



Leo Posthuma, RIVM

Dick de Zwart, RIVM

Bart Reeze, ARCADIS, thans Waterschap Groot Salland

Jaap Postma, Ecofide

De ecologische betekenis van toxische druk in verontreinigde sedimenten

Bij de beoordeling van verontreinigde sedimenten volgens de Waterwet wordt als maat een grootte toxische druk gehanteerd. Twee maatstrepen op de maatlat duiden aan dat door de sedimentverontreiniging beperkte dan wel grote effecten kunnen optreden in het waterlichaam, wat vervolgens leidraad kan zijn voor eventuele maatregelen. Ten opzichte van de gebruikelijke milieukwaliteitsnormen per stof is de grootte toxische druk nieuw. Dit artikel beschrijft de ecologische effecten die optreden als de toxische druk toeneemt. Uit de resultaten blijkt dat de toxische druk een bruikbare maat is om ecologische effecten te kwantificeren: hoe hoger de toxische druk hoe groter de effecten. Deze uitslag is belangrijk bij toepassing van een eenvoudig beheerprincipe: 'meer risico = meer beheer'.

De Waterwet beoordeelt sedimenten als een integraal onderdeel van watersystemen. De verontreiniging van sediment kan de kwaliteit van het bovenstaande water beïnvloeden. In het beoordelingsprogramma Sedias¹⁾ (Sediment Assistent) wordt via een beslisboom afgeleid hoe sedimentverontreiniging en waterkwaliteitsdoelen samenhangen. Voor ecologische doelen gebeurt dat met de grootte chronische toxische druk, met als eenheid de msPAF: de meer-stoffen Potentieel Aangetaste Fractie van soorten. Dit is de fractie soorten die bij voortdurende blootstelling aan het mengsel van stoffen hiervan hinder ondervindt. De msPAF loopt van 0 tot 100 procent aangetaste soorten. Wat betekent de toxische druk nu precies? Wat gebeurt er met de lokale ecologie?

Werkwijze

Voor het beantwoorden van deze vragen is gebruik gemaakt van de Nederlandse monitoring dataset uit de zoete getijdenwateren, die ook gebruikt werd door Reeze²⁾ (zie het voorgaande artikel). Van deze gegevensverzameling is een maatlat voor sedimentverontreiniging afgeleid met indicatorsoorten voor schoon-, matig-, en sterk verontreinigd sediment. Het gaat om

Bemonstering met een Boxcore in de Biesbosch afgelopen september (foto: Jaap Postma).



gegevens over bodembewonende macrofaunasoorten en sedimentkwaliteit en omvat 103 soorten, 379 locaties en 13 stressvariabelen. Daarvan zijn er vier categoriaal: jaargetijde, hoofdstroom of Biesbosch, scheepvaartverkeersklasse, en breedteklasse. Acht klassieke variabelen zijn continue variabelen: zuurgraad, percentage droge stof, diepte, sedimentatie of erosie, zand- en kleifractie, fractie organisch materiaal en getijdeninvloed.

De nieuw toegevoegde continue variabele is de acute toxische druk. Dit is een samenvattende parameter, die afgeleid is op basis van de concentraties van 45 contaminanten (acht metalen, minerale olie, 16 gechloroerde organische stoffen, 16 polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) en vier polychloorbiphenylen (PCB)). De nieuwe variabele vat dus een groot aantal onderliggende parameters samen. Dit is voor beleid en onderzoek handig, bijvoorbeeld als veel locaties beoordeeld moeten worden: de ernst van de vervuiling is dan het beste in één getal samen te vatten.

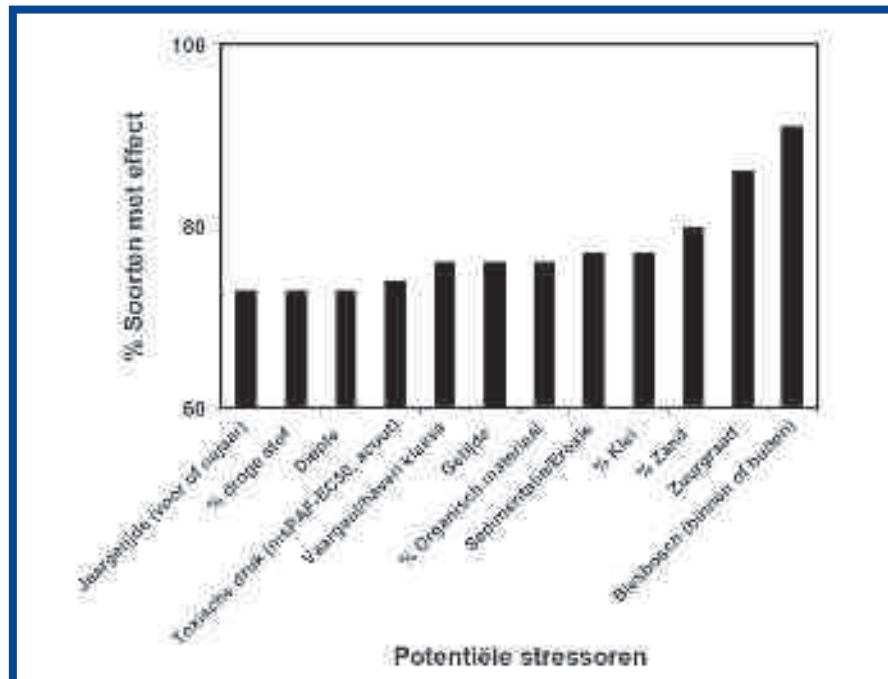
Acute toxische druk

De toxische druk op basis van het acute mediane effect (EC50) is in deze studie een maat voor de fractie soorten waarvan wordt voorspeld dat zij tenminste voor 50 procent effect zullen vertonen door verminderde overleving, vertraagde groei of verlaagde reproductie. In deze studie werd gewerkt met zowel een acute als een chronische toxische druk. Bij een acute toxische druk betekent dit dat de soorten bij kortdurende blootstelling deze effecten laten zien; bij een chronische toxische druk (zoals in Sedias wordt gebruikt) treden de effecten op bij langdurige blootstelling.

Voor de acute toxische druk bedroegen de laagste en hoogste gevonden waarden in de verzameling van gegevens respectievelijk vrijwel 0 en 42 procent. De betekenis van het voorspelde verschil in impact is te begrijpen met het volgende gedachtenexperiment: Er zijn 100 soorten getest op hun gevoeligheid voor de genoemde stoffen. Dat is gedaan door onder laboratoriumcondities voor elke soort de concentratie te bepalen die de beschreven acute effecten oplevert. Als we deze 100 soorten blootstellen aan het genoemde, meest schone en meest vervuilde veld-sedimentmonster, dan betekenen de voorspelde waarden van 0 en 42 procent dat bij 0 danwel 42 procent van de soorten bij kortdurende blootstelling sprake zal zijn van een afgenomen overleving, groei of reproductie met tenminste 50 procent. Met andere woorden: in het vuilste monster moeten de voorspelde effecten eenvoudig zichtbaar zijn.

Zijn er wel effecten?

De beschikbare gegevensverzameling is een goudmijn voor de beoordeling van de betekenis van de toxische druk: er zijn voldoende gegevens, de monsters verschillen gradueel en voor het zwaarst belaste monster moet 42 procent van de soorten ernstig aangetast zijn! Toch bleek het moeilijk de effecten aan te tonen met het zoeken van correlaties tussen dichtheden



Afb. 1: Evaluatie van de rol van omgevingskenmerken (potentiële stressfactoren) op de soorten: sediment verontreiniging beïnvloedt 74 procent van de soorten.

van elk van de 103 soorten en de acute toxische druk. Bij deze analyse bleek dat veruit de meeste correlaties niet significant waren, dat zes soorten reageerden met een geringe verhoging van de dichtheden en vijf met gering verlaagde dichtheden bij toenemende toxische druk. Het leek er dus op dat er vrijwel geen effecten waren, althans: ze waren véél kleiner dan voorspeld door de toxische druk. Omdat dit vreemd was, is nagegaan of er soms meervoudige stresseffecten waren die de voorspelde grote effecten zouden kunnen maskeren.

Grote, verborgen mengseleffecten

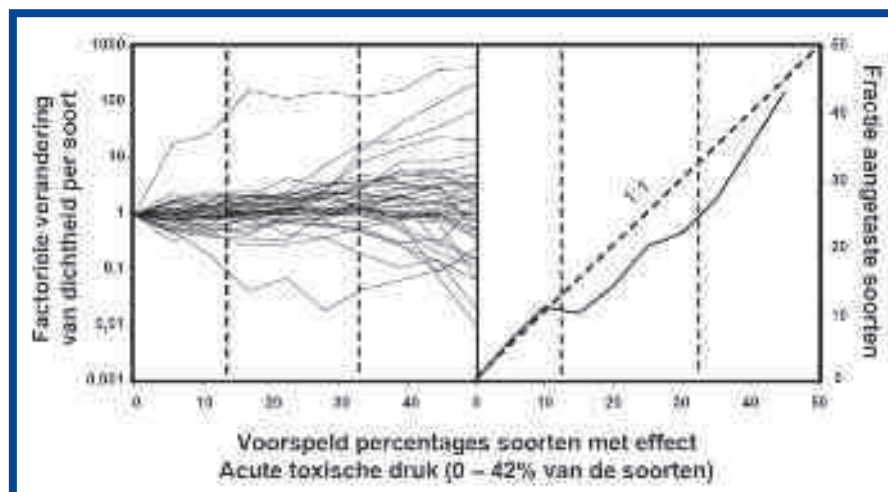
In meervoudige-stressanalyses wordt de dichtheid per soort niet alleen onderzocht ten opzichte van de toxische druk maar ten opzichte van alle 13 stressfactoren in

hun onderlinge verband. Hierbij wordt met GLM-regressie (Generalized Linear Modelling) onderzocht hoe de dichtheid van elke soort afzonderlijk bepaald wordt door variabele onderliggende verzamelingen van stressfactoren.

Uit deze analyses bleek dat een GLM was af te leiden voor 98 van de 103 soorten, en dat voor 73 van die 98 taxa (74 procent) de acute toxische druk sterk geassocieerd was met de dichtheid in het veld (zie afbeelding 1). Ook werden de soorten beïnvloed door wisselende combinaties van de andere stressfactoren. Met andere woorden: de analyses tonen aan dat de dichtheden in het veld het resultaat zijn van allerlei factoren in combinatie. Dat is op zich niet verrassend. Het meest verrassend was de aantoonbare invloed

Afb. 2: De figuur links illustreert de reactie van individuele soorten op een toenemende acuut toxische druk (x-as). Een horizontale lijn geeft aan dat geen dichtheidsverandering bij die soort optreedt. Bij een dalende lijn nemen de dichtheden af; bij een stijgende nemen ze toe.

De figuur rechts illustreert het verband tussen de berekende acuut toxische druk op de x-as (dat wil zeggen het verwachte aantal soorten met een negatief effect vanwege de gehalten toxicanten in het sediment) en het daadwerkelijk aangetroffen aantal soorten met een negatieve respons op de y-as. De verticale stippellijnen zijn de beslisriteria volgens Sedias.



van de acute toxische druk bij 74 procent van de soorten. Er bestaan dus grote veldeffecten van toxische mengsels, maar die bleven eerder (vorige paragraaf) verborgen door de invloeden van de andere stressfactoren. De effecten bleven verborgen, zelfs in deze dataset, die toch behoorlijk verontreinigde monsters omvat. Vervuilde water- en sediment-systemen leiden mogelijk vaak tot effecten, maar die zijn niet eenvoudig statistisch aantoonbaar. De afwezigheid van een sterke correlatie tussen toxische druk of concentraties van afzonderlijke stoffen en dichtheden van soorten betekent niet dat er geen effecten van sedimentverontreiniging zijn.

Betekenis van toxische druk

Nu toxische mengsels in veldsedimenten veel soorten blijken te beïnvloeden, dringt de vraag zich op: wat betekent de toxische druk nu in ecologische termen? Is de situatie vergelijkbaar te maken met de maatlat voor temperatuur? Daar is interpretatie simpel en breed aanvaard en toepasbaar: de waarde van 0 °C voor schoon water is gerelateerd aan ijsvorming, die van 100 °C aan kokend water. De waarde van ongeveer 37 °C heeft ook een heldere betekenis: dit is de lichaamstemperatuur van een gezond mens. Hoe zit dat met de toxische druk?

De acute toxische druk duidt eenvoudigweg op twee zaken. In de eerste plaats blijkt een toename van de toxische druk dichtheidseffecten te veroorzaken, die er voor elke soort anders uitzien (zie afbeelding 2). Sommige soorten vertonen inderdaad een verhoogde dichtheid bij hogere toxische druk (linksboven). Dit is een onverwachte uitkomst als men alleen kijkt naar het model van de toxische druk: dat model voorspelt geen 'positieve' effecten. Deze effecten zijn waarschijnlijk veroorzaakt door ecologische

interacties. Doordat bijvoorbeeld een gevoelige predator afneemt in dichtheid, kan een prooi toenemen in dichtheid. Bij andere soorten neemt de dichtheid af bij toename van de toxische druk (linksonder). Iedere soort vertoont een eigen, typerend patroon. De verschillen in de patronen zijn de basis voor de indeling van soorten als indicatoren voor schoon-, matig- en sterk verontreinigde sedimenten in het artikel van Reeze²⁾.

In de tweede plaats werden alle gegevens samengevat, als fractie aangetaste soorten (rechts). Bij de gegeven effectcurves van de soorten (zoals in de linker figuur) werd geteld hoeveel soorten bij een bepaalde toxische druk, een dichtheidseffect hadden groter dan 50 procent (positief of negatief). Tot onze grote verrassing bleek de fractie negatief aangetaste soorten ongeveer 1:1 geassocieerd met de acute toxische druk, zoals bij een ideale modellering van de toxische druk te verwachten is. De fractie soorten met een positief dichtheidseffect werd ook geteld; deze bleek vaak hoger dan de fractie soorten met een negatief dichtheidseffect (niet getoond).

De praktijk van Sedias

De hiervoor beschreven acute toxische druk kent een lineair verband met de chronische toxische druk, zoals in Sedias wordt gehanteerd als besliscriteria voor sedimentbeoordeling. In afbeelding 2 zijn deze (omgerekende) criteria voor de beoordeling van ecologische effecten van verontreinigde waterbodems via stippellijnen weergegeven. Sedias kijkt naar chronische toxische druk van mengsels op EC50-niveau, omdat de Handreiking beoordeling waterbodems gericht is op langetermijneffecten (chronisch) en beoogt daadwerkelijke effecten te beoordelen (EC50). Aan de hand van de stippellijnen in de rechter figuur is af te lezen

dat de ecologische effecten bij chronische msPAF-waarden van 20 en 50 procent op de sediment macrofauna toenemen.

De analyse van de gegevens van de zoete getijdenwateren hebben geleid tot een maatlat voor sedimentverontreiniging²⁾ waarmee de verontreiniging van andere sedimenten is te beoordelen. Daartoe worden de aanwezige soorten geteld. Ook wordt afgelezen in welke indicatorgroep ze vallen (schoon, matig en sterk verontreinigd sediment). De toedeling van soorten aan de indicatorgroepen is mede geïkht door de GLM-modellen en de beoordeling van toxische druk (acute en chronische msPAF).

De grootte van 'toxische druk' is ontworpen als een algemene maat voor toxiciteit. Toename van toxische druk duidt volgens de huidige studie eenvoudigweg op toenemende ecologische effecten. Dit is ook logisch: via het denkexperiment worden verhoogde stoffenconcentraties (die duiden op toenemende effecten) omgerekend naar een hogere toxische druk, met de betekenis van hogere effecten op de getoetste soorten. Dat er ook voor veldsoorten toenemende effecten zijn bij toenemende vervuiling, is bij eenvoudig doorredeneren niet verrassend; het was slechts onbekend hoe de veranderde effecten eruit zouden zien. Bij de werkelijk waargenomen effecten is het wel verrassend dat een zeer sterke associatie is gevonden tussen modelvoorspelling (stippellijn, rechtsonder) en werkelijkheid (doorgetrokken lijn, vrijwel 1:1 gerelateerd), alsmede het optreden van negatieve én positieve dichtheidseffecten.

De toxische druk is altijd te berekenen na het meten van de stoffen. Het grote voordeel is: toxiciteit van allerlei stoffen wordt samengevat in één nieuwe variabele, die eenvoudig te hanteren is voor beleid. Bij beleidsmaatregelen kan 'de trap van boven worden schoongeveegd', door prioritair maatregelen te nemen bij de hoogste toxische druk. De toxische druk wordt daarom inmiddels gebruikt bij de beoordeling van de kwaliteit van de bodem³⁾ en het sediment¹⁾, bij diagnose van stoffeneffecten in het milieu, de levenscyclusanalyse van producten⁴⁾ en zelfs bij rampen met chemische stoffen wereldwijd⁵⁾.

LITERATUUR

- 1) Hin J., L. Osté en C. Smidt (2010). Handreiking beoordeling waterbodems. Ministerie van Infrastructuur en Milieu, DG Water.
- 2) Reeze A., E. Peeters, M. de la Haye, H. de Lange (2012). Nieuwe KRW-maatlat voor macrofauna in de zoete getijdenwateren toetst sedimentvervuiling. H₂O nr. 20, pag. 29-32.
- 3) SenterNovem, Bodem+, RIVM, ministerie van VROM (2007). Ken uw (water)bodemkwaliteit, de risico's inzichtelijk.
- 4) Huijbregts M. *et al.* (2002). Ecotoxicological impacts in Life Cycle Assessment. Species sensitivity distributions in ecotoxicology. L. Posthuma, G. Suter en T. Traas. Boca Raton, Florida. Lewis Publishers: pag. 421-436.
- 5) Van Dijk S. *et al.* (2009). FEAT - Flash Environmental Assessment Tool to identify acute environmental risks following disasters. The tool, the explanation and a case study. RIVM.

Monsternamen van macrofauna met een Boxcore (foto: Arie Naber, Rijkswaterstaat).

