering van chronische ontstekingen, waarvan wordt aangenomen dat ze bijdragen aan aandoeningen als diabetes, obesitas en neurodegeneratieve ziekten, zoals de ziekte van Parkinson. Bij diabetes kan het enzym gebruik van het milieuverontreinigende metformine voorkomen [22]. Meer informatie: <https://www.alloksys.com>.

11. Plasma-geactiveerd water

VitalFluid BV werkt aan een systeem voor kleinschalige productie van plasma-geactiveerd water (PAW) voor oxidatie van medicijnen en bacteriën, bijvoorbeeld in een (mobiel) toilet. Met de PAW-techniek wordt lucht met behulp van elektriciteit in een plasmafase gebracht en vervolgens in contact gebracht met het te behandelen water. Reactieve zuurstof en stikstof uit de lucht lossen op in het water en breken aldaar verontreinigingen af. De techniek werd getest aan het Radboudumc (Research Lab Moleculaire Epidemiologie) en het Universitair Medisch Centrum te Münster (instituten voor Hygiëne en Medische Microbiologie). Plasma-geactiveerd water blijkt een sterk bacterieremmend effect te hebben en medicijnen worden in kleine bestanddelen opgeknippt. De afbraak door PAW is effectiever dan met conventionele technieken, zoals UV/H₂O₂ [23], [24], [25]. Het Radboud-ziekenhuis bouwt met deze techniek een semi-permanente proefinstallatie om urine van patiënten uit de dagbehandeling te zuiveren, voordat deze wordt weggespoeld via het riool. Meer informatie: <https://www.vitalfluid.nl>; <https://www.radboudumc.nl/en/research/departments/health-evidence>

12. Nanofiltratie

NX Filtration BV, Saxion Hogeschool en Weil Wasseraufbereitung GmbH werkten aan een nanofiltratie-product dat microverontreinigingen verwijdert uit het effluent van rioolwaterzuiveringsinstallaties. Het nanofiltratie-membraan heeft een uiterst dunne selectieve laag. Door deze laag kunnen water en mineralen passeren, maar de poriën van de laag zijn te klein voor de meeste microverontreinigingen, zoals medicijnen, microplastics, bacteriën, virussen en nanodeeltjes als titaniumdioxide. Potentiële toepassingen zijn de behandeling van effluent voor direct hergebruik of aanvulling van grondwater en behandeling van oppervlaktewater om water van drinkwaterkwaliteit te produceren [25]. Meer informatie: <https://nxfiltration.com>; <https://www.saxion.nl/onderzoek/smart-industry/international-water-technology>; <https://www.weil-wasser.de/de/>

Referenties

- Brausch J. M., Connors, K. A., Brooks, B. W., Rand, G. M. (2012). 'Human pharmaceuticals in the aquatic environment: a review of recent toxicological studies and considerations for toxicity testing'. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 218, 1-98. https://www.researchgate.net/publication/223970191_Human_Pharmaceuticals_in_the_Aquatic_Environment_A_Review_of_Recent_Toxicological_Studies_and_Considerations_for_Toxicity_Testing
- EU BIO Intelligence Service (2013). *Study on the environmental risks of medicinal products, Final Report prepared for the European Executive Agency for Health and Consumers*. https://ec.europa.eu/health/sites/default/files/files/environment/study_environment.pdf.
- Sano D. et al. (2020). 'Updated research agenda for water, sanitation and antimicrobial resistance'. *J. Water Health* 18 (6): 858–866. <https://iwaponline.com/jwh/article/18/6/858/78230/Updated-research-agenda-for-water-sanitation-and>
- Amador, A. M., Uijtewaal, A. A. C. (2009). *Behandelingsperspectieven voor medicijnvervuiling*. Enschede: Stichting Huize Aarde. <http://www.groenegezondheid.nl/admin/myuploads/Media/behandelingsperspectieven2.82.pdf>
- Verenigde Naties (1992). *Agenda 21*. <https://sustainabledevelopment.un.org/outcomedocuments/agenda21>
- Stam L. (2020). *Interorganizational collaboration in Dutch water management. Master Thesis Social Networks in a Sustainable Society*. Faculty of Behavioural and Social Sciences, University of Groningen.
- Stam, L. Wittek, R. Amador, M. Uijtewaal, A. (2021). 'Ecologische crises vereisen meer dan technische maatregelen'. *H2O-Online*, 26 oktober 2021. <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/ecologische-crisis-vergen-meer-dan-technische-maatregelen>
- European Union Strategic Approach to Pharmaceuticals in the Environment, COM (2019). *128 final*. Brussel: Europese Commissie,

https://ec.europa.eu/environment/water/water-dangersub/pdf/strategic_approach_pharmaceuticals_env.PDF

9. Amador, M. R., Uijtewaal, A. A. C., Ulbrich, R. C., Bers, C. van (2020). *Evaluatie van INTERREG-VA MEDUWA-Vecht(e) Project Nr. 142118*. Osnabrück/Enschede: Universiteit Osnabrück & Stichting Huize Aarde. <https://www.meduwa.uni-osnabrueck.de/wp-content/uploads/2021/05/MEDUWA-PP-Evaluatie-NL-11febr2021-lage-resolutie.pdf>
10. Amador, M. R., Uijtewaal, A. A. C. Ulbrich, R. R., Bers, C. van (2021). *Het verhaal van MEDUWA-Vecht(e)*. Osnabrück/Enschede: Universiteit Osnabrück & Stichting Huize Aarde, <https://www.meduwa.uni-osnabrueck.de/wp-content/uploads/2021/09/MEDUWA-Publieksrapportage-v-21-april-2021b.pdf>
11. Lämmchen V., Niebaum, G., Berlekamp, J., Klasmeier, J. (2021a). 'Geo-referenced simulation of pharmaceuticals in whole watersheds: application of GREAT-ER 4.1 in Germany'. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 21926–21935, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-12189-7>
12. Lämmchen V., Klasmeier, J., Hernandez-Leal, L., Berlekamp, J. (2021b). 'Spatial Modelling of Micro-pollutants in a Strongly Regulated Cross-border Lowland Catchment'. *Environmental Processes*, 8, 973–992, <https://link.springer.com/article/10.1007/s40710-021-00530-2>
13. Duarte D. J. et al. (2021). 'Ecological Risk Assessment of Pharmaceuticals in the Transboundary Vecht River (Germany/Netherlands)'. *Environmental Toxicology and Chemistry*, <https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/etc.5062>
14. Duarte D. J., Oldenkamp, R., Rajas, A. M. J. (2019). 'Modelling environmental antibiotic-resistance gene abundance: A meta-analysis'. *Science of the Total Environment*, 659, 335–341, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718350964?via=ihub>
15. Heijnsbergen, E. van et al. (2021/2022). Publicaties in voorbereiding.
16. Uijtewaal, A. A. C., Amador, M. R. (2021). 'Ziek worden van wildzwemmen'. *Tijdschrift Milieu*, nr. 6, <https://milieu.vvm.info/milieu-water/ziek-worden-van-wildzwemmen/>
17. Wöhler L., P. et al. (2021). 'An integrated modelling approach to derive the grey water footprint of veterinary antibiotics'. *Environmental Pollution*, 288, 117746, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749121013282?via=ihub>
18. Wöhler L., G. Niebaum, M. Krol, A. Y. Hoekstra (2020). The grey water footprint of human and veterinary pharmaceuticals. *Water Research* X, 7, 100044, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589914720300049>
19. Gijssels, A. van et al. (2019b). 'TrackLab 2: automatic recording and analysis of the behavior of animals kept in groups'. *Proc. European Federation of Animal Science* (Ghent, Belgium, 25-28 August 2019), 469. <https://research.wur.nl/en/publications/tracklab-2-automatic-recording-and-analysis-of-the-behaviour-of-a>
20. Gijssels, A. van et al. (2019a). 'TrackLab 2: a new solution for automatic recording of location, activity and social behavior of group-housed animals'. *Precision Livestock Farming* 2019, 677-683. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/555510>
21. Hummert, M. et al. (2021/2022). Publicaties in voorbereiding.
22. Feil, H., Seinen, W. (2019). 'Alkaline phosphatase: An old enzyme newly discovered as a medicine'. *Sustain Chem Pharm*, 12, 100133. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352554118301670?via=ihub>
23. Graumans, M. H. F. et al. (2021). 'Thermal plasma activation and UV/H₂O₂ oxidative degradation of pharmaceutical residues'. *Environmental Research* 195, 110884. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001393512100178X>
24. Graumans, M. H. F., Hoeben, W. F., Russel, F., Scheepers, P. T. J. (2020). 'Oxidative degradation of cyclophosphamide using thermal plasma activation and UV/H₂O₂ treatment in tap water'. *Environmental Research* 182, 109046, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935119308436?via=ihub>
25. Graumans, M. H. F., Hoeben, W. F., Russel, F. G., Leenders, P. H., Scheepers, P. T. J., (2018). 'Degradation of cyclophosphamide using plasma activated water and UV/H₂O₂ for the abatement of persistent pharmaceuticals in wastewater'. *Toxicology Letters*, 295(1), S169-S170, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378427418310415?via=ihub>
26. Ilyas S., Abtahi, M., Akkilic, N., Roesink, H. D. W. Vos, M. de (2017). 'Weak polyelectrolyte multilayers as tunable separation layers for micro-pollutant removal by hollow fiber nanofiltration membranes'. *Journal of Membrane Science*, 537, 220-228, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0376738817301436>