

# De chemische voetafdruk en oplossingen voor watervervuiling

*Michiel Zijp, Leo Posthuma, Dik van de Meent (RIVM)*

**Uit de landbouw en industrie en via het riool komen chemische stoffen in het milieu. Duurzaam handelen vereist de gelijktijdige beoordeling van de impact van al deze stoffen. In het EU-project SOLUTIONS ontwikkelde het RIVM een methode om de effecten van alle emissies samen te nemen tot één variabele – de chemische voetafdruk. Met deze methode kan worden bepaald welke oplossing, die door de stakeholders in het project worden ontwikkeld, de geringste voetafdruk oplevert, zonder eerst nog jarenlang te wachten op gedetailleerd onderzoek.**

*“Alle dingen zijn giftig, maar de dosis bepaalt of een ding giftig is.”* Deze woorden sprak de wetenschapper Paracelsus bijna 500 jaar geleden. Deze woorden zijn tot op vandaag het startpunt van beleid voor het beheersen van de gevaren van chemische stoffen. Dit is van oudsher *preventief* beleid *per stof*. In bijvoorbeeld het Europese REACH-beleid, in ons bodembeleid en in het toelatingsbeleid voor gewasbeschermingsmiddelen worden per stof de potentiële emissies en de daaruit volgende milieuconcentraties en giftigheid (risico's) voor mens en milieu bepaald. Hier komen de bekende milieukwaliteitsnormen uit voort. In het milieu komen stoffen echter nooit geïsoleerd voor. Het 'ding' van Paracelsus is in het milieu een mengsel van stoffen en de vraag is: wat is de giftigheid van het mengsel? Deze vraag moet beantwoord worden voor een zinvolle beoordeling van het milieu. Immers, uiteindelijk is het de mix van stoffen die in het milieu terechtkomt die de impact bepaalt. Deze holistische benadering speelt een belangrijke rol in de Kaderrichtlijn Water.

## **Mengsels te complex?**

Maar hoe bepaal je de impact van mengsels van stoffen in het milieu? Vanwege de grote variëteit in gedrag en effect van stoffen in het milieu is dit een complexe vraag. En als je die impact dan kent, hoe bepaal je dan vervolgens of ons stoffengebruik als totaal duurzaam is, of met andere woorden: 'volhoudbaar' is? Wanneer vraagt het effect van een mix om actie? Ook dit is een complex vraagstuk, vanwege de grote variëteit aan de kant van de receptoren: de mens en de grote diversiteit aan lokale ecosystemen. Om hier tot slot nog een complexe dimensie aan toe te voegen: hoe communiceer je over deze vraagstukken op een begrijpelijke en toepasbare manier?

Het zijn vraagstukken waar nog jarenlang onderzoek naar kan worden gedaan, terwijl de maatschappij nú om oplossingen vraagt [1], omdat de chemische druk op het milieu nú voelbaar is, en niet vanzelf lijkt af te nemen.

## **Oplossingen**

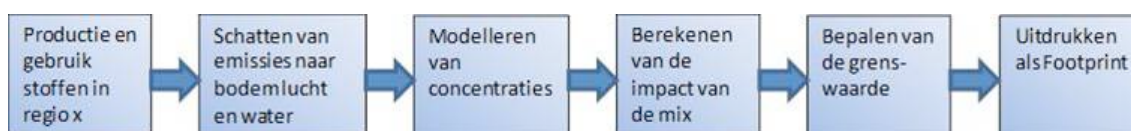
Het EU-project SOLUTIONS onderzoekt hoe je effecten van complexe mengsels meet en/of voorspelt, zoekt oplossingen en bedenkt manieren om die op duurzaamheid tegen elkaar af te wegen. Daarbij wordt niet gewacht op jarenlang onderzoek; wat we allemaal al wél weten is

het uitgangspunt. Bijna 40 partners dragen bij aan dit werk, waaronder het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Het RIVM heeft voor de weging van de alternatieve oplossingen onder meer het idee van 'chemische voetafdruk' van mengsels uitgewerkt. Twee voorbeeldstudies tonen aan dat we de chemische voetafdruk van mengsels kunnen bepalen, en dat resultaten gebruikt kunnen worden voor het beoordelen van de relatieve duurzaamheid van alternatieve oplossingen. Het vernieuwende van deze aanpak zit hem erin dat SOLUTIONS – zoals de naam al aangeeft – begint met (breed) denken in mogelijke oplossingen voor eventuele risico's. En niet stopt bij het signaleren van risico's, zonder oplossing. Dit klinkt logisch, maar het idee is pas in 2009 in Amerika gelanceerd [3]. SOLUTIONS werkt het idee uit voor Europa en gebruikt het voor het vinden van duurzame oplossingen, ook voor het waterbeheer [4].

### De Chemische Voetafdruk

De chemische voetafdruk van een bepaalde stof geeft aan hoeveel milieuruimte de uitstoot van die stof inneemt, uitgedrukt in de hoeveelheid (kubieke meters) water die nodig is om emissies te verdunnen tot een concentratie die net geen effecten geeft. Een voetafdruk is groter naarmate (a) er meer emissies zijn, (b) de uitgestoten stoffen persistenter zijn, en/of (c) de uitgestoten stoffen giftiger zijn. Deze denkwijze werd in 1992 al toegepast door Adriaanse [5] voor enkele individuele stoffen. Hij noemde dat de 'milieugebruiksruimte' van een emissie als maat voor de aanvaardbaarheid van menselijk handelen. In het SOLUTIONS-project wordt het milieugebruiksruimteconcept toegepast op alle nu gebruikte stoffen samen.

Afbeelding 1 toont hoe de voetafdruk van alle emissies in een vastgesteld gebied bepaald wordt. De werkwijze is te zien als een modellentrein: een aaneenschakeling van (zeer) bekende methoden en data. We beginnen met productie en gebruik van stoffen. Daarna volgen de emissies naar water, bodem en lucht. Milieuchemici kunnen uit de emissie-, stoffen- en milieugegevens de concentraties van stoffen in het milieu afleiden, zowel dichtbij als veraf. Sommige stoffen hopen zich lokaal op. Andere stoffen kan je zelfs tot in de poolgebieden terugvinden, omdat ze persistent zijn en het lokale systeem deels verlaten. En weer andere breken af, tot minder schadelijke of juist schadelijker stoffen. Vanuit de concentraties, die dus in ruimte en tijd variëren, wordt de mengsel-toxische druk afgeleid. Hierbij wordt voorspeld welk percentage van de soorten in het gebied er aangetast wordt door de (gemeten of voorspelde) concentratie.



**Afbeelding 1. De afleiding van een chemische voetafdruk voor een gebied**

Tenslotte wordt vastgesteld of deze fractie soorten hoger is dan het milieu kan opvangen. Dit laatste is niet heel complex, omdat we in het milieubeleid de geen-effect-grens voor stoffen ooit al gemaximeerd hadden: bij de maximaal toelaatbare blootstelling aan een stof is

tenminste “95% van de soorten afdoende beschermd tegen enig nadelig effect”. Deze vertaling van het beleidsmatig vastgestelde beschermdoel (Goede Ecologische Toestand) kan in dit geval *linea recta* toegepast worden voor het maximeren van blootstelling aan mengsels. Indien nodig kan nog gekeken worden naar de ecologie (stabiliteit van de voedselwebben). Dit kan nuttig zijn, omdat ecosystemen nu eenmaal verschillen in gevoeligheid. Als we dit allemaal doen voor een bestaande situatie, en bijvoorbeeld twee oplossingsrichtingen, dan maken we op deze manier drie voetafdrukken (één van de bestaande situatie, en twee voor de oplossingsrichtingen). Hiermee kan dan afgeleid worden welke oplossing de grootste reductie van de voetafdruk oplevert.

We hebben deze aanpak de chemische voetafdruk genoemd [6].

Uiteraard is validatie van het idee van belang. We kijken kritisch of een kleinere voetafdruk zich vertaalt in een beter milieu. Er zijn verschillende manieren om de chemische voetafdruk van stoffen in een gebied te verminderen. Bijvoorbeeld andere stoffen gebruiken, stoffen anders gebruiken, of bufferzones aanleggen tussen emissie-locaties en waterlichamen. Maatregelen die zulke veranderingen bevorderen kunnen de voetafdruk (sterk) verminderen. Een maatschappelijk netwerk met intensieve contacten tussen alle belanghebbenden is cruciaal om aan het begin van een project de potentieel meest effectieve oplossingsrichtingen te inventariseren, en om aan het eind de oplossing met de kleinst mogelijke voetafdruk te realiseren.

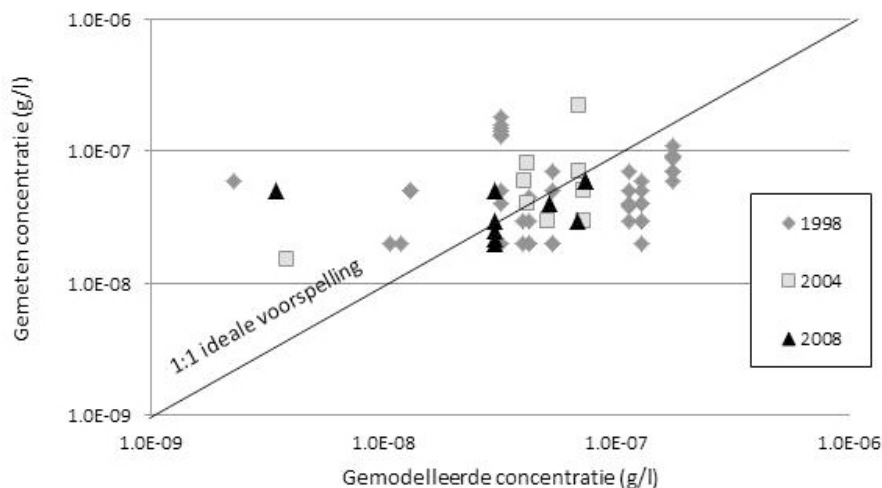
### **Chemische Voetafdruk – een voorbeeld**

We moeten het idee van de chemische voetafdruk nog verder uitwerken, om toepassing op lokale, regionale en continentale schaal mogelijk te maken. Maar de kracht van het idee is onbetwistbaar, zoals een voorbeeldstudie laat zien. De studie gaat over het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen in het stroomgebied van de Rijn, de Maas en de Schelde.

We hebben de voetafdruk voor verschillende jaren afgeleid, waarbij de methodiek constant was, maar de emissies verschilden.

### **Concentraties**

De emissies werden afgeleid van de data die verzameld waren voor de Nederlandse Milieu Indicator voor gewasbeschermingsmiddelen, voor de jaren 1998, 2004 en 2008. Deze emissies zijn gebaseerd op verkoopcijfers van deze middelen, kennis van welk middel op welke gewassen wordt gebruikt en kennis van gewasbouw in de stroomgebieden. De verkoopgegevens van gewasbeschermingsmiddelen buiten Nederland waren erg incompleet, dus hebben we ervoor gekozen om het middelengebruik in Nederland te extrapoleren over de gehele delta. We bepaalden de voetafdruk van in totaal 274 stoffen, in alle drie de jaren. Concentraties werden voorspeld voor de delta, rekening houdend met transport van stoffen naar waterlichamen buiten de delta. Concentraties werden zodoende bepaald voor de globale, continentale en regionale schaal. Vergelijking met meetgegevens maakte duidelijk dat de voorspelde concentraties van dezelfde orde grootte zijn als aangetroffen concentraties, ruwweg tussen de 0,1 ug/l en 1 ug/l (afbeelding 2).



**Afbeelding 2. Vergelijking van gemodelleerde en gemeten concentraties in zoet water**

Voorspellingen voor individuele stoffen bleken hierbij enigszins af te wijken van waarnemingen. Kennelijk kunnen we emissies gemiddeld goed schatten, maar lukt het niet om dit nauwkeurig te doen voor elk van de stoffen afzonderlijk op specifieke locaties. Ook zijn er beperkingen voor deze validatie zelf. Er bestonden helaas niet voor alle 274 stoffen gegevens over zowel voorspelde als gemeten concentraties (tenminste 1 meting boven de detectielimiet per stof). Rond de emissies en concentraties van stoffen kan de beoordeling dus nog verbeterd worden. Maar laten we de illustratie verder vervolgen.

### **Toxische druk**

Van elk van de stoffen hebben we bepaald in welke mate de feitelijke concentratie in water schadelijk is voor organismen. We gebruikten daarvoor het begrip 'toxische druk', uitgedrukt als de 'Potentieel Aangetaste Fractie', PAF. De toxische druk (PAF) geeft aan voor welk gedeelte van de mogelijk aanwezige soorten de heersende concentratie hoger is dan voor die soorten veilig is. Een toxische druk (PAF) van 10% geeft aan dat 10% van de soorten bedreigd wordt. Voor elke stof, op elke plaats, kan op deze wijze een toxische druk worden afgeleid. Daaruit hebben we vervolgens voor alle stoffen samen de mengsel-toxische druk (een 'meerstoffen-PAF', msPAF) berekend via daarvoor algemeen aanvaarde ecotoxicologische rekenregels. Deze msPAF geeft aan welk gedeelte van de soorten op één of andere manier (dat wil zeggen door één of meer stoffen) bedreigd wordt. Dit getal kan dienen als maat voor de toxische druk die organismen ondervinden van de aanwezigheid van de verzamelde chemische stoffen in het milieu.

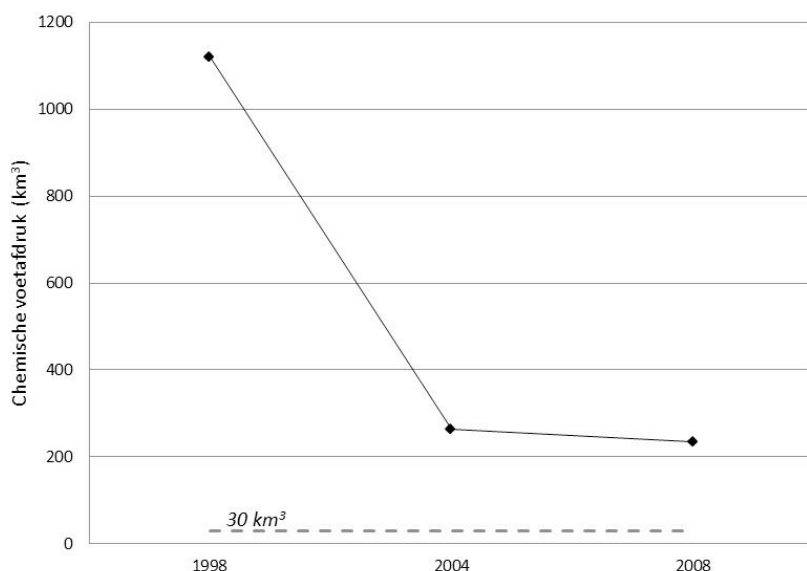
### **Gebruikte milieuruimte**

De aldus berekende msPAF kan worden herleid tot een voetafdruk, door hem te relateren aan de 'veilige' msPAF waarde. De hoogste toxische druk die een ecosysteem kan verdragen, zonder onomkeerbaar te worden geschaad, zou voor dit doel kunnen dienen als referentie. Ecologen proberen antwoord te vinden op de vraag of een dergelijke 'maximaal draagbare' toxische druk bestaat, en op welke manier zou kunnen worden bepaald hoe hoog die druk voor

verschillende ecosystemen zou kunnen zijn. Nadat de 'maximaal draagbare' toxische druk is beredeneerd (of anderszins gekozen), kan worden berekend welke milieuvolume juist groot genoeg is om de berekende belasting te absorberen, dat wil zeggen te 'verdunnen' tot die 'maximaal draagbare' grens: het benodigde volume, of 'gebruikte milieuruimte' van de emissies in een gebied. Met het bepalen van die 'gebruikte milieuruimte' – dit is de gezochte chemische voetafdruk van ons stoffengebruik – heeft de modellentrein van afbeelding 1 zijn bestemming bereikt.

### **Chemische Voetafdruk – de uitkomsten**

De chemische voetafdruk van de emissies werd voor het genoemde voorbeeld afgeleid, rekening houdend met het transport van een deel van de stoffen naar waterlichamen buiten de RMS-delta (afbeelding 3). Het volume water dat nodig zou zijn om 'veilig' te blijven, de voetafdruk dus, was in 1998 bijna 1.200 km<sup>3</sup>. Om een indruk te krijgen van de omvang van de voetafdruk: het in de delta beschikbare watervolume is veel kleiner: circa 30 km<sup>3</sup>. In de latere jaren werd de voetafdruk kleiner. Alleen de invoergegevens veranderden in de tijd (andere stoffen en emissies), terwijl de modellentrein exact identieke sporen volgde in alle drie de jaren. Het bijzondere bij deze voorbeeld-getallen is, dat de relatieve afname van de chemische voetafdruk samenviel met de implementatie van beleid dat gericht was op duurzamer gebruik van bestrijdingsmiddelen. Daarnaast was het bijzonder, dat de dalende voetafdruk samenvalt met het afnemen van effecten die gemeten werden in vele bioassays – dat zijn toetsen waarin organismen worden blootgesteld aan watermonsters met onbekende mengsels – met monsters van oppervlaktewateren uit hetzelfde gebied. Bioassays, beleidsinspanningen en voetafdrukken vertoonden dus een congruent patroon.



**Afbeelding 3. De verandering van de chemische voetafdruk van gebruik van gewasbeschermingsmiddelen in de stroomgebieden Rijn, Maas en Schelde (RMS) in km<sup>3</sup> (Y) over de tijd (X). De chemische voetafdruk beslaat maximaal bijna 1200 km<sup>3</sup>. De onderbroken lijn is de aanwezige hoeveelheid water in de stroomgebieden.**

### **Denktank: hoe groot is ons oplossingsvermogen?**

Eén zwaluw maakt nog geen zomer, en één voorbeeld is geen universeel bewijs voor een goed idee. Echter, doordat de wetenschap hier gevalideerde methodieken op een logische wijze combineert hebben we wel een 'punt op de horizon' omschreven: het afleiden van een chemische voetafdruk helpt om een complex probleem samen te vatten in een getal dat goed te begrijpen is. Uiteraard gaat de berekening van de chemische voetafdruk gepaard met onzekerheden, bijvoorbeeld als gevolg van het niet precies kunnen schatten van de concentraties (afbeelding 2). In SOLUTIONS worden die onzekerheden niet genegeerd [6], maar staan ze ook niet in de weg om verschillende oplossingen onderling te vergelijken. Als we door het toepassen van goede data en werkwijzen voor concrete problemen ons punt op de horizon bereiken, hebben we een ideale werkwijze om voetafdrukken af te leiden, en weten we zeker dat kleinere voetafdrukken beter, veiliger en duurzamer zijn. Op reis naar dat punt weten we echter nu al zeker dat de oplossingsgerichte aanpak van SOLUTIONS zijn vruchten afwerpt. Aan het begin van het project komt al een rijk palet aan oplossingsvoorstellen voor waterverontreiniging langs, die veel breder zijn dan 'verbieden' en 'wetten en regels'. De ontwikkeling van de voetafdruk gaat dus door, maar dat gebeurt in de wetenschap dat de waterkwaliteit erop vooruit gaat door nu al slimme oplossingen te bedenken en toe te passen. Met andere woorden: SOLUTIONS brengt snel oplossingsrichtingen, en daarnaast een maat om de beste daarvan te kiezen. Eigenlijk is de SOLUTIONS-denktank zelf, door 'aanvullend' te denken in oplossingen in plaats van in problemen, misschien wel de grootste winst voor de waterbewoner.

### **Literatuur**

1. Posthuma, L., et al. (2014). Beyond safe operating space: Finding chemical footprint feasible (viewpoint). *Environ. Sci. Technol.*
2. UNEP (2013). Global chemicals outlook. Towards sound management of chemicals. United Nations Environment Programme; Geneva, Switzerland.
3. U.S. National Research Council (2009). Science and Decisions: Advancing Risk Assessment. The National Academies Press, 2009.
4. <http://www.solutions-project.eu>, geraadpleegd 30 oktober 2014.
5. Adriaanse, A. (1993). Environmental Policy Performance Indicators. The Hague, The Netherlands.
6. Zijp, M.C., Posthuma, L. and Van De Meent, D. (2014). Definition and Applications of a Versatile Chemical Pollution Footprint Methodology. *Environ. Sci. Technol.* 48(18): p. 10588–10597.