



Invloed biobeschikbaarheid op toxische druk

Deltafact 31 januari 2022

1. INLEIDING
2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS
3. STRATEGIE
4. SCHEMATISCHE WEERGAVE
5. WERKING
6. KOSTEN EN BATEN
7. RANDVOORWAARDEN
8. PRAKTIJKERVARINGEN EN LOPENDE INITIATIEVEN
9. KENNISLEEMTES
10. BRONNEN & LINKS
11. COLOFON
12. DISCLAIMER

1. INLEIDING

In deze Deltafact gaan we dieper in op het begrip biobeschikbaarheid en laten we zien hoe dit van invloed is op de toxische druk van wateren. Dit illustreert het belang van het integreren van de biobeschikbaarheidscorrectie in de bepaling van de ecotoxicologische toestand van wateren. Voordat biobeschikbaarheid echter behandeld kan worden, lichten de opstellers eerst het concept van het bepalen van de toxische druk nader toe.

Een waterlichaam kan verontreinigd zijn met een mengsel van toxische stoffen. De mate waarin een waterlichaam en bijbehorend ecosysteem negatieve effecten hiervan ondervindt, kan omschreven worden met het begrip toxische druk. Dit drukt de mate uit waarin een verzameling van organismen wordt beïnvloed door (potentiële) effecten van een stof of mengsel van stoffen ([Wintersen et al., 2014](#)).

Hoe meer soorten last zullen ondervinden van een toxische stof, hoe hoger de toxische druk. In andere woorden, de toxische druk vormt een maatstaf voor effecten op de biodiversiteit ([Posthuma et al., 2016](#)). De eenheid van toxische druk is de Potentieel Aangetaste Fractie soorten (PAF), die varieert van 0 tot 1 (of, als percentage, van 0 tot 100% van de soorten).

Toxiciteit is een begrip wat door de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) beschouwd wordt als één van hun ecologische sleutelfactoren. Deze sleutelfactoren geven inzicht in belangrijke thema's rond de ecologische toestand van oppervlaktewateren en bieden handvaten voor het stellen van doelen voor behoud of herstel van waterkwaliteit.

Bij toepassing van de sleutelfactor Toxiciteit wordt gebruik gemaakt van twee sporen: het Chemie-spoor en het Toxicologie-spoor. Het Chemie-spoor gebruikt gemeten concentraties en modellering om effecten van stoffen te voorspellen, terwijl het Toxicologie-spoor bioassays adviseert die inzicht geven in meetbare effecten van het mengsel van stoffen. Het Chemie-spoor maakt gebruik van de Chemie-tool, die in staat is om de toxische druk te berekenen van een mengsel van stoffen in een waterlichaam. Een factor die binnen de Chemie-tool een rol speelt, en dus de toxische druk beïnvloedt, betreft de biobeschikbaarheid van een stof. Onder invloed van fysisch-chemische kenmerken van het water en het watersysteem kan een deel van de aanwezige stoffen binden aan bijvoorbeeld zwevende stof, waardoor dat deel niet tot blootstelling en effecten leidt. Er is sprake van biobeschikbaarheid wanneer een stof kan worden opgenomen door planten en dieren.

In deze Deltafact zal de mate waarin biobeschikbaarheid invloed heeft op de toxische druk geïllustreerd worden en daarbij het belang van het integreren van de biobeschikbaarheidscorrectie adresseren. Voordat biobeschikbaarheid echter behandeld kan worden, zal eerst het concept van het bepalen van de toxische druk verder toegelicht worden.

2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS

- STOWA rapport 2007, [biologische beschikbaarheid en actuele risico's van zware metalen in oppervlaktewater](#)
- [STOWA ecologische sleutelfactor Toxiciteitsrapporten](#)

- Deltafact [Classificatie en communicatie van de graad van chemische verontreiniging](#).
- Deltafact [Van toxische druk naar betere waterkwaliteit in Nederland](#)

3. STRATEGIE

Deze Deltafact is opgesteld met informatie uit eerdere rapporten en berekeningen met formules die de opgeloste concentratie van organische stoffen en zware metalen in een waterlichaam bepalen. Deze berekeningen laten het effect zien op de toxische druk wanneer biobeschikbaarheid in acht wordt genomen.

Berekeningen zullen eerst niet stof-specifiek uitgevoerd worden, waarbij de invloed van fysisch-chemische variabelen van het watersysteem op de biobeschikbaarheid binnen een bijpassende range worden laten zien. Hierdoor kunnen effecten voor verschillende stoffen en verschillende omgevingsfactoren inzichtelijk worden gemaakt. Daarna zal er een korte case study beschreven worden waarin wel stof-specifieke berekeningen zijn opgesteld. Hiermee kan een doorrekening naar de toxische druk van watermonsters gemaakt worden en wordt de relevantie van de resultaten versterkt door het gebruik van realistische concentraties.

4. SCHEMATISCHE WEERGAVE

Toxische druk bepalen en uitdrukken als PAF

Via de Chemie-tool wordt de toxische druk uitgedrukt in de Potentieel Aangetaste Fractie (PAF). Deze factor varieert van 0 tot 1, maar kan ook in procenten worden uitgedrukt in welke vorm het aangeeft hoeveel procent van soorten organismen aangetast wordt door een concentratie. Bij welke hoeveelheid een bepaalde grens van toxisch effect bereikt wordt, verschilt per stof. Dit kan in beeld worden gebracht met een soortengevoeligheidsverdeling genaamd de SSD-curve (Species Sensitivity Distribution), waarin de concentratie stof is uitgezet tegenover de PAF. Stel de norm is dat maximaal 5% van de soorten effect kunnen ondervinden, dan betekent het dat 95% beschermd is tegen enig effect. Soortengevoeligheid wordt vaak bepaald vanuit resultaten van laboratoriumproeven, of via bioassays ([Posthuma et al., 2016, p. 107](#)).

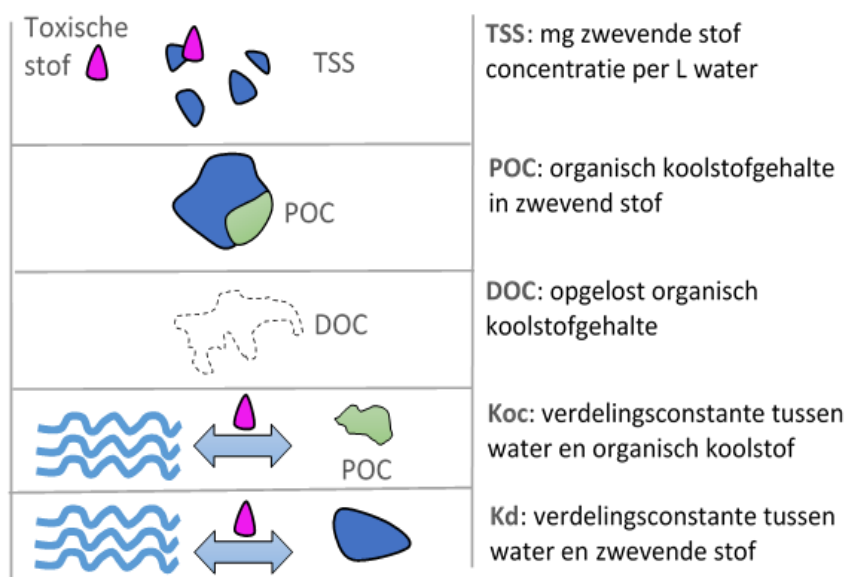
De toxische druk van een mengsel van stoffen kan vervolgens berekend worden door de individuele PAFs samen te voegen tot een meer stoffen PAF (msPAF). Wanneer er sprake is van dezelfde werkingsmechanismen tussen stoffen, kunnen de individuele

stoffen geaggregeerd worden via concentratie additie. Echter, wanneer stoffen verschillende werkingsmechanismen hebben, kan de msPAF als volgt berekend worden ([Posthuma et al., 2016, p. 108](#)):

$$msPAF = 1 - (1 - PAF A) * (1 - PAF B)$$

Stel dat de PAFs van stof A en B respectievelijk 0.5 en 0.3 zijn, dan is de msPAF gelijk aan $1 - (1 - 0.5) * (1 - 0.3) = 0.65$ ([Posthuma et al., 2016, p. 108](#)). In de praktijk van de Chemie-tool wordt momenteel deze rekenwijze universeel toegepast, omdat dit robuuste informatie oplevert.

PAF en biobeschikbaarheid



Afbeelding 2. Variabelen die opgeloste concentratie van organische stoffen en opgeloste fractie van zware metalen bepalen. TSS=Total Suspended Solids; POC=Particulate Organic Carbon, DOC=Dissolved Organic Carbon

Zonder biobeschikbaarheid kan een stof niet opgenomen worden door organismen. Als de stof inderdaad minder beschikbaar is, dan zal de biobeschikbaarheidscorrectie ervoor zorgen, binnen een bepaalde range van concentraties, dat bij eenzelfde totaal-concentratie stof minder soorten aangetast zullen zijn. Bij deze beschikbare concentraties wordt de PAF-waarde dus lager.

Factoren die de biobeschikbaarheid van een stof bepalen, zijn gerelateerd aan lokale condities in een waterlichaam en stofspecifieke eigenschappen, zoals de watertemperatuur, de pH en de concentratie zwevende stof. De zwevende stof concentratie speelt een belangrijke rol in het bepalen van de biobeschikbaarheid, gezien dit substraat vormt voor stoffen om aan te binden.

Biobeschikbaarheid in formule

De biobeschikbaarheid wordt op verschillende wijze bepaald voor metalen en organische stoffen. De opgeloste en biobeschikbare concentratie kan berekend worden met variabelen geïllustreerd in Afbeelding 2.

Organische stoffen kunnen absorberen aan het organische stof in zwevend stof. Voor het berekenen van de opgeloste concentratie van organische stoffen zijn de variabelen in de volgende formule geconstrueerd ([Posthuma et al., 2016, p. 120](#)):

$$C_{opgelost} = C_{totaal} / (1 + TSS * 10^{-6} * POC * 10^{-6} * Koc)$$

Metaalionen binden zich met zwevend stof door een plekje af te pakken van H⁺-ionen die een zwevend stof deeltje omringen. De fractie die echter opgelost is, kan met de volgende formule berekend worden (Posthuma et al., 2016, p. 121):

$$Opgeloste\ fractie\ metaal = 1 / (1 + TSS * 10^{-6} * Kd)$$

Totale metaalconcentraties worden momenteel gemeten met gefiltreerde monsters. Dit betekent dat de correctie voor de binding aan zwevende stof voor metalen, zoals die beschreven is voor niet-gefiltreerde oudere monsters, niet meer nodig is, want hierdoor zal de uitkomst van de opgeloste fractie altijd 1 zijn. Mocht het toch geprefereerd worden om met ongefiltreerde monsters te werken, bijvoorbeeld ter vergelijking met oude monsters die wel met behulp van deze methode genomen zijn, dan kan deze formule uit het rapport van 2016 gebruikt worden.

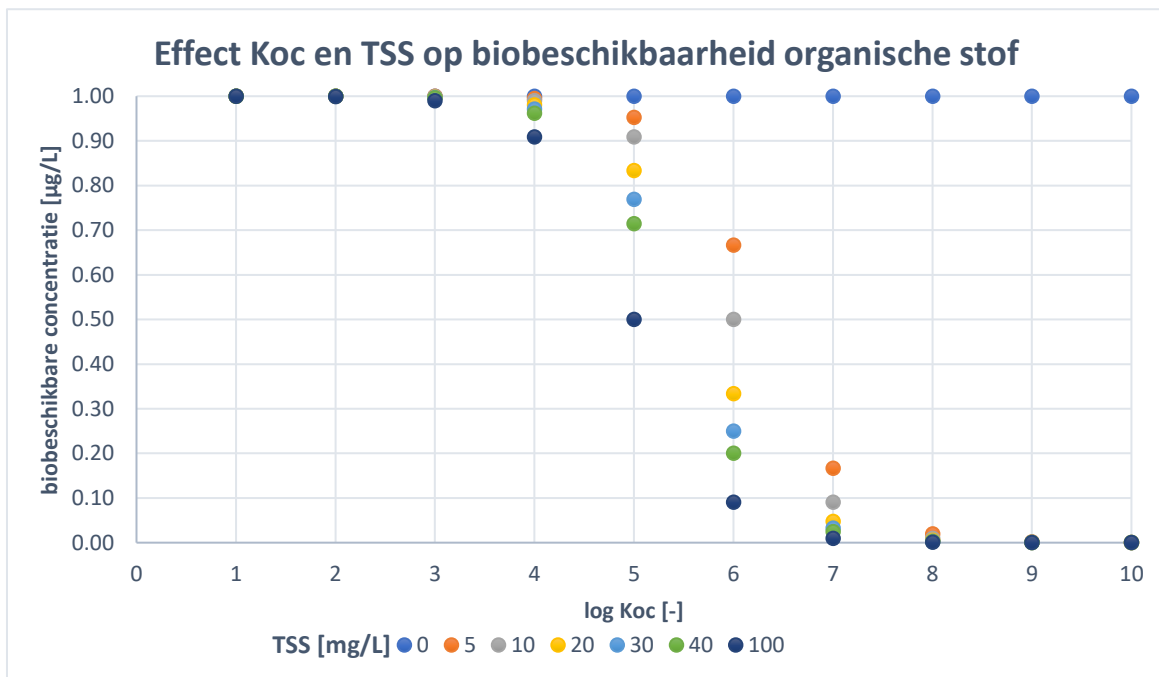
Metalen kunnen echter ook gebonden zijn door complexen te vormen met bijvoorbeeld DOC en chloride. De pH kan ook invloed hebben op dit proces. Welke elementen betrokken zijn in de complexvorming van een stof en in welke mate, is metaalspecifiek. Per metaal is er dus sprake van een andere formule om de biobeschikbare fractie te berekenen. Voor zilver, bijvoorbeeld, is de biologisch beschikbare ionogene fractie als volgt te berekenen ([Posthuma et al., 2016, p. 121](#)):

$$Vrije\ Ag\ ionen = 10^{(2.161 + 1.0686 * \log(opgeloste\ Ag\ concentratie) - 0.044096 * \log(DOC) - 0.0092476 * DOC - 0.61811 * \log(Cl))}$$

5. WERKING

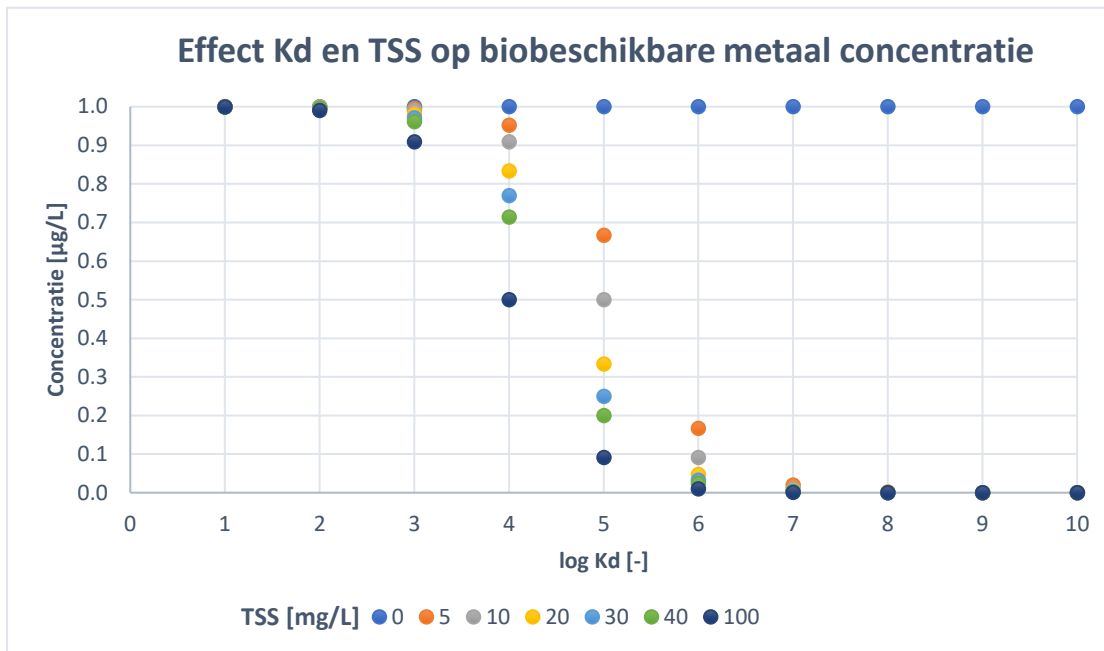
De evenwichtsconstanten Koc en Kd, en de zwevende stof concentratie TSS zijn belangrijke variabelen in het bepalen van de biobeschikbare concentratie. TSS-concentraties variëren in Nederland grofweg tussen 3 en 100 mg/l ([Osté en Roskam, 2021](#)) In **Error! Reference source not found.** is te zien hoe de biobeschikbare

concentratie voor organische stoffen verandert onder een variërende log Koc en TSS. Als log Koc=4, lijkt er al een vermindering van biobeschikbare concentratie op te treden. Vanaf log Koc=5 is er nog duidelijker te zien dat de biobeschikbare concentratie omlaag gaat en dat de combinaties met TSS-waarden meer uit elkaar komen te liggen. Vermindering van biobeschikbare concentratie treedt dus op wanneer log Koc en TSS hoger worden vanaf een bepaalde minimale waarde. Dit komt doordat een hogere Koc betekent dat er een grotere affiniteit is om aan zwevende stof te binden en een grotere hoeveelheid TSS betekent dat er meer substraat aanwezig is voor organische stof om aan te binden.



Afbeelding 3. Effect log Koc en TSS op biobeschikbare concentratie van organische stoffen

Ditzelfde patroon is te zien voor metalen, zie Afbeelding 4. Echter, verandering is al eerder te zien rond log Kd=3 en duidelijk effect is af te lezen vanaf log Kd=4.



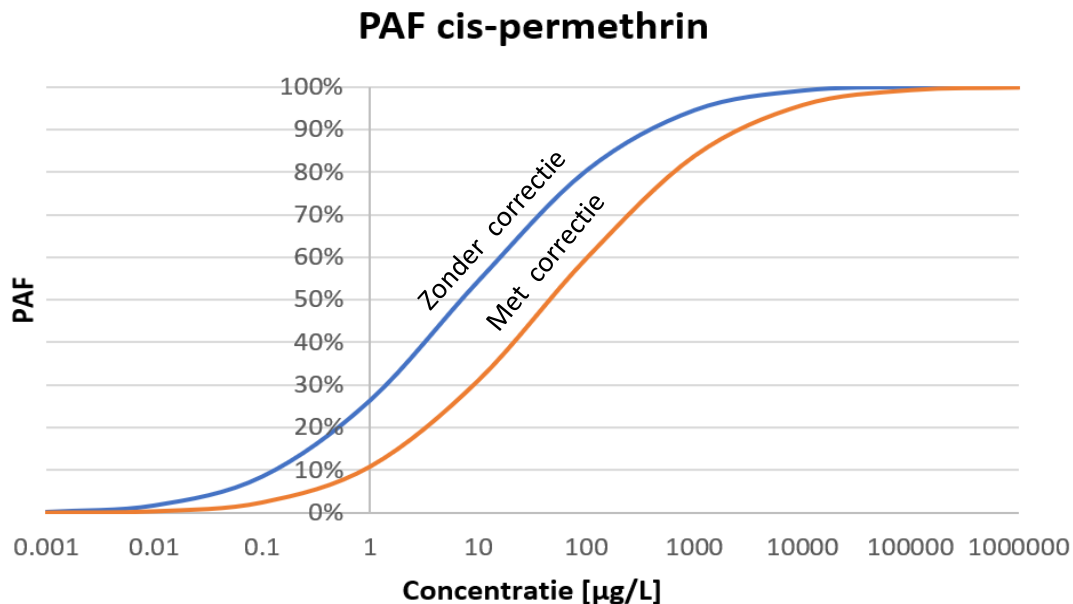
Afbeelding 4. Effect log Kd en TSS op biobeschikbare concentratie van metalen

Om te zien hoe de grootte van de Koc effect heeft op de PAF-waarde, zijn er drie organische stoffen gekozen met Koc's die afkomstig zijn uit de log Koc range 0-3, 4-6 of 7-8. De resultaten zijn te zien in Tabel 1. De PAF wordt in deze tabel, en de rest van de Deltafact, uitgedrukt in procenten.

Tabel 1: Effect op de toxische druk (PAFs) van drie stoffen uit drie verschillende ranges van log Koc. Aangehouden standaardwaarden zijn TSS=5 en POC=100000. De code " B" geeft aan dat in deze kolom de biobeschikbaarheidscorrectie is doorgevoerd, wat kan leiden tot een lagere beschikbare concentratie en een lagere toxische druk.

log Koc range	stof	log(Koc)	conc.	conc. B	PAF	PAF B
0-3	imidacloprid	2.36	0.1 µg/L	0.1 µg/L	0.21%	0.21%
4-6	benzo(a)antraceen	5.37	0.1 µg/L	0.09 µg/L	0.12%	0.11%
7-8	cis-permethrin	7.04	0.1 µg/L	0.02 µg/L	8.53%	2.42%

Zoals verwacht, speelt biobeschikbaarheid vooral een rol bij de hogere Koc's. In Afbeelding 5 is te zien hoe de biobeschikbaarheidscorrectie de SSD-curve beïnvloedt van cis-permethrin. Te zien is dat, in het middenstuk van de curve, dezelfde concentraties tot lagere PAF waarden leiden wanneer gecorrigeerd wordt voor biobeschikbaarheid.



Afbeelding 1: SSD-curve van cis-permethrin, verloop zonder en met biobeschikbaarheidscorrectie. Condities zoals in Tabel 1.

Voor metalen kan biobeschikbaarheid nog meer verminderen door complexvorming. Dit is echter metaal-specifiek. Het effect dat pH en DOC op complexvorming voor verschillende metalen op de PAF hebben, is geïllustreerd in Tabel 2 in de rechter tabel. Hierbij zijn de waarden van de biobeschikbare concentratie geanalyseerd door de variabelen concentratie, pH en DOC respectievelijk te variëren binnen de ranges [0-1000 $\mu\text{g/L}$], [6-8.5] en [5-40 mg/L]. Er is ook berekend hoe de PAF ontwikkelt wanneer geen biobeschikbaarheidscorrectie plaatsvindt, te zien in de linker tabel. Het figuur zal verder uitgelegd worden met de legenda als rode draad.

In de rechter tabel kan gezien worden wanneer pH en DOC invloed hebben op de PAF. Terwijl de berekening zonder biobeschikbaarheidscorrectie 1 waarde per metaal geeft, resulteert een berekening met biobeschikbaarheidscorrectie met 3 variërende variabelen natuurlijk tot veel combinaties. Dit is de reden waarom de legenda de bovenste twee criteria bevat die aangeven dat er zich PAFs "tussen 0 of 1%" of "groter dan 1%" bevinden in deze combinaties van pH en DOC met de aangegeven

concentratie. Hierdoor kan gezien worden bij welke concentraties de pH en DOC invloed kunnen hebben op de PAF.

Tabel 2. Effect op PAF-waarde zonder en met biobeschikbaarheidscorrectie, zie tekst voor uitgebreide uitleg

Zonder biobeschikbaarheidscorrectie								Met biobeschikbaarheidscorrectie							
Variabele: Concentratie Range: [0-1000 µg/l]								Concentratie [0-1000 µg/L] pH [6-8.5] DOC [5-40 mg/l]							
Metaal	Concentratie [µg/L]								Concentratie [µg/L]						
	0	0.01	0.1	1	10	100	1000		0	0.01	0.1	1	10	100	1000
Cobalt											X	X	X	X	
Koper													X	X	
Nikkel										X	X	X	X	X	
Lood													X	X	
Zink											X	X	X	X	
Zilver										X	X	X	X	X	
Barium															
Beryllium											X	X	X	X	
Cadmium										X	X	X	X	X	
Mercury													X	X*	
Mangaan														X	

*tenzij pH=8.5, dan lager

	PAF > 1.00%
	PAF = 100%
X	er zijn waarden met PAF > 0.00%
	er zijn waarden met PAF > 1.00%
	PAF > 1.00% (voor alle pH en DOC combinaties)
	PAF = 100% (voor alle pH en DOC combinaties)

De andere twee criteria, alle PAFs "groter dan 1" of "gelijk aan 100%", zijn relevant voor de vergelijking tussen met en zonder biobeschikbaarheidscorrectie. Er is te zien in Afbeelding 6 dat de tabel zonder biobeschikbaarheidscorrectie resulteert in een harde overgang naar een PAF van 100% voor alle metalen bij 10 µg/L. De PAFs van metalen met biobeschikbaarheidscorrectie bereiken echter nooit de 100%, met uitzondering van kwik die alleen bij een zeer hoge pH van 8.5 iets lager ligt. Bovendien lijken de resultaten veel stof-specifieker door de verhoogde dynamiek.

6. KOSTEN EN BATEN

Het meenemen van biobeschikbaarheid geeft een betere schatting van de concentratie waaraan organismen worden blootgesteld. Dat geeft een juist beeld van welke stoffen eventuele toxiciteit veroorzaken en voorkomt dat maatregelen genomen worden voor stoffen die in de praktijk niet tot schadelijke effecten leiden.

De biobeschikbare concentratie is altijd lager dan de gemeten concentratie en dat leidt direct tot lagere toxiciteit berekend in de chemietool. Het spaart de waterbeheerder kosten omdat minder maatregelen nodig zijn om tot doelbereik te komen.

7. RANDVOORWAARDEN

Biobeschikbaarheidsberekeningen vragen om ondersteunende parameters. Als totale concentraties in water worden gemeten, is het meten van de concentratie zwevend stof belangrijk. Als er na filtratie metalen worden gemeten, is het belangrijk om minimaal pH en DOC en bij voorkeur ook calcium, magnesium, natrium en kalium te meten en in de toekomst waarschijnlijk ook EDTA. Die stof gedraagt zich als DOC; metalen binden er goed aan en zijn daardoor minder beschikbaar.

8. PRAKTIJKERVARINGEN EN LOPENDE INITIATIEVEN

Om te zien hoe biobeschikbaarheid een rol speelt in de praktijk met realistische concentraties en doorgewerkt naar de PAF-waarde, is er een pilot plek uitgekozen waarvan de concentraties worden gebruikt voor de berekening. Dit betreft de IJtunnel bij Amsterdam met de laatste metingen genomen in 2020 (Rijkswaterstaat, 2020). Deze specifieke pilotplek is uitgekozen gezien gemeten concentraties niet al te laag zijn, want dan kunnen verschillen slecht worden aangeduid.

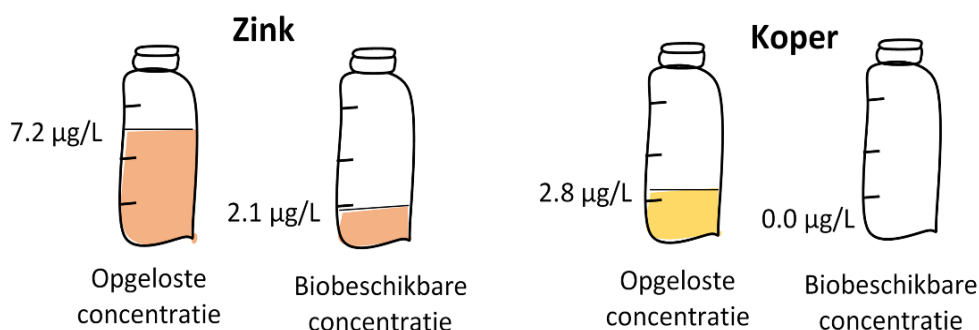
Standaardwaarden voor de berekening zijn TSS=5 mg/L, POC=10000 mg/kg, DOC=5 mg/L en pH=7.

De resultaten voor organische stoffen zijn zichtbaar in Tabel 3. Bij de helft van de stoffen is de concentratie te laag om tot een PAF waarde groter dan 0.00% uit te komen. Hierdoor kan niet gekeken worden naar het effect dat de biobeschikbaarheidscorrectie zou hebben. De PAF van fluorantheen wordt een beetje verlaagd, maar de PAF van esfenvaleraat wordt verlaagd met zo'n 1%. Voor dibenzo(a,h)antraceen maakt de correctie niet uit, ondanks een hoge Koc.

Tabel 3. PAF-waardes met en zonder biobeschikbaarheidscorrectie van organische stoffen met concentraties gemeten bij de IJtunnel, Amsterdam

Organische stof	log Koc	Conc. [$\mu\text{g/L}$]	PAF geen correctie	PAF met correctie
Imidacloprid	2.36	0.006	0.00%	0.00%
Seleen	2.80	0.139	0.00%	0.00%
Fluorantheen	4.61	3.35	5.78%	5.68%
Benzo(a)anthraceen	5.15	0.001	0.00%	0.00%
Esfenvaleraat	5.80	0.01	6.35%	5.31%
Dibenzo(a,h)antraceen	5.95	0.003	0.01%	0.01%

Het blijkt dat zink en koper metalen zijn waarbij de concentratie zichtbaar wordt aangepast door de biobeschikbaarheidscorrectie, zie Afbeelding 6. Duidelijk is, dat de berekende biobeschikbare concentratie van koper vrijwel nihil is.



Afbeelding 2: Koper en zink concentratie voor en na biobeschikbaarheidscorrectie

De doorrekening naar de PAF-waardes, samen met de resultaten voor de andere metalen, is te zien in Tabel 4. De PAF-waardes zijn niet hoog met de gemeten concentraties. Vooral voor koper, nikkel en zink lijkt de biobeschikbaarheidscorrectie uit te maken.

Tabel 4: PAF-waardes met en zonder biobeschikbaarheidscorrectie van metalen met concentraties gemeten bij de IJtunnel, Amsterdam

Metaal	Conc. [µg/L]	Biobesch conc. [µg/L]	PAF geen correctie	PAF met correctie
Koper	2.76	0.00	0.47%	0.00%
Nikkel	1.65	0.46	0.34%	0.07%
Zink	7.19	2.12	0.12%	0.01%
Mangaan	114	51	0.02%	0.00%
Kobalt	0.251	0.092	0.01%	0.00%
Lood	0.025	0.0001	0.00%	0.00%
Zilver	0.0040	0.0004	0.00%	0.00%
Barium	59.2	35.8	0.00%	0.00%
Beryllium	0.003	0.00002	0.00%	0.00%
Cadmium	0.018	0.0038	0.00%	0.00%

9. KENNISLEEMTEN EN AANBEVELINGEN

Zoals beschreven is voor zowel metalen als organische stoffen, kunnen variabelen uit de formules variërend invloed hebben op de toxische druk, afhankelijk van de stof en

bijbehorende eigenschappen. Het is dus van belang dat voor zwevend stofconcentraties, POC en DOC betrouwbare waarden voor het te beoordelen watersysteem worden gebruikt. Het gebruik van standaardwaarden, die bijvoorbeeld afgeleid zijn voor geheel Nederland, leidt tot mogelijke over- of onderschatting van de lokale toxische druk. Om deze mogelijkheid te adresseren, kan er een waarschuwing in de Chemie-tool worden gebouwd die verschijnt wanneer deze standaardwaarden worden gebruikt ([Meiracker & Verweij, 2021](#)). Ook het periodiek actualiseren van de databases in de tool (lijst met Koc-waarden) en het actualiseren van beschikbaarheidsformules wordt aanbevolen.

10. BRONNEN & LINKS

- Meiracker, R. van der & Verweij, W. (2021). Sleutelfactor Toxiciteit: Update methodiek berekening biobeschikbaarheid in de ESF-toxiciteit Chemie Rekentool. KIWK rapport. https://www.datocms-assets.com/38996/1643376658-c1a_update-methodiek-biobeschikbaarheid-metalen-chemietool-met-waarschuwing.pdf
- Osté, L. en Roskam, G. (2021). Biobeschikbaarheid van organische verontreinigingen. KIWK-rapport. <https://www.datocms-assets.com/38996/1635783864-10biobeschikbaarheid-organische-verontreinigingen.pdf>
- Posthuma, L., Zwart, D. de, Osté, L., Oost, R. van der & Postma, J. (2016). Ecologische Sleutelfactor Toxiciteit, Deel 1: Methode voor het in beeld brengen van de effecten van giftige stoffen in oppervlaktewater (Nr. 2016-15A). Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA). <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202016/STOWA%202016-15/STOWA%202016-15A.pdf>
- Rijkswaterstaat. (2020). Waterinfo. [Data site]. <https://waterinfo.rws.nl/#!/nav/expert/>
- Wintersen, A., Oste, L., Mesman, M., & Lijzen, J. P. A. (2014). Toepassing van toxische druk in beoordelingsinstrumenten (Nr. 607711016). Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/607711016.pdf>

11. COLOFON

Dit Deltafact is geschreven in het kader van het project Toxiciteit van de Kennisimpuls Waterkwaliteit. In de Kennisimpuls werken Rijk, provincies, waterschappen, drinkwaterbedrijven en kennisinstituten aan meer inzicht in de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater en de factoren die deze kwaliteit beïnvloeden. Daarmee kunnen waterbeheerders en andere partijen de juiste maatregelen nemen om de waterkwaliteit te verbeteren en de biodiversiteit te vergroten.

In het programma brengen partijen bestaande en nieuwe kennis bijeen, en maken ze deze kennis (beter) toepasbaar voor de praktijk. Hiermee verstevigen ze de basis onder het waterkwaliteitsbeleid. Het programma is gestart in 2018 en duurt vier jaar. Het wordt gefinancierd door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, STOWA, waterschappen, provincies en drinkwaterbedrijven.

Auteurs

Deze factsheet is opgesteld door Deltares in januari 2022 als onderdeel van het KIWK-project Toxicologie, waarin RIVM, WEnR, KWR en Deltares samenwerkten. Auteurs: Liesbeth van der Veen, Rianne van den Meiracker, Wilko Verweij, Leonard Osté (Deltares).

Februari 2022, versie 1

12. DISCLAIMER

De in deze publicatie gepresenteerde kennis en diagnosemethoden zijn gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteur(s) en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit deze publicatie.