



Naar een nieuwe beoordeling van zware metalen in sediment

analyse van biologisch beschikbare fracties
toetsing aan risicogrenzen

RIZA werkdokument 99.111X





Naar een nieuwe beoordeling van zware metalen in sediment

- *analyse van biologisch beschikbare fracties*
- *toetsing aan risicogrenzen*

AKWA rapport 99.007
RIZA document 99.111X

Auteurs: J.P.M. Vink
C. van de Guchte
J.J.G. Zwolsman
L.M. van der Heijdt
J.M. van Steenwijk
J. Tuinstra

RIZA
Lelystad, november 1999



Inhoudsopgave

Samenvatting 5

1 Aanleiding 7

2 De CaCl_2 extractie: toelichting 9

3 Biobeschikbaarheid met CaCl_2 extractie: toetsing aan risicogrenzen 13

4 Criteria voor urgentiebepaling 15

Eindnoot 17

Referenties 19

Bijlagen

1 Toetswaarden en achtergrondconcentraties 22

2 Toelichting op de bodemtype correctie 23

3 Verdelingscoëfficiënten 24

Samenvatting

De huidige beoordeling van sediment-gebonden zware metalen ten behoeve van ecologische risico's is ontoereikend. Om de verspreiding in het milieu en blootstelling aan organismen beter te kunnen schatten is een zogenaamde "zwakke extractie methode" operationeel en beschikbaar die als waardevolle aanvulling kan dienen bij dergelijke risicobeoordelingen. De methode verdisconteert impliciet de sediment-eigen karakteristieken waaronder sorptiecapaciteit en pH. Hierdoor kunnen concentraties rechtstreeks aan toxicologische normen worden getoetst.

Een stappenplan wordt voorgesteld om verontreinigde sedimenten beter te beoordelen aan de hand van biobeschikbaarheid van zware metalen. Deze exercitie kan leiden tot een afwijkende kwantificering van risico's, en derhalve tot een andere prioritering ten opzichte van de huidige klassenindeling.

1 Aanleiding

Reeds geruime tijd is onderkend dat kennis van totaalgehalten in bodems en waterbodems (sediment & zwevende stof) weinig informatie geeft over daadwerkelijk biologisch beschikbare fracties, en derhalve weinig directe relevantie heeft voor de beoordeling van risico's en effecten op het milieu¹. In de Wet Bodembescherming is dan ook onderkend dat bodemeigenschappen een rol spelen in de beschikbaarheid van verontreinigingen. De uitwerking daarvan in de zogenaamde bodemtype-correctie op totaalgehalten, op basis van organisch stof- en lutum gehalten, kent echter beperkingen. Het effect van temporele veranderingen van omgevingsfactoren, bijvoorbeeld als gevolg van seizoensvariaties, wordt hiermee niet gedekt. In diverse onderzoeksprojecten van RWS, VROM en LNV wordt hier nader op ingegaan. Ook in een discussiebijeenkomst van RIZA, RIKZ, BD en WL is hiervoor opnieuw aandacht gevraagd (Kamerling, 1998; Vink en Hendriks, 1999). De aanleiding hiervoor is dat bestaande regelgeving volledig gebaseerd is op de relatief eenvoudige bodemtype-correcties en partiticoëfficiënten uit de jaren tachtig, en dat onvoldoende opening geboden wordt voor het hanteren van nieuw verworven inzichten, analysetechnieken en beoordelingsmethoden. Deze notitie beoogt daar een breder draagvlak voor te vinden. Daarnaast wordt een mogelijke invulling gegeven aan de vraag naar operationele technieken ten behoeve van actief bodembeheer.

De verdere uitwerking van nieuwe kennis en inzichten is van belang voor verschillende RWS werkvelden, zoals de urgentiebepaling voor potentiële saneringslocaties, actief bodembeheer en het verantwoord omgaan met verontreinigde grond, natuurontwikkeling op verontreinigde locaties, verspreiding van onderhoudsbaggerspecie, direct toepassen van baggerspecie, reiniging en eventueel storten van baggerspecie, etc. In alle werkvelden betreft het zowel risico's (kans op effect) van blootstelling aan met zware metalen verontreinigd sediment, als ook de kans op verspreiding van verontreinigingen via oppervlaktewater, grondwater en/of organismen.

Huidige analysemethode (routinematig)

Totaalgehalten aan zware metalen in sediment worden, volgens de door de Nederlandse Voornorm voorgeschreven methode 5770, bepaald door middel van extractie met salpeterzuur en zoutzuur (15,8M resp. 12,0M; Aqua Regia, het zogenaamde "koningswater"). De geforceerde extractie geschiedt onder verhitting in een microgolfoven. Deze relatief agressieve methode zorgt voor een nagenoeg volledige ontsluiting van zware metalen, dat wil zeggen dat niet alleen de opgeloste en geadsorbeerde fracties worden bepaald (de zogenaamde gemakkelijk beschikbare of uitwisselbare fracties), maar ook bijvoorbeeld de ge(co)precipiteerde en gesubstitueerde minerale vormen en organische complexen. Deze laatste vormen waarschijnlijk slechts een klein deel van de door organismen

¹ Voor risico's voor de mens zijn totaalgehalten wel maatgevend.

opneembare fracties². Derhalve heeft de analyse geen of een zeer kleine relevantie met betrekking tot ecotoxicologische risico's.

Alternatieve analysemethoden

Andere analysemethoden richten zich op het zo goed mogelijk vaststellen van de concentraties van biologisch beschikbare fracties. In sequentiële extracties met diverse middelen van verschillende sterkte blijkt met een zogenaamde 'zwakke extractie' doorgaans het best de biologisch beschikbare fractie te karakteriseren. Omdat de pH van een bodem of het sediment één van de belangrijkste factoren is die de relatie tussen totaalgehalte en activiteit in oplossing bepalen, zijn ongebufferde oplossingen van anorganische zouten veelvuldig op hun bruikbaarheid getest. Deze oplossingen hebben de eigenschap dat de pH van de sediment-suspensie niet door het extractiemiddel, maar juist door het sediment zelf wordt bepaald. Deze karakteristiek herbergt dus de discriminerende eigenschap die nodig is om onderscheid te kunnen maken tussen bodem/sedimenttypen en de daaraan verbonden specifieke biobeschikbaarheid van metalen.

Ook wordt momenteel getracht om de directe meting van vrij-opgeloste metalen in poriewater te operationaliseren (o.a. WU). Deze fractie wordt belangrijk geacht voor de bepaling van de toxiciteit. Daarnaast bestaat de mogelijkheid om biologisch opgenomen fracties te meten in organismen zelf, middels passieve (dieren in het veld verzamelen) of actieve (gekooide dieren uitzetten) monitoring-technieken. In deze notitie wordt met name ingegaan op de mogelijkheden van de zwakke extractie methode met calciumchloride.

Voor de beoordeling van de resultaten na zwakke extractie bestaan, met het oog op het schatten van risico's voor organismen, verschillende opties. Deze variëren van een zogenaamde "declassificatie" van de traditionele klassenindeling, gemotiveerd afwijken van standaardbodemcorrectie aan de hand van de daadwerkelijk gemeten verdelingscoëfficiënt, tot verificatie met behulp van bioassays, etc. Hier wordt in deze notitie kort op ingegaan.

2 Voor vrachtberekeningen en ingestie door organismen kunnen deze fracties wel relevant zijn.

2 De CaCl_2 -extractie: toelichting

Uit een groot aantal onderzoeken is gebleken dat analyses aan sediment-extracten, met calciumchloride (CaCl_2) als extractiemiddel, relatief goede verbanden vertonen met de opname en bioconcentratie van metalen door flora (o.a. Otte *et al.*, 1993; Lorentz *et al.*, 1997; Brun *et al.*, 1998) en fauna (o.a. Tessier en Turner, 1995; Janssen *et al.*, 1997).

Aan het adsorptiecomplex van gronden neemt het kation calcium (Ca) een kwantitatief belangrijke plaats in. Hierdoor is het extraherend vermogen van de CaCl_2 -oplossing voor andere kationen gunstig, zeker in vergelijking met zouten van andere kationen zoals Na of NH_4 . Het tegenhangend anion Cl^- is daarnaast in staat om ionparen te vormen en daardoor de oplosbaarheid van zware metalen te verhogen.

Aangezien "beschikbaarheid" bij voorkeur gerelateerd moet worden aan de sediment-eigen karakteristieken en -condities, dient de ionsterkte van het extractiemiddel in grootte-orde overeen te komen met die van het poriewater. Deze wordt in zijn algemeenheid het best benaderd met 0,01M CaCl_2 ($\cong 0,4$ g Ca/l). Significanter hogere zoutconcentraties dan 0,01 mol/l kunnen analytisch-chemische problemen opleveren bij de bepaling. De methode is dus in beginsel niet geschikt voor zoute sedimenten, maar dekt wel de volledige pH-range zoals die doorgaans in sedimenten wordt gemeten.

Extractiemethode:

De zwakke extractie methode wordt als volgt uitgevoerd:

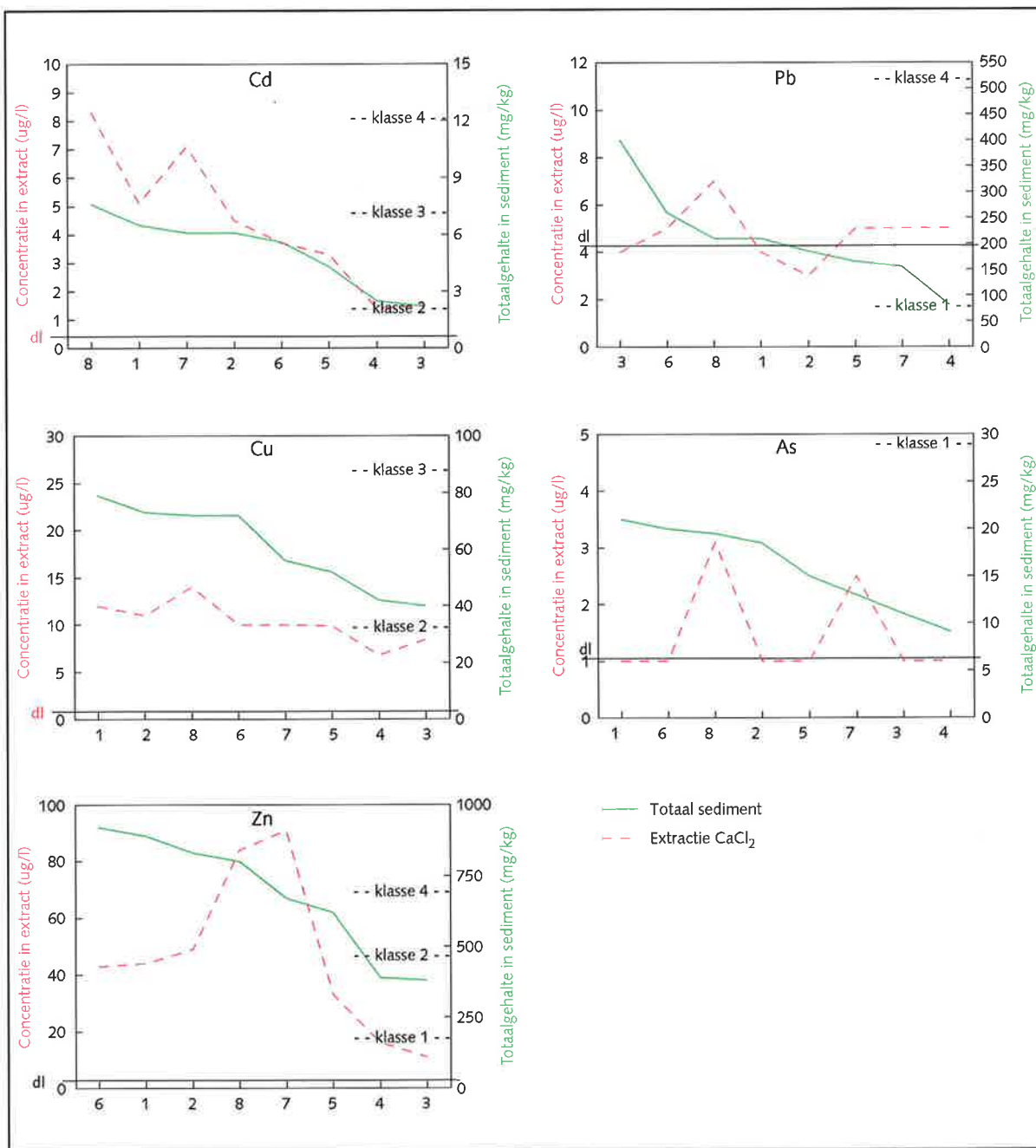
Luchtdroog sediment, gezeefd over 2mm, wordt gedurende 2 uur geschud in een 1:10 (m/v) verhouding met 0,01M CaCl_2 aangemaakt in bidest. In de suspensie wordt de pH gemeten. De suspensie wordt gecentrifugeerd (5000g, 15 min.) en het centrifugaat wordt gefiltreerd over een $0,45\mu\text{m}$ filter. Het filtraat wordt aangezuurd met geconcentreerd HNO_3 tot pH 2. Analyse van metalen geschiedt bij voorkeur via ICP-MS.

In figuur 1 worden enkele voorbeelden getoond van de resultaten van zwakke extracties, in vergelijking met de naar standaardbodem gecorrigeerde gehalten op basis van analyses na koningswater-extractie.

Figuur 1

Een vergelijking tussen gemeten totaalgehalten in sediment (rechter Y-as, mg/kg ds standaardbodem) en de concentraties in extracten na 0,01M CaCl₂ extractie (linker Y-as) voor cadmium (Cd), koper (Cu), zink (Zn), lood (Pb) en arseen (As).

De monsters zijn genomen van de top laag van uiterwaardgronden van de oostelijke Maas-oever ten noorden van Roermond. De 8 locaties, weergegeven op de X-as, zijn gerangschikt naar afnemende totaalgehalten. Dit is gedaan om de trendgevoeligheid optisch te kunnen vergelijken met de extractie-resultaten. In de figuren zijn weergegeven de detectielimiet van het betreffende element in water (dl) en de klasse-aanduiding volgens de vierde nota Waterhuishouding voor gehalten in sediment.



Uit figuur 1 blijkt dat de gemakkelijke beschikbare fractie niet altijd gelijke tred houdt met de trend die de totaalgehalten aangeven. De zwakke extracties van lood en in zekere mate koper tonen zich op de bemonsterde locaties relatief ongevoelig voor totaalgehalten. Cadmium, zink en arseen daarentegen vertonen atypische trends, waarbij met name locaties 7 en 8 geneigd zijn tot een hogere beschikbaarheid van deze elementen. Vergeleken met locatie 2, dat een vergelijkbaar totaalgehalte aan zink vertoont, is de extractie-concentratie (=beschikbare fractie) ruim twee maal hoger. Er dient ook nog te worden opgemerkt, dat de pH van het bodemvocht op de bemonsterde locaties slechts weinig variatie vertoonde ($7,9 < \text{pH} < 8,1$). Bij een grotere pH-variatie zijn ook grotere variaties in de beschikbare fracties tussen locaties te verwachten en zal het onderscheidend vermogen groter worden.

De totaalgehalten bewegen zich in de genoemde gevallen dicht in de buurt van klasse-grenzen en lenen zich daarom voor een nadere evaluatie. Dit geldt met name voor lood, chroom en arseen. Voor deze metalen ontbreken, door het samenvallen van normgetallen, de klassen 2 en 3. Dit betekent dat bij de normtoetsing het sediment niet tot nauwelijks is verontreinigd (klasse 0 of 1) dan wel als ernstig verontreinigd (klasse 4) wordt aangemerkt. Voor koper en nikkel ontbreken klasse 1, voor zink klasse 3. Er kan gesteld worden dat voor bijna alle metalen het onderscheidend vermogen dus vaak onvoldoende kan zijn. Het is duidelijk dat het rendement van enige nuancering in de klasse-indeling hier hoog kan zijn, zowel in milieukundig als in economisch opzicht.

Conclusie:

De gemeten concentraties aan zware metalen na zwakke extractie kunnen een belangrijk aanvullend inzicht opleveren in het actuele ecotoxicologisch risico (c.q. daadwerkelijke schade), zeker ten opzichte van analyse na koningswater-extractie. De methode verdisconteert impliciet de sediment-eigen karakteristieken, waaronder sorptiecapaciteit en pH. Hierdoor kunnen concentraties rechtstreeks aan toxicologische normen worden getoetst die zijn afgeleid uit bioassays. De methode kan worden aangewend voor zowel droge bodem als nat sediment.

3 Biobeschikbaarheid met CaCl₂-extractie: toetsing aan risicogrenzen

In de huidige methodiek worden (water)bodemmonsters geanalyseerd op totaalgehalten en middels correctie voor lutum en organische stof geklasseerd op basis van het vigerende normenstelsel (INS, NW4). Risico's kunnen echter doelgericht in kaart worden gebracht door toetsing aan risicogrenzen (zie o.a. Beek en Knoben, 1997; van de Guchte en Beek, 1996). Hierin ontbreekt tot nu toe een nadere correctie op biobeschikbaarheid. Voor metalen kan de analyse na zwakke extractie met 0,01 M CaCl₂ additionele informatie opleveren. Andere mogelijkheden zijn directe meting in poriewater, of metingen in organismen.

De analyseresultaten na zwakke extractie met CaCl₂ geven met een eenvoudige berekening inzicht in de actuele verdelingscoëfficiënt (K_d) tussen water en vaste fase, die een directe vergelijking tussen grondmonsters en/of locaties mogelijk maakt. Dit kan plaatsvinden via de volgende berekening:

$$K_d(\text{veld}) = \frac{\text{Totaalgehalte in sediment via "Aqua regia"}}{\text{Concentratie in CaCl}_2\text{-extract}} \quad (\text{l/kg})$$

Deze informatie kan op twee manieren worden benut:

1. Vergelijking met de gehanteerde verdelingscoëfficiënten in INS laat zien of substantiële afwijkingen van verwachte risico's voor organismen zullen voorkomen. Zo ja, dan kan de lokaal bepaalde verdelingscoëfficiënt ("veld- K_d ") worden gebruikt om gemotiveerd af te wijken van de classificatie volgens huidige standaardvoorschriften.
2. Voor sediment kunnen de met zwakke extractie verkregen resultaten worden vergeleken met risicogrenzen die zijn afgeleid in water.

Toelichting:

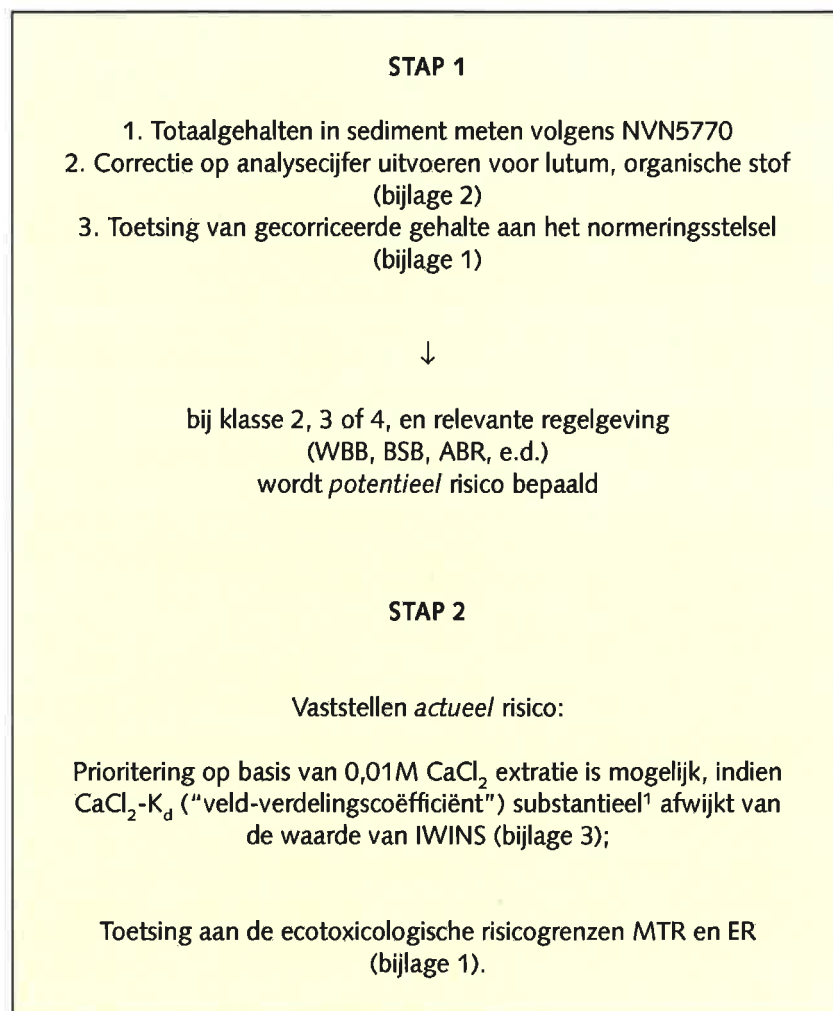
Resultaat toetsing verdelingscoëfficiënt	Betekenis	Prioriteit
K_d (veld) is lager dan K_d (IWINS)	Het metaal is op de onderzochte locatie meer beschikbaar	hoog
K_d (veld) is hoger dan K_d (IWINS)	Het metaal is op de onderzochte locatie minder beschikbaar	laag

Met de zwakke extractie methode is het actuele risico van metalen in te schatten, waarmee de urgentie of prioriteit van saneringen kan worden bepaald. Deze exercitie kan leiden tot een afwijkende kwantificering van risico's, en derhalve tot een andere saneringsprioritering of urgentiebepaling ten opzichte van de huidige klassenindeling (Deze aanpak is nog in ontwikkeling, zodat een verdere uitwerking hier prematuur is). Bovendien wordt inzicht verschaft in eventuele mobiliteit en het verspreidingsrisico van de betreffende metalen.

In figuur 2 is een stappenplan uitgewerkt voor de beoordeling van zware metalen in sediment.

Figuur 2

Stappenplan voor de beoordeling van zware metalen in bodem en sediment. De methode biedt de mogelijkheid tot urgentie-bepaling van een begrensde hoeveelheid verontreinigd sediment op basis van biobeschikbaarheid.



¹ Als richtlijn wordt een factor 3 voorgesteld.

4 Criteria voor het vaststellen van het actuele risico

De hier gepresenteerde criteria zijn niet alleen gebaseerd op de actuele, maar voor een deel ook op toekomstige (potentiële) blootstellingsrisico's. Potentiële blootstellingsrisico's treden op als op middellange termijn (<10 jaar) een significante verlaging van de pH te verwachten is, bijvoorbeeld door een afname van het zuurbufferend vermogen. Actuele blootstellingsrisico's treden op bij relatief hoge extraheerbare (biobeschikbare) concentraties, in combinatie met de mogelijkheid tot blootstelling voor biota.

De criteria die gelden voor het te beoordelen sediment zijn:

1. Aanwezigheid van >2% calciëet totaal in sediment na 24 uur luchtblootstelling (zgn. excess-calciëet), of periodieke aanvoer, en:
2. Lage CaCl_2 -extraheerbare metaal-concentraties, d.w.z. kleiner of gelijk aan de geldende detectielimiet voor het klasse-bepalende metaal, of:
3. Gemeten K_d ("veld- K_d ") is een factor 3 hoger dan de generieke- K_d (IWINS).
4. Toetsing aan ecotoxicologische risicogrenzen (ER, MTR) conform de bestaande afspraken (NW4, Omgaan met Normen).

In bijlage 1 zijn de getalswaarden weergegeven voor de toetsing van totaalgehalten in bodem en sediment, en de toetsing aan ecotoxicologische risicogrenzen in de CaCl_2 extracten.

Eindnoot

In de urgentiesystematiek van de wet Bodembescherming staat beschreven dat bij overschrijding van de interventiewaarde een noodzaak bestaat tot sanering. De saneringsnoodzaak van een locatie is urgent tot het tegendeel is aangetoond. Urgentie kent drie aspecten: humaan, ecotoxicologie en verspreiding. Beschikbaarheid en mobiliteit spelen hierbij een rol. Voor het vaststellen van interventiewaarden is uitgegaan van een conservatieve schatting van de verdelingscoëfficiënt K_d . Het voordeel van de CaCl_2 -extractie is in de urgentiesystematiek tweeledig: de schatting van de beschikbare fractie kan uitgangspunt zijn voor de verspreidingsberekening. Bovendien geeft het de mogelijkheid om zonder de conservatieve K_d direct poriewaterconcentraties te toetsen aan de risicogrenzen (MTR, ER) voor (porie)water. Dezelfde aanpak geldt voor afwegingen in andere beleidsvelden, zoals actief bodembeheer, verspreiding onderhoudsspecie, enzovoort.

Aanbevolen wordt om een verdere onderbouwing te laten plaatsvinden van de voorgestelde criteria door gelijktijdige meting van gehalten in organismen. Voorts is onderzoek nodig naar eventuele correcties voor concentraties in poriewater als gevolg van de experimenteel voorgeschreven schudverhouding van sediment en extractiemiddel.

Referenties

- Beek, M.A en R.A.E. Knoben, 1997. RIZA-rapport 97.064
- Brun, L.A. *et al.*, 1998. Environ. Pollution 102:151-161.
- Derksen, J.G.M., 1998. AquaSense rapport nr. 98.1112, Amsterdam.
- Kamerling, G.E., 1998. WAU.POWD notitie 735.
- Groot, A.C. de, *et al.*, 1998. RIVM rapport 607220001.
- Guchte, C. van de en M.A. Beek, 1996. Het Waterschap 81/16:44-51.
- Hoop, M.A.G.T. van den, 1995. RIVM rapport 719101013.
- Houba, V.J.G. *et al.*, 1996. Sci. Tot. Environ. 178:21-28.
- Houba, V.J.G. *et al.*, 1986. Plant Soil 96:433-437.
- IWINS, 1997. Milieukwaliteitsnormen voor bodem, water, lucht. Notitie VROM 97759/h/12-97, Den Haag.
- Janssen, R.P.T. *et al.*, 1997. Environ. Toxicol. Chem. 12:2479-2488.
- Lorenz, S.E. *et al.*, 1996. Plant and Soil, 189:21-31.
- Meulen-Smidt, G.R.B. ter *et al.*, 1997. RIVM rapport 711401002.
- Ministerie V&W, 1997. Vierde Nota Waterhuishouding, Den Haag.
- Ministerie V&W, VROM, LNV en IPO, 1997. Beleidsnotitie Actief bodembeheer rivierbed, Den Haag.
- Novozamsky, I. *et al.*, 1993. Intern. J. Environ. Anal. Chem. 51:47-58.
- Otte, M.L. *et al.*, 1993. Environ. Pollution 82:13-22.
- RIVM, 1999. Part Metals in: Environmental Risk Limits in The Netherlands. Rep. 601501001.
- RIZA, 1999. ER-waarden voor oppervlaktewater en sediment (in voorbereiding).
- RIZA/RIKZ, 1998. Omgaan met normen binnen het waterbeheer. Achtergronddocument 4^e nota Whh, Lelystad, Den Haag.
- Tessier, A. en D.R. Turner, 1995. In: Metal speciation and bioavailability in aquatic systems. John Wiley, New York.
- Vink, J.P.M. en J. Hendriks, 1999. H₂O 13:38-39.
- Whitten, M.C. & G.S.P. Ritchie, 1991. Aust. J. Soil Res. 29:215-221.

Bijlagen

.....

Bijlage 1: Toetswaarden en achtergrondconcentraties.

Bijlage 2: Toelichting op de bodemtypecorrectie.

Bijlage 3: Verdelingscoëfficiënten zware metalen voor sediment.

Bijlage 1: Toetswaarden en achtergrondconcentraties.

Tabel 1

Beleidsmatig vastgestelde toetswaarden voor gecorrigeerde totaalgehalten in sediment (mg/kg ds) ten behoeve van kwaliteits-klassering (Uit: NW4).

	Klasse 0	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4
Metaal	Landelijke streefwaarde	Grens-waarde	Toetsings-waarde	Interventie-waarde	Signalerings-waarde**
cadmium	0,8	2	7,5	12	30
kwik*	0,3	0,5	1,6	10	15
koper	36	36	90	190	400
nikkel	35	35	45	210	200
lood	85	530	530	530	1000
zink	140	480	720	720	2500
chroom	100	380	380	380	1000
arseen	29	55	55	55	150

* Anorganisch kwik.

** De signaleringswaarde wordt toegepast bij de urgentiebepaling van een sanering.

Tabel 2

MTR-waarden (mg/kg ds) voor bodem en sediment gebaseerd op ecotoxiciteitsgegevens (Uit: RIVM, 1999 resp. NW4).

Metaal	MTR-bodem**	MTR-sediment
cadmium	1,6	12 [#]
kwik*	2,2	10 [#]
koper	40	73
nikkel	38	44
lood	140	530 [#]
zink	160	620
chroom	100	380 [#]
arseen	34	55 [#]

* Anorganisch kwik.

** Geharmoniseerd, (nog) niet beleidsmatig vastgesteld (RIVM, 1999).

[#] MTR-waarde gelijk gesteld aan de interventiewaarde.

Tabel 3

Ecotoxicologische risicogrenzen (µg/l; opgelost te hanteren voor CaCl₂-extracten. A=Achtergrondconcentratie in grondwater (bij landbodem) of oppervlaktewater (bij nat sediment), zie hiervoor tabel 4

Metaal	MTR	ER[#]
cadmium	0,34+A	16
kwik*	0,23**+A	2,2
koper	1,1+A	18
nikkel	1,8+A	490
lood	11+A	150
zink	6,6+A	86
chroom	8,5+A	220
arseen	24+A	885

* Anorganisch kwik

** Waarde alleen van toepassing op oppervlaktewater (bij nat sediment), niet op grondwater (bij landbodem).

[#] Voorlopige waarden (RIZA, 1999).

Tabel 4

Generieke achtergrondconcentraties A in µg/l (RIVM, 1999).

Metaal	Oppervlakte-wa- ter	Grondwater landbodem
cadmium	0,08	0,06
kwik*	0,01	-
koper	0,44	1,3
nikkel	3,3	2,1
lood	0,15	1,6
zink	2,8	24
chroom	0,17	2,4
arseen	0,77	7,0

* Anorganisch kwik.

Bijlage 2: Toelichting op de bodemtype-correctie.

Om gehalten aan zware metalen in uiteenlopende sedimenttypen te kunnen vergelijken, wordt een correctie toegepast op het meetcijfer. Hierbij worden de absolute gehalten teruggerekend naar die van een zogenaamde standaardbodem met 25% lutum (<2µm) en 10% organische stof. De gehalten worden omgerekend via:

$$Y = X \cdot \frac{a+b \cdot 25+c \cdot 10}{a+b \cdot L+c \cdot OS}$$

waarbij

Y = gecorrigeerd gehalte van een bepaald metaal (mg/kg)

X = gemeten gehalte (analysecijfer, mg/kg)

L = percentage lutum (<2µm)

OS = percentage organische stof

a,b,c = metaal-specifieke constanten (zie hieronder)

Metaal	a	b	c
<i>cadmium</i>	0,4	0,007	0,021
<i>kwik</i>	0,2	0,0034	0,0017
<i>koper</i>	15	0,6	0,6
<i>nikkel</i>	10	1	0
<i>lood</i>	50	1	1
<i>zink</i>	50	3	1,5
<i>chroom</i>	50	2	0
<i>arsen</i>	15	0,4	0,4

Bijlage 3: Verdelingscoëfficiënten zware metalen voor sediment.
(afgeleid uit IWINS, 1997)

Metaal	K^d l/kg sediment
.....
<i>Cadmium</i>	87.000
<i>Kwik</i>	110.000
<i>Koper</i>	30.000
<i>Nikkel</i>	5.000
<i>Lood</i>	400.000
<i>Zink</i>	73.000
<i>Chroom</i>	190.000
<i>Arseen</i>	6.700