

Relatie poriewaterkwaliteit en samenstelling van anaerobe bagger

Onderzoeksprogramma grootschalige
bodemtoepassingen in diepe plassen



Relatie poriewaterkwaliteit en samenstelling van anaerobe bagger

**Onderzoeksprogramma grootschalige bodemtoepassingen in
diepe plassen**

Jos Vink

1204085-003

Titel

Relatie poriewaterkwaliteit en samenstelling van anaerobe bagger

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat Waterdienst

Project

1204085-003

Kenmerk

1204085-003-BGS-0002

Pagina's

17

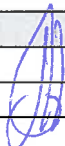


Trefwoorden

Beoordeling, bodemtoepassingen, contaminanten, diepe plassen, gehalte-criteriadiagrammen, nalevering, normtoetsing, partitie, sediment, stort, systematiek, verdelingscoëfficiënt, verondieping, zware metalen

Samenvatting

In de werkgroep Locatiespecifieke Beoordeling Diepe Plassen (I&M, Deltares, RIVM, ECN) wordt een systematiek voorbereid voor de beoordeling van bagger en grond ten behoeve van de toepassing in plassen. De systematiek richt zich op de geohydrologische en milieukundige onderbouwing van de toelating van (water)bodem bij nuttige toepassing in diepe putten. De huidige criteria van het Besluit Bodemkwaliteit (Bbk; klasse A en B toepassing) zijn generieke normen. Voor een locatiespecifieke beoordeling wordt gezocht naar een manier om onderscheidende sediment-karakteristieken te gebruiken waaraan een bepaald beschermingsniveau in termen van poriewater- en grondwaterkwaliteit kan worden toegekend.

Voor de milieukundige beoordeling van bagger kan de chemische beschikbaarheid als maat dienen. Deze kan worden uitgedrukt met een verdeling over vaste en opgeloste fase. In deze studie is gezocht naar een methode om de verdeling van een contaminant over vaste en opgeloste fase te schatten uit eenvoudig te bepalen sedimentkarakteristieken. Met behulp van een dataset van geselecteerde meetwaarden, waarmee statistische analyses zijn uitgevoerd, zijn transferfuncties afgeleid voor anaerobe aquatische sedimenten. Deze transferfuncties kunnen worden gebruikt om vanuit een milieukwaliteitseis terug te rekenen naar het toegestane gehalte in sediment. De karakteristieken van het sediment (% lutum, pH, etc.) zijn hierbij maatgevend. Daar waar meerdere variabelen in de functies voorkomen (Cu en Pb) is een realistische onder- en bovengrens gekozen voor deze variabele. De zo afgeleide *gehalte-criteriadiagrammen* geven de begrenzingen aan waarbij nog wordt voldaan aan de desbetreffende waternormen, waaronder de streefwaarde voor grondwater, het maximaal toelaatbaar risico (MTR) en de maximaal toelaatbare toevoeging (MTT). In de *gehalte-criteriadiagrammen* is tevens een betrouwbaarheidsgebied meegegeven gebaseerd op de relaties met de andere minder bepalende sedimentkarakteristieken.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	nov. 2011	Jos Vink		Paul van Noort		Hilde Passier	

Status

definitief

Inhoud

1 Aanleiding	1
2 Methode	2
2.1 Achtergrond	2
2.2 Basisgegevens	2
2.3 Data analyse	3
2.4 Normtoetsing	4
2.4.1 Klasse A en B van het Bbk	4
2.4.2 Waternormen	5
3 Resultaten	6
3.1 Transferfuncties	6
3.2 Gehalte-criteria diagrammen op basis van samenstellingswaarden	7
4 Beoordeling	11
5 Referenties	12

1 Aanleiding

In het Besluit bodemkwaliteit (Bbk) wordt de mogelijkheid geboden voor hergebruik van grond en bagger op of in de bodem of onder oppervlaktewater als grootschalige bodemtoepassing (GBT). Deze mogelijkheid geldt voor waterbodem tot en met klasse B en voor grond tot en met klasse Industrie. Naast deze eisen die worden gesteld aan de samenstelling van de vaste fase gelden er voor de anorganische componenten ook emissie-eisen.

Begin 2009 heeft een aantal initiatieven tot deze grootschalige bodemtoepassing, namelijk die van de herinrichting van diepe plassen, geleid tot vragen en onrust bij bewoners en decentrale overheden. Het Ministerie van VROM en het Ministerie van V&W hebben daarop de Commissie Verheijen ingesteld en advies gevraagd over de wetenschappelijke onderbouwing van dit beleid. De Commissie heeft ondermeer geadviseerd 1) het Bbk aan te vullen voor specifieke situaties en 2) het proces rond het herinrichten en verondiepen te verduidelijken. Met dit advies zijn beide Ministeries aan de slag gegaan en heeft als eerste geresulteerd in de 'Handreiking voor het inrichten van diepe plassen' (Ministerie I&M, 2010). De handreiking is tot stand gekomen vanuit een werkgroep onder verantwoordelijkheid van het Implementatieteam Besluit Bodemkwaliteit, waarin betrokken overheden en de grondbranche zijn vertegenwoordigd.

Daarnaast hebben de ministeries van VROM en V&W aan de onderzoeksinstituten RIVM, Deltares en ECN opdracht gegeven een onderzoeksprogramma op te stellen waarin de belangrijkste leemtes in kennis worden opgevuld, waardoor een methodiek voor locatiespecifieke beoordeling van de nuttige toepassing van bagger en grond kan worden opgesteld. Deze systematiek dient aan te sluiten bij de Handreiking voor het herinrichten van diepe plassen (zie ook Circulaire herinrichting van diepe plassen; Staatscourant, 2010) en bij de eisen die voortvloeien uit de Europese grondwaterrichtlijn.

In voorliggende rapportage is de relatie uitgewerkt tussen de concentraties van zware metalen en arseen in het poriewater en de samenstelling van bagger. Deze samenstellingswaarden op basis van poriewaterconcentraties zijn in diagrammen uitgezet tegen beschikbare milieukwaliteitsnormen. Daarbij is een aansluiting gemaakt met de eisen die voortvloeien uit de Europese grondwaterrichtlijn.

2 Methode

2.1 Achtergrond

De verdeling van een stof over de vaste fase en de opgeloste fase wordt in de regel aangeduid met een verdelingscoëfficiënt K_d . Deze verdeling is gebruikt bij de afleiding van sediment-normen, waarbij de uitkomsten van aquatische testen zijn vertaald naar kritische concentraties in sediment (CIW, 2000). Deze verdeling is echter geen constante. Met name voor zware metalen en arseen is de verdeling over de vaste en opgeloste fase sterk afhankelijk van de omgevingsomstandigheden en de samenstelling en reactiviteit van sediment en water. De introductie en het gebruik van generieke K_d 's (Stortelder et al., 1989) heeft grote onzekerheden van (verspreidings)berekeningen of milieukundige risicoschattingen tot gevolg gehad. Er is inmiddels grote behoefte aan meer betrouwbare voorspellingen van concentraties in het poriewater. Door een variabele K_d te koppelen aan eenvoudig te bepalen sedimentkarakteristieken (ook wel samenstellingswaarde genoemd) wordt getracht deze betrouwbaarheid te vergroten.

2.2 Basisgegevens

Deltares beschikt over een database waarin een grote hoeveelheid sedimentkarakteristieken zijn opgenomen, samen met hun omgevingsvariabelen. In deze database zijn gegevens van vijf milieucompartimenten verzameld uit meetcampagnes en literatuur. Dit zijn de compartimenten bodem, uiterwaard, zwevend stof, aquifer (grondwater) en sediment. Het compartiment sediment is hieruit geselecteerd en bedroeg 712 meetgegevens van locaties waarvan - naast totaal en opgeloste hoeveelheid metalen - een breed scala aan omgevingsvariabelen is gemeten. De metingen zijn uitgevoerd aan (ongestoorde) sedimenten waarbij concentraties in het poriewater met een zekere betrouwbaarheid zijn gemeten. Studies waarbij gebruik is gemaakt van spiking (het toevoegen van een stof aan sediment) zijn uitgesloten van analyse omdat bekend is dat deze afwijkende resultaten opleveren ten opzichte van historisch verontreinigde sedimenten.

Om in de database opgenomen te kunnen worden, moeten de meetgegevens aan een aantal voorwaarden voldoen. Zo moet de meting representatief zijn voor een aquatisch sediment, waarvan niet alleen de meting van de bewuste stof (in zowel de vaste fase als in de opgeloste fase), maar ook de meetomstandigheden bekend moeten zijn. Eén van de belangrijkste karakteristieken is de redoxpotentiaal, of componenten die hier een indicatie voor kunnen geven (sulfaat, nitraat, ammonium, opgelost ijzer en mangaan, etc.). Daarnaast moet ook de intrinsieke pH en de concentratie aan macro-ionen (o.a. Ca, Mg) bekend zijn.

Voor deze verkenning is gebruik gemaakt van de volgende gegevens:

1. De gegevensbanken van het landelijke grondwater meetnet (LMG);
2. Het provinciale meetnet grondwater (PMG);
3. De Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond (DINO);
4. Gegevens uit laboratoriumexperimenten en in-situ metingen in waterbodems en depots;
5. Desk studie in de openbare literatuur (SCOPUS, Science Direct).

Voor de anorganische contaminanten arseen, cadmium, koper, lood en zink waren voldoende gegevens voorhanden om de systematiek uit te werken. Voor de elementen kobalt, antimoon, barium, selenium, thallium, tin en vanadium, die genoemd worden in de lijst van 'Vergeeten stoffen' (Schrap et al., 2008) en de Regeling milieukwaliteitseisen oppervlaktewateren (VROM, 2004), was dat niet geval. Ondanks de bovengenoemde verkenning in databanken

en literatuur, moet er geconcludeerd worden dat er voor bovengenoemde stoffen momenteel te weinig (goede) gegevens voorhanden zijn om een bruikbare en betrouwbare methodiek te kunnen uitwerken.

In tabel 1 is aangegeven binnen welk bereik de macrochemische gegevens uit de gebruikte database zich bevinden. Dit geeft tevens het toepassingsbereik aan van de afgeleide transferfuncties (zie hiervoor § 3.1).

Tabel 1. Bereik van karakteristieken in de database

	pH (H ₂ O)	Eh (mV)	Org. C (%)	Lutum (%)	Fe (g/kg)	Hardheid (CaCO ₃ , mg/l)	DOC (mg/l)
Gemiddeld	7.47	-180	2.64	16.3	18.9	934	17.5
Maximum	8.52	+140	13	48.9	44.6	5350	86
Minimum	6.88	-420	0.1	0.5	0.7	41	1.3
St.dev	0.40	134	2.62	12.1	11.5	1197	17.8

2.3 Data analyse

Met behulp van de database zijn statistische analyses uitgevoerd. Dit is in twee stappen uitgevoerd. In stap 1 is per type verontreiniging een principale component analyse (PCA) uitgevoerd. De PCA is een multi-variatie analyse methode, waarbij uit een hoeveelheid variabelen een mogelijke samenhang wordt gezocht. Stap 2 is een multiple regressieanalyse (MRA) die volgt op de uitkomsten van de PCA. MRA is een manier om de relatie tussen meerdere onafhankelijke en een afhankelijke variabele (de K_d) te bestuderen. Deze stapsgewijze aanpak is gekozen omdat de uitkomst van een statistische analyse per definitie wordt beïnvloed door het aantal variabelen dat gebruikt wordt in de analyse. Door eerst samenhangende variabelen te vinden wordt als het ware een soort “datamining” uitgevoerd. De invoer voor de MRA bevat dus in ieder geval de relevante omgevingsvariabelen. Voorwaarde was dat de K_d kan worden afgeleid uit eenvoudig te bepalen omgevingskarakteristieken zoals pH en lutumfractie.

De analyses hebben geleid tot de constructie van transferfuncties voor arseen, cadmium, koper, lood, nikkel en zink. Zowel het chemisch gedrag als de toxiciteit van deze contaminanten loopt sterk uiteen. Met deze vijf contaminanten is dus een vrij breed spectrum gedekt voor de groep anorganische verontreinigingen.

Stap 1. Principale component analyse

Per contaminant is een Principale Component Analyse uitgevoerd. PCA wordt in de statistiek gebruikt om in data die meervoudige dimensies omvatten de belangrijkste verbanden die daarin besloten liggen te ontdekken en om de onderlinge samenhang tussen de variabelen na te gaan. De PCA is een multi-variate analyse methode, waarbij men probeert om uit een hoeveelheid variabelen een mogelijke samenhang tussen bepaalde bekende variabelen te identificeren (in feite te extraheren). Traditioneel gebeurt dit door de varianties tussen de bekende variabelen te bepalen. Daarnaast is het mogelijk om correlaties tussen bekende variabelen te gebruiken om onbekende factoren op te sporen. In feite is PCA een vorm van ‘datamining’, waarbij zowel de visualisatie van de informatie als het inzichtelijk maken van verbanden en de kwantificering ervan essentieel is. Een hoge verklarende variantie kan leiden tot de afleiding van een valide schatting van de gekozen afhankelijke parameter, in dit geval dus de verdelingscoëfficiënt.

Stap 2. Multiple regressie analyse

Multiple regressie analyse is een manier om de relatie tussen meerdere onafhankelijke en een afhankelijke variabele te bestuderen. In het eenvoudigere geval van lineaire regressieanalyse wordt de relatie tussen één onafhankelijke variabele en een afhankelijke variabele bestudeerd. In een regressieanalyse wordt geprobeerd een vergelijking (functie) te vinden die het verband het best weergeeft. Dit kan op twee manieren worden uitgevoerd: via backward analyse en via stepwise analyse. Beide methoden maken gebruik van het feit dat de uitkomst van een analyse wordt beïnvloed door het aantal variabelen dat gebruikt wordt in de analyse. Bij deze methode wordt per stap één onafhankelijke variabele van het model verwijderd (backwise) danwel aan het model toegevoegd (stepwise), en wel in de volgorde van relatieve invloed op de afhankelijke waarde Y. De variabele X met de hoogste F-waarde (=laagste significantieniveau) wordt als eerste toegevoegd. Wanneer alle significantieniveaus van de niet in het model opgenomen variabelen groter zijn dan 0,05, wordt er geen variabele meer aan het model toegevoegd.

Er wordt verondersteld dat de verdelingscoëfficiënt wordt bepaald door de omgevingsvariabelen lutum, pH, redox, organische stof en ijzer. Deze variabelen worden als onafhankelijk beschouwd, hoewel dat natuurlijk niet per definitie waar hoeft te zijn. De regressievergelijking die bij dit model behoort, is:

$$K_d = a + c_1*(Lutum) + c_2*(pH) + c_3*(Redox) + c_4*(Organische\ stof) + c_5*(Ijzer).$$

Bij elke stap wordt nu bepaald of de verklaarde variantie toeneemt als een variabele wordt toegevoegd of verwijderd uit de vergelijking. Een gedetailleerde beschrijving van de methodiek is gedaan door Vink en De Weert (2009).

De matrix aan meetgegevens gaf niet in alle gevallen dezelfde hoeveelheid waarnemingen (n) als gevolg van ontbrekende meetcijfers voor specifieke variabelen. Bij de data-analyse is daarmee rekening gehouden.

Uit tweezijdige T-testen ($p < 0.05$) die voor alle contaminanten en functies zijn uitgevoerd bleek bovendien dat de (gepaarde) reeksen van gemeten en berekende waarden niet significant verschillen. Met andere woorden: binnen de statistische spreiding van de reeksen komen de metingen en berekeningen voor minimaal 95% met elkaar overeen. Als gevolg van de spreiding kunnen zich toch aanzienlijke verschillen voordoen. Desondanks is de betrouwbaarheid aanzienlijk groter dan bij het gebruik van generieke (=constante) K_d -waarden, omdat de opgetelde afwijkingen van de 1:1 lijn (standaardafwijkingen) voor alle contaminanten kleiner zijn dan de standaarddeviaties van de generieke K_d -waarden.

2.4 Normtoetsing

2.4.1 Klasse A en B van het Bbk

Het Besluit Bodemkwaliteit geeft normwaarden (klasse A en B) voor het toepassen van baggerspecie in oppervlaktewater uitgedrukt in gehalten van verontreinigingen in de vaste fase. Hierbij is de zogenaamde *bodemtypecorrectie* van toepassing. Dit houdt in dat de analytische meetwaarde van het gehalte in het sediment van een stof wordt gecorrigeerd aan de hand van het gehalte lutum en organische stof.

2.4.2 Waternormen

Voor de toelaatbare concentratie in grond- en oppervlaktewater wordt aansluiting gezocht bij verschillende kaders:

- Voor het afleiden van emissie-eisen voor bouwstoffen en grootschalige bodemtoepassingen is voor anorganische stoffen de Maximaal Toelaatbare Toevoeging (MTT) gebruikt, om te voorkomen dat in het bovenste grondwater het MTR_{water} voor deze stoffen wordt overschreden. Beleidsmatig is aangenomen dat op dat niveau geen ecologische effecten optreden.
- Ook voor emissie-eisen voor Grootschalige Bodem Toepassingen is het MTT gebruikt, in combinatie met een basisuitloging die voor grond wordt geaccepteerd (zie bijlage 2 van het rapport Commissie Verheijen, 2009).
- Het $MTR_{oppervlaktewater, opgelost}$, dat is gebruikt in de concentratietoets en vrachtoets van de methodiek voor de toetsing van het grondwater in de voorgestelde methode voor 'Beoordeling van uitloging en verspreiding uit depots' (Rijkswaterstaat, 2006).
- Het $MTR_{water, opgelost}$ en $0.1 * MTR_{water, opgelost}$ wordt gebruikt voor de beoordeling van lozingen op oppervlaktewater (CIW, 2000).
- Het gebruik van het $MTR_{water, opgelost}$ binnen de methodiek voor afleiden van drempelwaarden. In die systematiek wordt gebruik gemaakt van de som van de MTT en het achtergrondniveau van het grondwaterlichaam, AN_{gwl} (Verweij et al., 2008). Als drempelwaarden moeten worden afgeleid voor stoffen die niet van nature voorkomen, wordt het $MTT/100$ (VR) voorgesteld als drempelwaarden (Verweij, 2008).
- Europese grondwaterrichtlijn: dit is een aanvulling op de Kaderrichtlijn Water. De normen voor grondwaterkwaliteit en criteria voor de beoordeling van de chemische toestand zijn in de nieuwe Grondwaterrichtlijn opgenomen. Hierin wordt niet alleen uitgegaan van 'bescherming tegen verontreiniging' maar ook van 'bescherming tegen kwalitatieve achteruitgang'. Daarnaast is vastgelegd dat de lidstaten niet alleen 'streven naar', maar ook daadwerkelijk verplicht worden alle noodzakelijk maatregelen ter voorkoming of beperking van de uitspoeling van gevaarlijke stoffen in het grondwater te nemen. De implementatie van de grondwaterrichtlijn heeft plaatsgevonden via de Wet milieubeheer en de Wet Bodembescherming.

3.2 Gehalte-criteria diagrammen op basis van samenstellingswaarden

De transferfuncties zijn uitgewerkt tot criteriadiagrammen, waarbij een relatie is gelegd met de verschillende normen voor (grond)water en de normen uit het Bbk. In de criteria diagrammen is de belangrijkste bepalende factor op de X-as gezet, de overige parameters zijn in het P90-gebied verdisconteerd.

Voor arseen, cadmium, lood en zink wordt de grootste variatie in poriewaterconcentraties verklaard door lutum (deeltjes $<2\mu\text{m}$). De overige variatie is verdisconteerd in het betrouwbaarheidsinterval (P90). Omdat voor arseen, cadmium, lood en zink het lutumgehalte de belangrijkste bepalende factor is voor de poriewaterconcentratie (hoogst aandeel verklaarde variantie) is in de gehalte-criteria diagrammen alleen deze afhankelijkheid weergegeven. Voor koper is dit niet het lutumgehalte maar de pH.

Toepassing van gehalte-criteria diagrammen in de beoordeling

In de diagrammen is de begrenzing aangegeven waarbij nog wordt voldaan aan de desbetreffende aangegeven norm. Het snijpunt met klasse A uit het Bbk geeft het moment weer waarop over- en onderbescherming elkaar kruisen. Bijvoorbeeld: heeft een partij bagger een gemiddeld lutumpercentage van 10%, dan mag de aangeboden partij maximaal 1,8 mg/kg cadmium bevatten om nog aan de streefwaarde voor het ondiepe grondwater te voldoen. Het Bbk is hierbij onvoldoende beschermend, omdat de klasse A norm voor toepassing 4 mg/kg bedraagt. Bij 22% lutum mag de partij maximaal 6 mg/kg Cd bevatten, en is Bbk overbeschermend.

Wanneer als toetscriterium in het toegepaste materiaal zou worden gekozen voor $0.1 \times \text{MTT} + \text{generieke achtergrondconcentratie (AC)}$ in combinatie met de verdunningsfactor van 100 vanwege de geohydrologie (zie § 2.4.2 en Lijzen et al., 2011), dan moet de poriewaterconcentratie in het toe te passen sediment voldoen aan $10 \times \text{MTT} + \text{AC}$. Uit de gehalte-criteriadiagrammen die voor dit toetscriterium zijn afgeleid blijkt dat het Bbk voldoende beschermend is voor de elementen As, Cd en Pb. Voor Zn en Cu geldt een onderbescherming bij de lagere lutumgehalten (Zn) en hogere pH-waarden (Cu).

Bij hogere lutumgehalten (die normaal gesproken voorkomen in bagger) zijn de toegestane gehalten in sediment dus hoger, zonder dat daarbij de (grond)waternorm wordt overschreden.

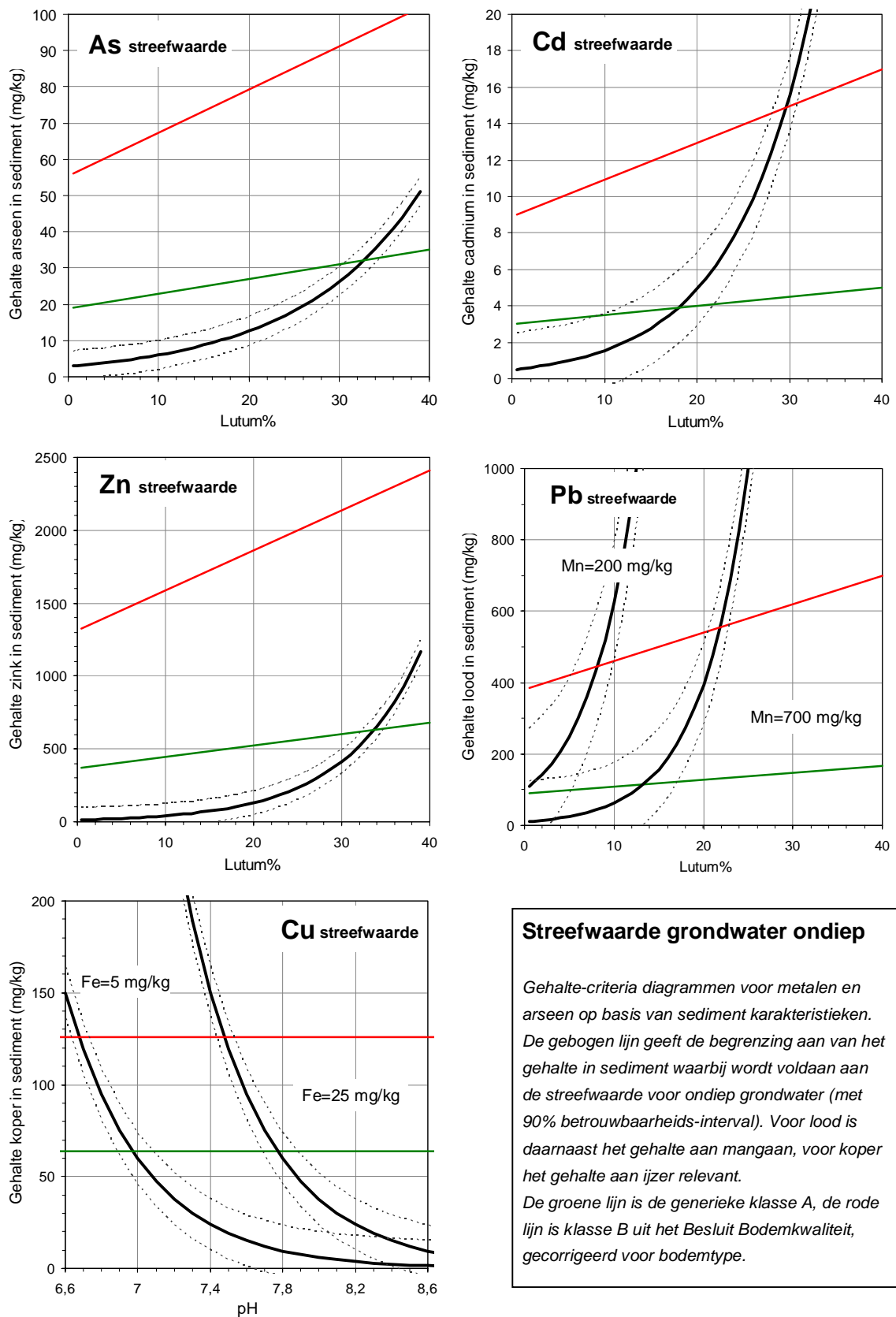


Fig. 1. Gehalte-criteria diagrammen voor streefwaarde grondwater.

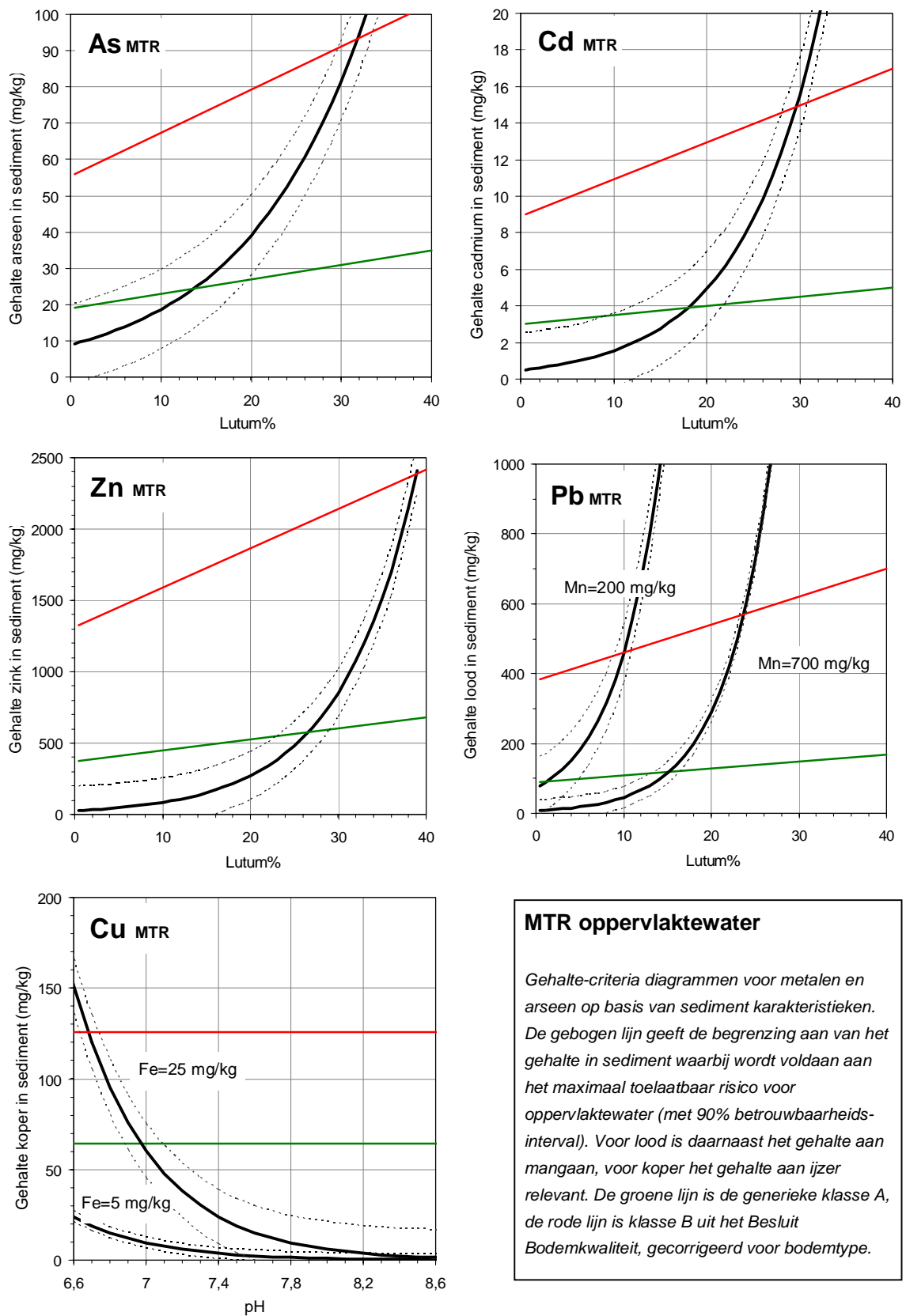


Fig. 2. Gehalte-criteria diagrammen voor MTR oppervlaktewater.

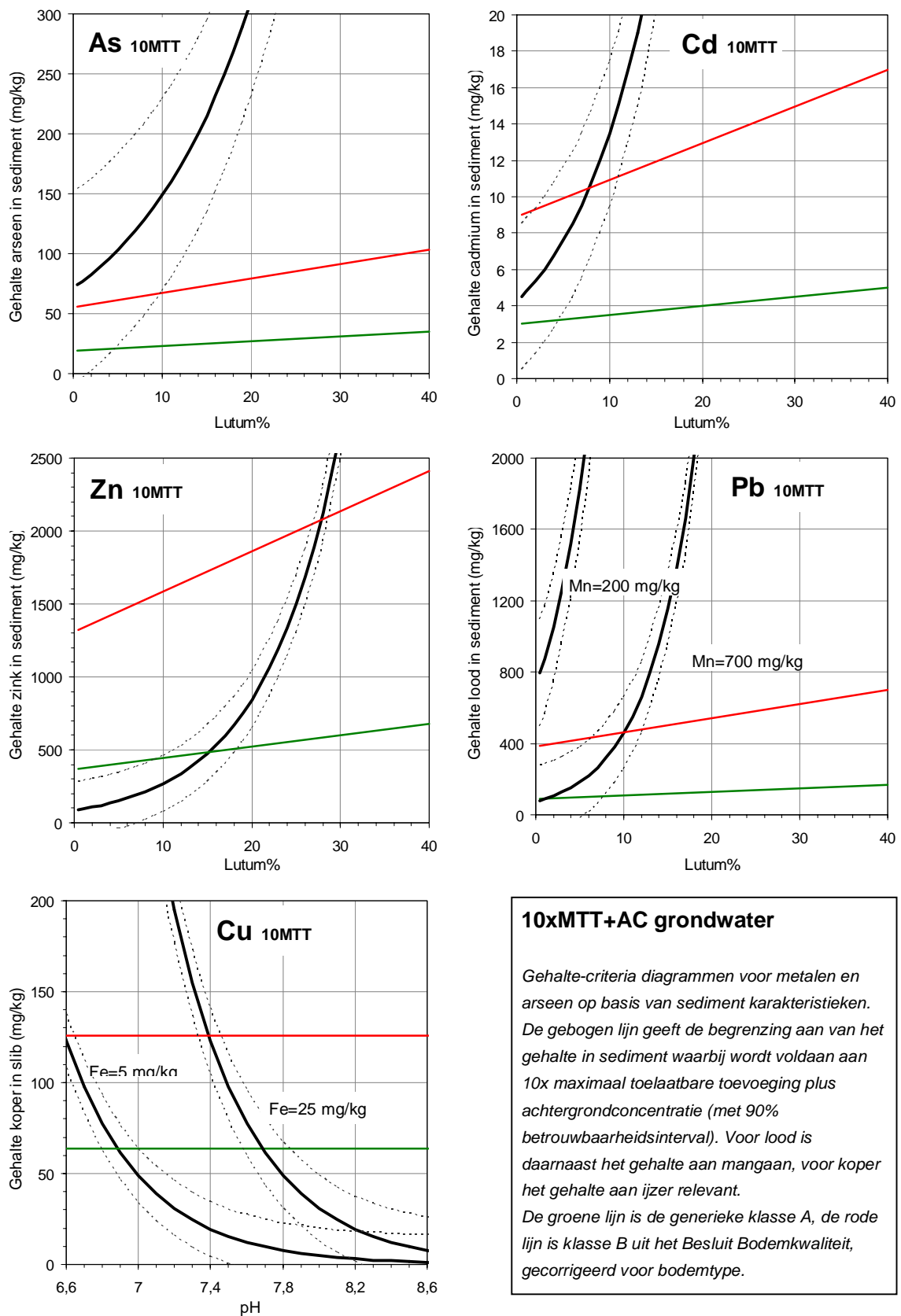


Fig. 3. Gehalte-criteria diagrammen voor 10xMTT+AC

4 Beoordeling

Hoe kunnen gehalte-criteriadiagrammen worden gebruikt?

Het Besluit Bodemkwaliteit Bbk geeft generieke normen (klasse A en B) voor de toepassing van bagger in diepe plassen. Voor een eerste stap in de beoordeling van de kwaliteit van aquatisch sediment (bagger) op basis van chemische beschikbaarheid kan voor een aantal gidsstoffen (arseen, cadmium, koper, lood, zink) een samenstellingcriterium worden gehanteerd. Dit samenstellingcriterium kan worden afgelezen uit gehalte-criteriadiagrammen voor anaeroob sediment.

De diagrammen kunnen gebruikt worden als eerste schatting voor berekeningen van bijvoorbeeld anaerobe verspreiding via het grondwater in gevallen waar de verdeling van de verontreiniging niet is bepaald of moeilijk kan worden bepaald. Bij sedimentgehalten die boven de berekende kritische grenzen liggen moet een meting aan het poriewater plaatsvinden. Dit kan via een directe anaerobe meting of via anaerobe extractie (zoals beschreven in Lijzen et al., 2011). De aanbeveling hiervoor wordt later uitgewerkt.

Een goede invulling van de zorgplicht zou voorschrijven om aan alle genoemde waternormen (streefwaarde grondwater, MTR, MTT) te voldoen. De toetsing en uiteindelijke beoordeling is echter een keuze van het bevoegd gezag. Hierbij dient bovendien aangegeven te worden hoe met de bandbreedte in de gehalte-criteria diagrammen (veroorzaakt door de invloed van de andere sedimentkarakteristieken) dient te worden omgegaan.

5 Referenties

- Circulaire herinrichting van diepe plassen (2010). Staatscourant nr. 20128, December 2010.
- CIS WFD (2008). Guidance document on status and trend assessment (no. 18).
- CIW (2000). Emissie-Immissie, prioritering van bronnen en de immissietoets. Commissie Integraal Waterbeheer, Den Haag.
- Commissie Verheijen (2009). Verantwoord grootschalig toepassen van grond en begger spec. Rapport van de Deskundigencommissie (Hoofdrapport en bijlagenrapport). Juni 2009.
- Lijzen, J.P.A., J.W. Claessens, R.N.J. Comans, J. Griffioen, W.J. de Lange, J. Spijker, J.P.M. Vink, M.C. Zijp (2011). Beoordelen grootschalige bodemtoepassingen in diepe plassen. Elementen voor locatiespecifieke beoordeling. RIVM rapport 60771102, Bilthoven.
- Ministerie I&M (2010). Handreiking voor het herinrichten van diepe plassen. Versie December 2010.
- Rijkswaterstaat (1993). De chemie van verontreinigd baggerslib in depot, J.P.M. Vink (red.). Flevovericht 342, ISBN 9036911117, Lelystad.
- Rijkswaterstaat (2006). Beoordeling van uitloging en verspreiding uit depots. 06.003, Utrecht.
- Schmidt, C.A., G. Cornelissen, C. Cuypers, W. de Lange, K. van Vliet, J.P.M. Vink (2002). Bepaling actueel risico van verspreiding via grondwater. Achtergronddocument Richtlijn Nader onderzoek verontreinigde waterbodems. AKWA rapport 02.005/RIZA 2002.025/ ISBN 9036954479, Lelystad.
- Schrap M., L. Oste, M. Beek, O. Epema en K. Miermans (2008). Vergeten metalen in de Nederlandse Rijkswateren. Waterdienst, 2008.034, Lelystad.
- Stortelder, P.B.M., M.A. van der Gaag & L.A. van der Kooij (1989). Kansen voor waterorganismen; een ecotoxicologische onderbouwing voor kwaliteitsdoelstellingen voor water en waterbodem. RIZA, notanr. 89.016, Lelystad.
- Verweij W, Reijnders HFR, Prins HF, Boumans LJM, Janssen MPM, Moermond CTA, Nijs ACM de, Pieters BJ, Verbruggen EMJ, Zijp MC (2008). Advies voor drempelwaarden. RIVM rapport 607300005, Bilthoven.
- Vink, J.P.M. (1994): Het beoordelen van licht verontreinigde onderhoudsbaggerspecie uit het IJsselmeer ten behoeve van aanwending voor landschapsontwikkelingswerken. RIZA, rapport 1994-7LIO, Lelystad.
- Vink, J.P.M. en J. Hendriks (1999): Zware metalen in sediment wel degelijk een ecotoxicologisch risico. *H₂O* 13:38-39.
- Vink, J.P.M., C. VD Guchte, J.J.G. Zwolsman, L.M. van der Heijdt, J.M. van Steenwijk en J. Tuinstra (1999): Naar een nieuwe beoordeling van zware metalen in sediment; analyse van biologisch beschikbare fracties en toetsing aan risicogrenzen. AKWA/RIZA rapport 99.007, Lelystad.
- Vink, J.P.M. (2000): Zware metalen in Maas uiterwaarden. Effecten van stort en reductie van sediment op de interne macrochemie en metaalspecië in poriewater. Fase 2: reductie-experiment. RIZA rapport 2000.092X, Lelystad.
- Vink, J.P.M. (2002). Anaërobe poriewater metingen in geconcentreerde berging van Maasweerdgrond. RIZA rapport 2003.049X, AKWA 03.002, Lelystad.
- Vink, J.P.M. (2002): Measurement of heavy metal speciation over redox gradients in natural water-sediment interfaces and implications for uptake by benthic organisms. *Environmental Science & Technology* 36/23:5130-5138.
- Vink, J.P.M., J. de Weert (2009): Verdelingscoëfficiënten van zware metalen in aquatische systemen. Deltares rapport 0911-0252, Utrecht.
- Vink, J.P.M., J. Harmsen, H. Rijnaarts (2010). Delayed immobilisation of heavy metals in soils and sediments under reducing and anaerobic conditions. Consequences for flooding and storage. *Journal of Soils and Sediments* 10(8):1633-1645.

VROM (2004). Regeling milieukwaliteitseisen gevaarlijke stoffen oppervlaktewateren.
Staatscourant 22 dec 2004, nr. 247.

Zwolsman, J.J.G., W.J.G.M. Peijnenburg, 2006. Tweede-lijns beoordeling ecologische risico's
in oppervlaktewater; Wat te meten in 2007? KIWA/RIVM KWR06.112, Nieuwegein.