

ERODERENDE OEVERS in het Traject Zandmaas: invloed op de waterkwaliteit

RIZA werkdocument 2002.097X

Auteurs : J.L. Maas
A. Espeldoorn
J.P.M. Vink
C. van de Guchte

ERODERENDE OEVERS in het Traject Zandmaas: invloed op de waterkwaliteit

RIZA werkdocument 2002.097X

Auteurs : J.L. Maas
A. Espeldoorn
J.P.M. Vink
C. van de Guchte

In samenwerking met: De Maaswerken
Contactpersoon: A.J. van Kammen
F. Scheffer

Voorwoord

Dit rapport beschrijft een studie naar de invloed van vrije oever-erosie op de oppervlaktewaterkwaliteit. De studie richt zich op milieuhygiënische aspecten. Deze spelen een rol bij de afweging rond grootschalige rivierverruimende maatregelen, zoals die zijn voorgenomen in het rivierbed van de Zandmaas. Het rapport beschrijft milieuchemische en ecotoxicologisch onderzoek aan een aantal representatieve monsters uit het Zandmaas-traject, waar rivierverruiming in de planvorming is opgenomen. Behalve toetsing aan milieukwaliteitsnormen en risicogrenzen, die de bescherming van het aquatisch milieu tot doel hebben, vindt ook een beoordeling plaats die de bijdrage van oever-erosie kan leveren aan de totale vracht van microverontreinigingen die met de rivier de Maas wordt afgevoerd. Stroomafwaarts zijn belangrijke drinkwater-innamepunten (Biesbosch spaarbekkens). De mogelijke invloed van oever-erosie op deze drinkwaterfunctie is eveneens in ogenschouw genomen. De aspecten met betrekking tot het slibtransport als zodanig (fysisch) zijn elders beschreven. De studie beoogt een bijdrage te leveren aan een goede afweging van milieuhygiënische aspecten die mogelijk worden beïnvloed door vrije eroderende oevers in het rivierbed van de Zandmaas.

Het onderzoek is uitgevoerd door het Advies- en Kenniscentrum Waterbodems van Rijkswaterstaat, in samenwerking met De Maaswerken. Het experimentele werk is uitgevoerd door RIZA te Lelystad, chemische analyses zijn verricht door het Milieulab van Biochem en door het Instituut van Milieuvraagstukken (IVM) te Amsterdam. Bij de voorliggende rapportage waren betrokken P. Hakstege, F. Scheffer, A. van Kammen (De Maaswerken), P. Klok (DWW), A. Espeldoorn, J.L. Maas, J.P.M. Vink, P. den Besten en C. van de Guchte (RIZA). AKWA en De Maaswerken willen graag een ieder bedanken die aan dit onderzoek een enthousiaste bijdrage geleverd heeft.

C. van de Guchte
J.L. Maas

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
SAMENVATTING	7
1 Eroderende oevers in de Maaswerken; aanleiding	9
2 Opzet en uitgangspunten onderzoek	11
3 Resultaten en discussie	17
4 Conclusies	27
5 Referenties	29
Bijlagen	31

SAMENVATTING

In het rivierbed van de Zandmaas zijn rivierverruimende maatregelen voorgenomen, die de waterafvoer van de Maas bij hoogwaters in kwantitatief opzicht aanzienlijk zal verbeteren. Door deze herinrichtingsmaatregelen zal in een deel van het winterbed meer vrije erosie van oevers optreden dan tot nu toe. Een aanzienlijk deel van het traject Zandmaas is echter verontreinigd met zware metalen, PAK, PCB's en andere organochloorverbindingen. In deze studie is gekeken naar de mogelijke effecten van de erosie op de waterkwaliteit van de Maas, zowel voor de ecologische functie als voor de drinkwaterfunctie.

Op representatieve locaties is oevermateriaal verzameld waaraan milieuchemisch en ecotoxicologisch onderzoek verricht is. Het in suspensie gaan van oevermateriaal is op labschaal geïmiteerd en in deze suspensies is chemisch-analytisch gemeten, zijn bioassays uitgeoefend en is de opname van zware metalen in organismen gemeten. Er zijn eveneens nieuwe metingen aan Maaswater uitgevoerd, die als referentie dienen.

De chemische kwaliteit van het uitgangsmateriaal en de referentie waren representatief voor voorkomende, eerder gemeten concentraties in het Zandmaas-traject. In bioassays leverde dit geen tot matig zichtbare effecten op op de aan de suspensies blootgestelde organismen. Effecten op de waterkwaliteit worden niet verwacht, wel kunnen incidenteel effecten optreden op lokaal nieuw gevormde waterbodem. Door opmenging met aangevoerd schoon slib en ook door verdere verplaatsing stroomafwaarts kan dit leiden tot een tijdelijke beïnvloeding van de waterbodemkwaliteit ter plaatse. In de blootgestelde organismen trad een geringe toename van gehalten aan zware metalen op. Kritische niveaus voor effecten van doorgifte van metalen naar hogere soorten worden niet bereikt.

Bij vrije erosie van oevermateriaal wordt niet verwacht dat concentraties van metalen boven de kwaliteitseisen van drinkwater zullen uitkomen. Bovendien vindt transport over enkele honderden kilometers plaats tot aan het water-inname punt.

Berekeningen aan de meetgegevens met behulp van aannames over de jaarlijkse sedimentvracht en de totale vracht door eroderende oevers leverde een geringe bijdrage (1-3%) aan de jaarvracht van microverontreinigingen van de Maas. De bijdragen zijn dermate gering dat meetbare concentratieveranderingen niet of nauwelijks zullen optreden.

Geconcludeerd kan worden, dat de vrije erosie van oevermateriaal in het traject Zandmaas op de waterkwaliteit van de Maas geen noemenswaardige invloed zal hebben, zowel op de functie "ecologie" als op de functie "grondstof voor de bereiding van drinkwater".

1 Eroderende oevers in de Maaswerken; aanleiding

In het rivierbed van de Zandmaas zijn rivierverruimende maatregelen voorgenomen, die de waterafvoer van de Maas bij hoogwaters in kwantitatief opzicht aanzienlijk zal verbeteren. Door deze herinrichtingsmaatregelen zal in een deel van het winterbed meer vrije erosie van oevermateriaal optreden dan tot nu toe. Een deel van de vrijgekomen grond gaat in suspensie, een deel sedimenteert. Het is niet duidelijk wat de effecten zullen zijn van deze erosie van oevermateriaal op de waterkwaliteit van de Maas. Verandering van de waterkwaliteit kan gevolgen hebben voor de ecologische functie van het watersysteem en voor de functie als grondstof voor de bereiding van drinkwater uit het oppervlaktewater van de Maas.

Uit voorgaande analyses aan het oevermateriaal is gebleken dat het materiaal verontreinigd is met zware metalen, PAK, PCB en organochloorverbindingen. Het betreft vooral klasse 3 en 4 bodems, waarvan de gehalten aan Cd en Zn doorgaans bepalend zijn voor het klasse 4 niveau. De hoeveelheid oevermateriaal die kan eroderen kan aanzienlijk variëren en is voornamelijk afhankelijk van de waterstand en de grondsoort: zand erodeert makkelijker dan klei, maar bevat minder verontreinigingen. De afstand waarover erosie kan optreden varieert van 10 tot 120 km (Van der Knaap e.a., 1998). Bij een hoogwater situatie zal de concentratietoename aan zwevend stof hoog zijn, maar dit zal ook redelijk snel afgevoerd worden. Bij lage afvoer zal ook een aanzienlijke verhoging optreden, maar dit materiaal zal sneller sedimenteren (Van der Knaap e.a., 1998). Er kunnen dus effecten verwacht worden op zowel in water als in bodem voorkomende organismen.

Op basis van deze gegevens is besloten metingen, experimenteel onderzoek en berekeningen in samenhang uit te voeren, waaruit een betere beoordeling van de toegevoegde bijdrage van oevererosie aan de waterkwaliteit van de Maas zou moeten volgen. Daarbij is aandacht besteed aan verontreinigingsniveaus, milieukwaliteitsnormen en risicogrenzen in oppervlaktewater en sediment. Om een concrete inschatting van effecten te kunnen maken zijn bioassays met aquatische organismen uitgevoerd met suspensies van materiaal van de betreffende oevers van de Zandmaas. Een 'worst-case' benadering kreeg daarin nadrukkelijk de aandacht. In de blootgestelde organismen is de geaccumuleerde hoeveelheid zware metalen gemeten om een inschatting van verhoogde risico's voor toppredatoren te kunnen maken. Stroomafwaarts in de Maas bevinden zich belangrijke drinkwater-innamepunten (o.a. WBB-spaarbekkens Biesbosch). De mogelijke invloed van oevererosie op de drinkwaterfunctie is geschat aan de hand van totale vrachtberekeningen van microverontreinigingen die met de Maas worden afgevoerd.

Resultaten van deze studie zullen gebruikt worden om de drinkwaterbedrijven te informeren over mogelijke risico's van rivierverruiming in het rivierbed van de Zandmaas op de drinkwaterkwaliteit en dienen tevens om de vergunningaanvraag voor deze werken in dit Maas-traject te onderbouwen.

In het volgende hoofdstuk wordt de opzet van het experimentele onderzoek besproken en de uitgangspunten voor de vrachtberekeningen toegelicht. Hoofdstuk 3 geeft de resultaten en berekeningen van deze studie weer en in hoofdstuk 4 worden de belangrijkste conclusies uit het onderzoek samengevat.

Figuur 1: Kaartje met bemonsteringslocaties.



2 Opzet en uitgangspunten onderzoek

Vanwege de heterogeniteit van de bodem in het rivierbed is niet alleen gebruik gemaakt van reeds beschikbare data, maar is op representatieve locaties nieuw materiaal verzameld om daaraan milieuchemisch en ecotoxicologisch onderzoek in samenhang te kunnen verrichten.

De opzet was om berekeningen aan de verdeling van stoffen, biologische beschikbaarheid en vrachten uit te voeren met deze nieuwe meetgegevens. Er zijn eveneens nieuwe metingen aan Maaswater uitgevoerd, die als referentie dienen.

In de volgende paragrafen worden de verschillende aspecten van het onderzoek toegelicht.

2.1 Bemonsteringslocaties

Op 6 representatieve locaties langs de Zandmaas is door de Maaswerken op 1 en 2 december 1998 oevermateriaal verzameld. Op iedere locatie zijn mengmonsters genomen van boringen van 0–50 cm diepte beneden maaiveld. Op drie locaties is ook een monster genomen van het materiaal op ca. 0,5 -1,0 m diepte (zie tabel 1 en figuur 1).

Tegelijkertijd is bij Eijsden oppervlaktewater uit de Maas bemonsterd, dat als referentie (gebiedseigen kwaliteit) dient voor de kwaliteit van water en zwevend stof. Dit water is gebruikt voor het bereiden van suspensies en verdunningsreeksen in de bioassays.

Tabel 1: Locatieaanduidingen en gebruikte coderingen van het oevermateriaal langs de Zandmaas

Globale locatie	boringnr.	diepte boring (cm)	barcode monsters
Tegelen	58 ^F 0570	0 – 50	P1795821
Tegelen	58 ^F 0570	50 - 100	P1795278
Arcen	52 ^F 0948	0 – 50	P1795282
Well	52 ^F 0987	0 - 50	P1795279
Maashees (to. Aijen)	52 ^E 1040	0 - 50	P1795283
Aijen (zuid)	52 ^E 1016	0 - 50	P1795275
Aijen (zuid)	52 ^E 1016	70 - 100	P1795277
Aijen (noord)	46 ^D 0560	0 - 40	P1795286
Aijen (noord)	46 ^D 0560	50 - 100	P1795285

2.2 Chemische en fysisch-chemische metingen aan het uitgangsmateriaal

Analyses aan het uitgangsmateriaal zijn uitgevoerd door het milieulaboratorium van Biochem (Zoetermeer). Alle 9 bodemmonsters zijn geanalyseerd op het standaardpakket parameters voor de beoordeling van verontreinigingen. Dit pakket bevat voor bodem/sediment algemene karakteristieken als lutum- en organisch stofgehalte, concentraties aan metalen, PAK's, PCB's en een aantal organochloorverbindingen. Dit standaardpakket is uitgebreid met metingen van metalen na zwakke extractie met 0.01 M CaCl₂. Deze metingen kunnen een beter beeld geven van de uitwisselbare en mogelijk ook biologisch opneembare fracties van metalen (Vink e.a., 1999).

In het Maaswater (referentie) zijn totaal en opgeloste gehalten aan metalen gemeten, alsmede DOC, pH, fosfaat en enkele zouten. De organische verbindingen zijn geanalyseerd in het zwevend stof (MWTL, RWS).

2.3 Suspensie-experimenten en bioassays

Uit een eerdere studie (Van der Knaap e.a., 1998) is vastgesteld dat door vrije erosie van oevers tijdens een hoogwatergolf het zwevend stof gehalte maximaal met ca. 60% (175 - 275 mg/l) kan toenemen. Gemiddeld zal de toename 30% (150-200 mg/l) bedragen.

Voor de bioassays is in eerste instantie gekozen voor twee extreem hoge verhoudingen gesuspenseerd oevermateriaal / Maaswater, tw. 60 en 150 g/l ("natte bodem"), overeenkomend met 47 en 117 g/l d.s., die een factor 300-600x hoger liggen dan bij oevererosie werkelijk wordt verwacht. De reden hiervoor was na te kunnen gaan of de aanwezige verontreinigingen daadwerkelijk tot effecten kunnen leiden op de organismen die in de bioassays worden blootgesteld.

De erosie is nagebootst door het oevermateriaal met het Maaswater 3 dagen lang op een schudmachine kunstmatig in suspensie te houden. Daarna heeft gedurende ca. 4 uur sedimentatie van het gesuspenseerde materiaal plaats kunnen vinden.

Bioassays zijn op twee manieren uitgevoerd:

- waterbodemorganismen (muggelarven) zijn langdurig (4 weken) blootgesteld aan gesedimenteerd bodemmateriaal met het bijbehorende bovenstaande water uit de suspensie-proef (verhouding 1:4).
- waterorganismen (watervlooien) zijn langdurig (16 dagen) blootgesteld aan alleen het bovenstaande water (elutriaat) uit de suspensieproef.

Omdat watervlooien fysiek gehinderd worden door een overmaat aan deeltjes in het water, waardoor het niet goed mogelijk is effecten van toxicanten te herkennen, is het elutriaat voor gebruik in deze bioassay gecentrifugeerd (4500 rpm, 20 min).

De chronische bioassays zijn uitgevoerd conform de TRIADE-methodebeschrijving (Maas e.a., 1993). Er is gebruik gemaakt van in het laboratorium gekweekte organismen van eigen kweek (RIZA). De voor deze studie gebruikte organismen voldeden in de testperiode aan de criteria voor kwaliteitsborging (referentiestof $K_2Cr_2O_7$; Maas e.a., 1993).

Bioassay met muggelarven (chironomiden; *Chironomus riparius*)

Eipakketten en eerste stadium larven van de muggelarve (*C. riparius*) zijn gedurende 1 week blootgesteld aan het gecentrifugeerde elutriaat. De ontwikkeling van de L_2 -larven is vervolgens gedurende nog drie weken gevolgd tijdens blootstelling aan de sediment-water systemen. Per locatie zijn 4 replica's getest met in iedere replica 25 larven. Na afloop van de test is van 2 replica's van iedere locatie de biomassa van de L_4 -larven bepaald. De larven uit de overige 2 replica's zijn voorbereid voor het meten van bioaccumulatie van zware metalen (zie 2.5). Als referentie voor de bioassay met muggelarven is een sediment van de Oostvaardersplassen (OVP) gebruikt.

Voor de muggelarven is het percentage sterfte, groeivertraging en het drooggewicht per L_4 -larve bepaald. Significante verschillen in deze parameters zijn statistisch getoetst tov. de referentielocatie (OVP) mbv. een ANOVA-Bonferoni-test (Toxstat; Gulley *et al.*, 1998).

Bioassay met watervlooien (crustacea; *Daphnia magna*)

Sterfte en reproductiesucces bij de watervlo (*D. magna*) is onderzocht bij chronische blootstelling van de organismen in de gecentrifugeerde elutriaten van het uitgeschudde oevermateriaal. Per concentratie van het oevermateriaal

zijn 10 replica's met elk 1 daphnia ingezet. De testoplossingen zijn 2x per week ververs met een vers uitgeschud en gecentrifugeerd elutriaat. Gedurende 16 dagen is de sterfte van de daphnia's en het aantal jongen geregistreerd. De jongen zijn telkens uit de testsystemen verwijderd. Na afloop van de test zijn de overlevende oude daphnia's zo goed mogelijk van water ontdaan en ingevroren tbv. bioaccumulatiemetingen van zware metalen (zie 2.5).

Uit de resultaten van de test met watervlooien is de sterfte (%) en de populatiegroeiparameter r_m in elke concentratie bepaald volgens de TRIADE-methode (Maas e.a., 1993). De waarden zijn vergeleken met de waarden die afgeleid zijn uit controle kweekmedium en een Maaswater-controle. Significante effecten zijn eventueel getest met een ANOVA-Dunnnett-test (Toxstat; Gulley *et al.*, 1998).



Figuur 2: De watervlo *Daphnia magna* (volwassen exemplaar) en de muggelarve *Chironimus riparius* (L4).

2.4 Fysisch-chemische metingen aan suspensies

Uit het suspensie-experiment is van de hoogste toevoeging (117 g/l d.s) van het oevermateriaal van alle locaties na ca. 4 uur sedimenteren en centrifugereren een monster genomen van het bovenstaande water. In deze monsters zijn dezelfde parameters gemeten als genoemd voor het uitgangsmateriaal Maaswater.

Voor metingen aan organische verbindingen in water of zwevend stof na sedimentatie is uit dit type experimenten onvoldoende materiaal voorhanden. Er zijn hiertoe ook geen afzonderlijke experimenten verricht.

In de testvaten van de bioassays zijn voor, tijdens en na de test aanvullende parameters als pH, O_2 , NO_2^- , NH_4^+/NH_3 en geleidbaarheid gemeten. Deze waarden zijn vergeleken met de voor de testorganismen geldende criteria ("randvoorwaarden") om eventuele invloed van deze storende factoren op de overleving in de testsystemen uit te sluiten (Maas e.a., 1993).

2.5 Metingen in organismen

De muggelarven die geselecteerd zijn voor het meten van de opname van metalen, zijn na afloop van de test overgebracht in schoon kweekmedium en 1 nacht weggezet om de organismen de darminhoud te laten legen. Vervolgens zijn ze per testvaatje geclusterd en ingevroren ($-20^{\circ}C$). Per locatie is een duplo (2 testvaatjes) ingevroren en geanalyseerd.

De daphnia's uit de elutriaten zijn per concentratie geclusterd, zo goed mogelijk gedroogd en ingevroren ($-20^{\circ}C$). De monsters zijn na ontdooien gesplitst in 2 duplo's van elk 4-5 organismen. Per locatie is een duplo van elke concentratie geanalyseerd.

Omdat het aantal organismen relatief gering is, zijn alleen accumulatiemetingen voor metalen uitgevoerd, waarvoor opwerking van het materiaal met een micro-destructie techniek nog meetbare concentraties oplevert. De metalen cadmium, koper, lood en zink zijn bepaald. Afzonderlijke bioaccumulatie-experimenten met grotere hoeveelheden biologisch materiaal zijn niet uitgevoerd.

De te analyseren monsters met organismen zijn eerst gevriesdroogd en vervolgens gedestruëerd in een micro-destructiesysteem. De destructie werd uitgevoerd met perchloorzuur en salpeterzuur bij oplopende temperatuur. De destruataten werden op Cd, Cu, Pb en Zn geanalyseerd met Atomaire Absorptie Spectrometrie (AAS). De instrumentele condities waren vergelijkbaar met in eerder onderzoek toegepaste instellingen (Van Hattum *et al.*, 1991, 1993, 1996, 1998). In het kader van de kwaliteitsbewaking werden procedurele blanco's en twee verschillende gecertificeerde referentiematerialen geanalyseerd en vergeleken met verwachtingswaarden voor de elementen waarvoor gecertificeerde gehalten beschikbaar waren.

2.6 Milieukwaliteitsnormen, risicogrenzen en drinkwaternormen

Voor de beoordeling van bodem- en waterbodengegevens is uitgegaan van de nog veel gebruikte klassenindeling ENW: naar standaardbodem gecorrigeerde totaal-gehalten. Reeds beschikbare gegevens zijn doorgaans ook gestandaardiseerd volgens de ENW-toetsing (Min. Van V&W, 1994).

Daarnaast worden recent gepubliceerde milieukwaliteitsnormen op basis van risicogrenzen (VR, MTR, ER) steeds meer gebruikt (Zie NW4 voor getalswaarden voor waterbodems), en zijn er effectgerichte criteria voor de beoordeling van bioassays voorgesteld (zie NW4). Voor de beoordeling van gehalten in organismen wordt gebruik gemaakt van relatieve vergelijkingen met uitgangsmateriaal en referentiemateriaal, en met resultaten van studies die elders zijn uitgevoerd. Eventuele correcties op basis van data verkregen na zwakke extractie met CaCl_2 wordt in hoofdstuk 3 besproken.

Voor de beoordeling van watergegevens wordt gebruik gemaakt van NW4 (Min. Van V&W, 1998). Hier staan zowel totaal- als opgeloste gehalten vermeld. Voor de beoordeling van het aspect drinkwaterfunctie is gebruik gemaakt van de nu vigerende drinkwaternormen. De gebruikte getalswaarden staan vermeld in de bijlagen.

Aan de hand van chemische analysegegevens van metalen in gecentrifugeerd elutriaat is beoordeeld of deze stofgroep eventueel gevonden effecten op daphnia's kan verklaren. Voor elk metaal is de Toxic Unit (TU) bepaald door deling van de actuele gemeten concentratie in het elutriaat door de No Observed Effect Concentration (NOEC) van het organisme voor die stof, beide respectievelijk uitgedrukt in $\mu\text{g/l}$. De NOEC-waarden zijn verkregen uit literatuurgegevens van vergelijkbare testen met daphnia's. Voor de acht metalen zijn de TU-waarden opgeteld, aannemende dat effecten van deze verbindingen additief zijn. Indien de $\Sigma\text{TU} > 3$ wordt niet uitgesloten dat deze metalen een effect kunnen genereren. Hoe groter de ΣTU des te groter de kans op effect.

Ook voor de sedimentconcentraties van het oevermateriaal is deze exercitie uitgevoerd om een voorspelling te kunnen doen van de verwachte toxiciteit op muggelarven en daphnia's indien het oevermateriaal in de Maas sedimenteert. De NOEC-waarden (in mg/kg sediment), die hiervoor gebruikt zijn, zijn met behulp van equilibrium partitie berekend uit de NOEC-waarden van deze stoffen in water. Daarbij zijn data gebruikt van vergelijkbare toxiciteitstesten met deze organismen (den Besten, 1997) uit de literatuur. Voor toxiciteitsdata

voor daphnia's met metalen is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van testgegevens uit dit laboratorium (Enserink *et al.*, 1991). Een overzicht van de gebruikte NOEC-waarden wordt gegeven in bijlage 4.

2.7 Uitgangspunten voor vrachtberekeningen

Om uitspraken te kunnen doen over risico's van erosie van de oevers van de Maas in relatie tot aanwezige verontreinigingen in oever en Maas is een inschatting gemaakt van de relatieve bijdragen in het systeem en de (eventueel veranderende) mobiliteit van deze verontreinigingen. Er is daarbij uitgegaan van een "worst case" scenario, welke zondermeer een overschatting van de werkelijk te verwachten oevererosie tot gevolg heeft.

Aangehouden rekenwaarden zijn vermeld in onderstaande tabel:

Tabel 2: aangehouden rekenwaarden m.b.t vrije oevererosie (P. Klok & J. Vink, 1999)

Maas-debiet (lage afvoer):	500 m ³ / sec	(D)
Zwevend stof (jaargemiddelde):	20 mg/l d.s.	(S _{gem})
Oever-erosie (compacte klei):	0,8 m ³ /jr	(compacte klei)
	15 m ³ /jr	(zand)
Bulkdichtheid sediment (ρ)	1300 kg.m ³	
Tracé Lengte	120 km	

Onder deze aannames wordt een jaarlijkse sedimentvracht door de Maas geschat van ca 300.000 ton per jaar ($V_{\text{Maas}} = D \cdot S_{\text{gem}} \cdot 3 \cdot 10^4$). De totale vracht door eroderende oevers bedraagt bij een oevererosie van 5 m³/m/jr over 120 km ongeveer 800 ton per jaar ($V_{\text{oever}} = E \cdot L \cdot \rho$). Dat is een bijdrage van 0,26 % aan de al bestaande jaarvracht.

Wanneer als voorbeeld wordt uitgegaan van een concentratie van 6 mg/kg d.s. cadmium in het eroderende oevermateriaal, en een cadmiumconcentratie van 10 mg/kg d.s. in het zwevend stof van de Maas, dan is de bijdrage in de jaarlijkse cadmium-vracht als gevolg van oever-erosie ca. 0,16 %.

Met de hierboven genoemde aannames zijn de nieuwe meetresultaten beoordeeld op de toegevoegde bijdrage aan de waterkwaliteit van de Maas als gevolg van het ontstaan van vrij eroderende oevers.

Tabel 3: overzicht van het geanalyseerde uitgangsmateriaal (conc. in mg/kg ds., niet gecorrigeerd naar standaardbodem; conc in water in mg/l).

Locatie	%lut	%org stf	Karakter	kl	Cd	Hg	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	As
Well (0-50cm)	<2	8,9	grof zand	4	10,5	1,3	115	40	250	890	82	20
Tegelen (0-50cm)	11	2,7	klei-ig zand	3	0,4	0,1	25	12	55	110	17	11
Tegelen (50-100cm)	12	1,5	klei-ig zand	2	<0,2	<0,1	11	32	48	92	32	13
Maashees (0-50cm)	21	9,2	zandige	4	4,3	<0,1	70	37	250	700	49	19
Arcen (0-50cm)	24	11,4	klei	4	19,5	2,9	180	52	430	1400	120	33
Aijen (zd) (70-100cm)	22	10,7	zandige klei	4	17,6	2,6	155	46	350	1250	110	28
Aijen (nrd) (0-40cm)	26	7,7	zandige	2	3,3	0,6	67	36	250	650	43	20
Aijen (nrd(50-100cm)	29	4,5	klei	0	0,5	0,1	26	38	70	210	46	12
Aijen (zuid) (0-50cm)	44	7,4	klei	2	1,1	0,2	41	43	135	350	49	18
Bovengrond gem (98)		6,3	klei klei		5,7	0,8	66	27	207	747	47	17
Alle locaties	CaCl ₂		in µg/l		<0,2	<0,1	<5	<5	<10	<10	<10	<5
Eijsden zwev stof (98)	32	12,2	zs 18,5	2	5	0,8	90	29	150	750	36	-
zwev stof (96)	20	31	mg/l		24	1,3	272	94	324	2346	140	-
Eijsden water totaal		4 mg/l	TOC		0,33	0,03	3,5	2,5	5,9	42	2,7	0,9
Eijsden water opgelost		2 mg/l	DOC		0,04	<0,001	1,4	1,5	0,1	7,5	0,9	-

3 Resultaten en discussie

3.1 Chemische kwaliteit van het uitgangsmateriaal

In tabel 3 is een samenvattend overzicht gegeven van de resultaten van de fysisch-chemische analyses aan het uitgangsmateriaal van de 6 locaties in het Zandmaas traject en van het referentiewater uit de Maas. De data staan gegroepeerd naar bodemtype op basis van het lutumgehalte: zand (>15%), zandig klei (15-25%) en klei (>25%). Ter vergelijking zijn gemiddelde waarden voor bovengrond van de Zandmaas (AquaSense, 1998) en gemiddelde zwevend stof gehalten bij Eijsden (MWTL, 1996) in de tabel opgenomen. In bijlagen 1 en 2 staan de volledige lijsten met analysegegevens van de locaties weergegeven evenals de classificatie van de geanalyseerde stoffen en een beoordeling van de totale monsters.

De gemeten gehalten in de monsters oevermateriaal van de geselecteerde locaties (met uitzondering van Arcen en Aijen zuid - diepe laag) zijn een representatieve afspiegeling van voorkomende, eerder gemeten concentraties in het Zandmaas traject (AquaSense, 1998). Het oevermateriaal is wel gevarieerd in verontreinigingsgraad. Van de metalen zijn de stoffen Cd en Zn meest klassebepalend. Naast de metalen komt verontreiniging met PAK's (Fluorantheen, B(b)F en B(a)A) en hogere PCB's (138, 153 en 180) voor (zie bijlage 1).

De metaalgehalten in de zandige klei bodems van Arcen en Aijen (diepe laag) zijn het hoogst en komen ook ver boven de gemiddelde waarde voor bovengrond uit. Dit bodemmateriaal bevat relatief veel kleine deeltjes, die minder snel zullen bezinken en afgevoerd worden naar het benedenstroomse gebied van de Maas. Daar staat tegenover dat deze bodems ook het minst snel zullen eroderen.

Ook de bodem bij Well is sterk verontreinigd. Deze bodem bestaat uit grove deeltjes verontreinigd zand, die voornamelijk in de nabijheid van de locatie, waar erosie plaatsvindt, zullen bezinken.

De gemeten gehalten in oppervlaktewater en zwevend stof van het Maaswater dat in de experimenten gebruikt is, zijn representatief voor de periode november-december 1998 (zie bijlage 2). De metaalgehalten in zwevend stof liggen echter op een aanzienlijk lager niveau dan de gemiddelde gehalten in 1996. In hoeverre dit met het tijdstip van het jaar, afvoerregime of trendmatige kwaliteitsverbetering heeft te maken is verder niet nagegaan.

Al deze meetgegevens bevestigen het bestaande beeld van de kwaliteit van Maas en Maasoevers zoals dat in de afgelopen jaren is vastgelegd. Alleen de resultaten van de metalen na zwakke extractie met CaCl_2 liggen voor alle metalen in alle monsters beneden de detectielimiet. Nagegaan dient te worden of in dit type metingen een lagere detectielimiet te realiseren is.

Op basis van de gemeten gehalten in sediment is nagegaan of er effecten van de oevermonsters op muggelarven en daphnia's te voorspellen zijn. Daarvoor is een TU-analyse uitgevoerd, waarbij de concentratie van elke gemeten stof is vergeleken met de concentratie van de stof waarbij nog net geen effect op de organismen optreedt. In tabel 4 wordt per stofgroep voor daphnia's en muggelarven de som van de TU-waarden weergegeven. Een $\sum \text{TU} > 1$ betekent een overschrijding van het NOEC voor het betreffende organisme voor deze stofgroep waarbij een matig effect verwacht wordt. Bij een $\sum \text{TU} > 3$ kan verwacht worden dat er een sterk effect op kan treden.

Tabel 4: De Σ TU voor verschillende stofgroepen berekend uit de concentraties van het oevermateriaal (in mg/kg) en de NOEC voor daphnia's en muggelarven.

locaties	Σ TU voor daphnia				Σ TU voor muggelarven			
	metalen	PAK	PCB	OCB	metalen	PAK	PCB	OCB
Well (0-50cm)	5,96	1,79	<0,01	<0,01	3,03	0,48	<0,01	<0,01
Tegelen (0-50cm)	0,75	0,65	<0,01	<0,01	0,48	0,09	<0,01	0,01
Tegelen (50-100cm)	1,53	<0,01	<0,01	<0,01	0,67	<0,01	<0,01	<0,01
Maashees (0-50cm)	2,19	0,59	<0,01	<0,01	1,16	0,15	<0,01	<0,01
Arcen (0-50cm)	5,72	2,70	<0,01	<0,01	2,85	0,58	<0,01	<0,01
Aijen (zd) (70-100cm)	5,29	2,23	<0,01	<0,01	2,63	0,61	<0,01	<0,01
Aijen (nrd) (0-40cm)	1,91	0,41	<0,01	<0,01	1,05	0,12	<0,01	<0,01
Aijen (nrd)(50-100cm)	1,00	0,02	<0,01	<0,01	0,60	0,01	<0,01	<0,01
Aijen (zuid) (0-50cm)	1,00	0,17	<0,01	<0,01	0,61	0,05	<0,01	<0,01

Tabel 5: Overzicht van de resultaten met de bioassay voor *C. riparius* met verschillende oeverbodems van de Zandmaas; de classificatie is gebaseerd op de criteria van Maas e.a. (1993); (- weinig tot geen effect; \pm matig effect en + ernstig effect).

Locatie	sterfte (%)	classificatie	groeivertr.(%)	classificatie	drooggew.(mg)	classificatie	randvr-wrdrn
referentie	24 \pm 19,3		32 \pm 12,7		0.73 \pm 0.06		O ₂
Well	8 \pm 7,3	-	16 \pm 10,8	-	0,66 \pm 0.01	-	O ₂
Tegelen (0-0,5)	100*	+					-
Tegelen (0,5-1,0)	68 \pm 28,5*	+	82 \pm 18,6*	+	0.45 \pm 0.01	-	O ₂ ; NH ₃
Maashees	30 \pm 14,1	-	32 \pm 11,3	-	1.10	-	O ₂
Arcen	10 \pm 9,5	-	15 \pm 13,2	-	0.62 \pm 0.01	-	O ₂
Aijen zd (0,7-1,0)	13 \pm 8,9	-	26 \pm 7,7	-	0,76 \pm 0,08	-	O ₂ ; NH ₃
Aijen nrd (0-0,4)	23 \pm 14,4	-	47 \pm 10,5	-	0,53 \pm 0.08	-	O ₂
Aijen nrd (0,5-1,0)	33 \pm 15,8	-	51 \pm 5,0	-	0,76 \pm 0,01	-	O ₂
Aijen zd (0-0,5)	58 \pm 17,1*	\pm	67 \pm 11,0*	+	1,04 \pm 0,05	-	O ₂

* - significant effect

De Σ TU voor de groep metalen (voornamelijk Cd) leverde voor daphnia's en muggelarven voor enkele locaties hoge waarden op. Locaties, die een risico vormen zijn Well, Arcen en Aijen zd (diepe laag). Maar ook de PAK's kunnen een risico gaan vormen voor daphnia's op de locaties Arcen en Aijen zd (diepe laag). De concentraties aan PCB's en OCB's zijn dermate laag dat deze geen risico vormen voor de aquatische organismen. PCB's zijn van meer betekenis bij de doorgifte naar hogere organismen, zoals vogels.

Er zijn dus enkele locaties die een verhoogd risico kunnen vormen voor muggelarven en watervlooien. De beschikbaarheid van de verontreiniging is echter sterk afhankelijk van de karakteristieken van het sediment en de conditie van het Maaswater. Parameters die van invloed zijn op de sorptiecapaciteit van het gesuspendeerde materiaal zijn het calciumgehalte, de hoeveelheid DOC en de alkaliniteit van het water.

3.1 Resultaten chronische bioassays

Bioassay met *C. riparius* (muggelarven).

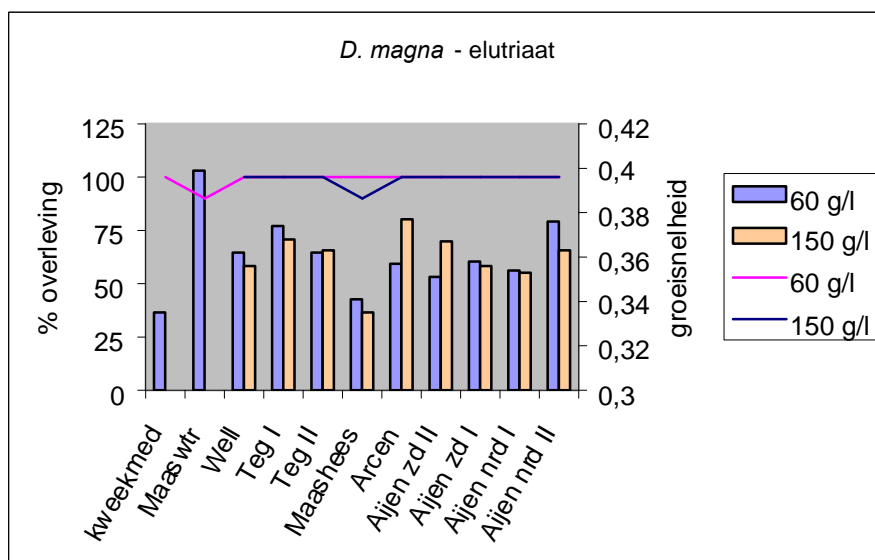
Tabel 5 geeft een overzicht van de resultaten van de bioassay met muggelarven in de sediment-watersystemen van de bemonsterde oevers. In de tabel staat tevens een classificatie aangegeven die de mate van effect op muggelarven aangeduid (Maas e.a., 1993). Gedetailleerde testgegevens staan weergegeven in bijlage 6.

Gedurende de testen trad in bijna alle testsystemen een lage zuurstofspanning (<3 mg/l) op (bijlage 5). Ondanks regelmatige beluchting conform de TRIADE-methode (Maas e.a., 1993) kon een hoger zuurstofgehalte niet gehandhaafd blijven. Uitzondering hierop was de locatie Tegelen (bovenlaag). Niettemin trad juist op deze locatie vrij snel na het begin van de test het hoogste effect (100% sterfte) op.

In de testsystemen van de locaties Tegelen (diepe laag) en Aijen-zuid (diepe laag) werden eveneens significante effecten waargenomen op de groei en overleving van de muggelarven. De invloed van de lage zuurstofgehalten tijdens de test is niet eenduidig. Ook in het veld zijn nog bij zuurstofgehalten tot 1 mg/l *C. riparius*-larven aangetroffen. In de systemen van de locaties Tegelen en Aijen werd echter ook een overschrijding van ammonium/ammoniak concentraties waargenomen (bijlage 5). De verhoogde gehalten traden op aan het einde van de test. Opvallend was dat het hier in beide gevallen de diepere grondlagen betrof.

De waargenomen effecten in de locaties Tegelen zijn niet te verklaren aan de hand van de sedimentconcentraties in het oevermateriaal (tabel 4), voor Aaijen zuid (diepere laag) kan de concentratie aan metalen een bijdrage hebben geleverd. Het is echter niet uit te sluiten dat eventuele negatieve effecten in de bioassays met muggelarven door een combinatie van lage zuurstofspanning en verhoogde ammoniakconcentratie veroorzaakt werden en niet door de aanwezigheid van verontreinigende stoffen.

Concluderend kan gezegd worden dat de eroderende oever van de locaties Tegelen en Aijen-zuid een dusdanige verontreinigingsgraad heeft, dat daaraan blootgestelde muggenlarven een significant slechtere 'performance' laten zien dan die in de referentie. Vlakbij de locatie waar erosie plaatsvindt en waar het eroderend materiaal in wat grotere volumes sedimenteert, kunnen effecten zichtbaar worden op daar voorkomende organismen. Ook kan door afgezet oevermateriaal een verminderde <re>kolonisatie van waterbodembewonende organismen optreden. Door opmenging met aangevoerd schoner slib, en ook door verdere verplaatsing stroomafwaarts, kan dit een tijdelijke beïnvloeding van de waterbodemkwaliteit ter plaatse blijken te zijn.



Figuur 3: Een overzicht van de sterfte en reproductie van *D. magna* in de 2 geteste concentraties van de suspensies van oevermateriaal van de Zandmaas. Als referentie is het kweekmedium en Maaswater meegenomen. Staafjes geven de groeisnelheid weer.

Tabel 5: Concentraties van enkele metalen in watervlooiën en muggelarven na blootstelling aan water resp. sediment uit suspensies van oevermateriaal langs de Zandmaas in Maaswater .

Locatie	kl	Cd vlo	Cd mug	Cu vlo	Cu mug	Pb Vlo	Pb mug	Zn vlo	Zn mug
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Well (0-50 cm)	4	5.6	2.0	16	3-51	4.4	14.5	96	36-124
Tegelen (0-50 cm)	3	3.6	4.1	11	16	1.3	13.4	75	59-126
Tegelen (50-100 cm)	2	2.6		11		1.7		75	
Maashees (0-50 cm)	4	5.4	8.5	16	31	3.4	31	86	205
Arcen (0-50 cm)	4	8.7	20.4	23	72	3.5	16-162	106	167-960
Aijen zuid (70-100 cm)	4	7.7	45.9	13	36	2.2	28	95	155
Aijen noord (0-40 cm)	2	2.7	0.2	17	1.3	2.7	2.9	74	14
Aijen noord (50-100cm)	0	1.0	0.9	7	20	<0.3	8	62	41
Aijen zuid (0-50 cm)	2	2.0	0.4	7	<0.8	1.8	0.9	73	15
Eijsden water totaal		4.9		13		<0.8		104	
ref. kweek-medium		<0.15		10		<0.4		61	
ref. OVP-sediment			0.2		21		11		64
kritische waarde NOEC daphnia*		13		30		3400		5100	
muggelarven**			15		126		200		5600

*afgeleid van NOEC metalen (Enserink et al., 1991).

** afgeleid van laboratorium experimenten (AquaSense, 1992)

Bioassay met *D. magna* (watervlooien)

In de bioassay met watervlooien, die werden blootgesteld aan het water, verkregen na bezinken en centrifugeren van de suspensies werden geen effecten op de overleving van de organismen gevonden. Wel lag de populatie groeisnelheid in de gecentrifugeerde elutriaten voor elke locatie significant lager (5-15%) dan die voor de controle met alleen Maaswater. De populatie groeisnelheden lagen wel iets hoger (1-12%) dan de groeisnelheid die normaal in kweekmedium optreedt. In figuur 3 is de overleving en de groeisnelheid van de daphnia's per concentratie en per locatie weergegeven. Gedetailleerde resultaten van de testen zijn te vinden in bijlage 7.

De testomstandigheden voldeden allen aan de voor watervlooien geldende criteria (zie bijlage 5). Het verschil tussen de resultaten van de referentie media en die van de testconcentraties kan alleen verklaard worden door een mogelijk verschil in nutriënten/ voedingsstoffen in de media. Het Maaswater zelf bevat tov het kweekmedium een zekere hoeveelheid voedingsstoffen die een snellere groei van de daphnia-populatie kan veroorzaken. Het Maaswater, dat als controlemedium als zodanig is getest, is voorafgaande aan de test niet gecentrifugeerd in tegenstelling tot de geteste elutriaten. Wellicht zijn bepaalde voedingsstoffen uit de elutriaten door centrifugatie verwijderd, waardoor een net iets lagere groei van de populaties is ontstaan.

De conclusie is dat zelfs bij de gekozen extreem hoge dosering oevermateriaal er geen noemenswaardige effecten op overleving, reproductie of populatieontwikkeling zijn waargenomen op aan het water blootgestelde watervlooien, die zouden kunnen worden toegeschreven aan daarin aanwezige verontreinigingen. De imitatie van de oevererosie, zoals hier is uitgevoerd, heeft geen dusdanige invloed op de waterkwaliteit gehad, welke duidelijk zichtbaar is geworden in de 'performance' van de blootgestelde watervlooien.

3.3 Accumulatiegegevens van blootgestelde organismen.

In de blootgestelde organismen zijn de metalen cadmium, koper, lood en zink bepaald (tabel 5). De concentraties zijn vergeleken met de geaccumuleerde gehalten voor beide organismen in de referentie media. Daarnaast zijn ze vergeleken met zogenaamde kritische waarden voor de organismen, afgeleid uit NOEC-gehalten van toxiciteits-experimenten met metalen (Enserink, et al., 1991; AquaSense, 1992).

Watervlooien blootgesteld in het kweekmedium laten voor cadmium, koper, lood en zink relatief de laagste gehalten zien. Dat geldt ook voor muggelarven blootgesteld aan het referentiesediment (OVP).

In watervlooien, die zijn blootgesteld aan Maaswater als zodanig, zijn verhoogde gehalten aan zware metalen gemeten. In watervlooien, blootgesteld aan gecentrifugeerde elutriaten, zijn incidenteel extra verhoogde gehalten gemeten, met name in de elutriaten van de locaties Arcen, Aijen zuid (dieptelaag), Well en Maashees. De bioconcentratiefactor, d.i. de verdeling tussen organisme en water, neemt echter niet recht evenredig toe met toenemende concentraties in het water. Deze concentratie-afhankelijke opname is bij koper en zink nog iets meer evident. Beide metalen zijn essentieel voor organismen en worden door organismen gereguleerd. Kritische niveaus voor effecten worden niet bereikt.

Muggenlarven nemen vaak hogere concentraties op in de experimenten dan de watervlooien. Dat is vooral duidelijk het geval bij blootstelling aan de zandige klei monsters. In hoeverre soortspecifieke accumulatie vanuit de waterfase, of

Tabel 7: totaal gehalten in bovenstaand water na bezinken en centrifugeren van suspensies (117 g/l d.s. toegevoegd) in Maaswater

Locatie	kl	DOC	Cd	Hg	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	As
			µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l
Well (0-50 cm)	4	8.8	<1	<1	0.01*	<0.01	0.01	0.2*	<0.01	<10
Tegelen (0-50 cm)	3	7.0	<1	<1	0.02*	0.1*	0.01	0.1*	0.3*	<10
Tegelen (50-100 cm)	2	8.6	1.4	<1	<0.01	<0.01	<0.01	0.07*	<0.01	<10
Maashees (0-50 cm)	4	18.5	<1	<1	0.01*	<0.01	0.02	0.12*	<0.01	<10
Arcen (0-50 cm)	4	9.3	2.1*	<1	0.02*	0.02*	0.02	0.13*	0.02	<10
Aijen zuid (70-100 cm)	4	10	2.5*	<1	0.02*	0.01*	<0.01	0.12*	0.02	<10
Aijen noord (0-40 cm)	2	7.7	1	<1	<0.01	0.03*	<0.01	0.08*	0.01	<10
Aijen noord (50-100cm)	0	4.5	1	<1	<0.01	0.03*	<0.01	0.08*	0.01	<10
Aijen zuid (0-50 cm)	2	6.3	<1	<1	<0.01	<0.01	<0.01	0.03	<0.01	<10
Eijsden water totaal		4.1	1.1	<1	<0.01	<0.01	<0.01	0.08*	<0.01	<10
MTR*			2	1.2	0.004	0.006	0.2	0.04	0.08	32
Streefwaarde			0.4	0.07	0.000	0.000	0.05	0.01	0.02	1.3
Drinkwaternorm			1.5	0.3	0.05	-	0.03	0.2	0.05	20

* - overschrijding MTR ; - overschrijding drinkwaternorm

Tabel 8: opgeloste gehalten in bovenstaand water na bezinken en centrifugeren van suspensies (117 g/l d.s. toegevoegd) in Maaswater

Locatie	kl	DOC	Cd	Hg	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	As
			µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Well (0-50 cm)	4	8.8	<0.4	<0.05	<5	<5	<5	26*	<1	<5
Tegelen (0-50 cm)	3	7.0	0.6*	<0.05	<5	<5	<5	<10	2.1	<5
Tegelen (50-100 cm)	2	8.6	1.0*	<0.05	<13	<5	<5	<10	2.8	<5
Maashees (0-50 cm)	4	18.5	1.3*	<0.05	23*	7*	20*	100*	9.7*	5.6
Arcen (0-50 cm)	4	9.3	1.6*	<0.05	23*	<5	7.6	51*	9.9*	<5
Aijen zuid (70-100 cm)	4	10	1.7*	<0.05	30*	5.6	<5	52*	13.5*	<5
Aijen noord (0-40 cm)	2	7.7	0.7*	<0.05	13.5*	<5	<5	22*	2.0	<5
Aijen noord (50-100cm)	0	4.5	0.7*	<0.05	5.5*	<5	<5	<10	4.6	<5
Aijen zuid (0-50 cm)	2	6.3	0.9*	<0.05	<5	<5	5	<10	5.3	<5
Eijsden water opgelost		4.1	0.5*	<0.05	5.1*	<5	<5	15*	<1	<5
MTR*			0.4	0.2	1.5	5.1	11	9.4	8.7	25
Streefwaarde			0.08	0.01	0.5	3.3	0.3	2.9	0.3	1
Drinkwaternorm			1.5	0.3	50	-	30	200	50	20

* - overschrijding MTR; - overschrijding drinkwaternorm

een extra bijdrage vanuit de ingestie van sediment, of een artefact vanwege een niet volledig leeggespoeld maagdarmkanaal een rol speelt, is niet geheel duidelijk. Feit is dat hogere niveaus gevonden worden, hetgeen een rol kan spelen in de doorgifte van de metalen naar predatore vis. Kritische niveaus lijken echter niet te worden bereikt.

3.4 Risico's voor milieu en drinkwaterbereiding

In tabel 7 en 8 is een overzicht weergegeven van gemeten metaalgehalten in het bovenstaande water na 3-4 uur bezinken en centrifugeren van de suspensie met de hoogste dosering oevermateriaal in Maas-water (150 g/l = 117 g/l d.s. toegevoegd). Tevens zijn de milieukwaliteitseisen en de drinkwaternormen gegeven voor de totaal- en opgeloste gehalten. In bijlage 3 zijn tevens de overige gemeten metalen en nutriënten weergegeven.

Bij deze extreem hoge dosering overschrijden alleen cadmium bij Arcen en Aijen-zuid, en chroom bij de locatie Tegelen (0-50 cm) de kwaliteitseisen voor oppervlaktewater dat is bestemd voor de bereiding van drinkwater. Voor de opgeloste concentraties geldt hetzelfde. De extreem hoge dosering die gebruikt is, ligt een factor 300 – 600x hoger dan in werkelijkheid. Het lijkt niet waarschijnlijk dat bij een lagere dosering deze concentraties in deze geringe mate van verhoging nog traceerbaar zullen zijn. Bovendien vindt transport over enkele honderden kilometers plaats tot aan het water-inname punt. Daar zullen de genoemde stoffen niet meer daadwerkelijk boven de kwaliteitseisen voor de drinkwaterbereiding uit komen.

Op vele locaties werd wel de MTR voor zowel totaal als opgeloste metaalgehalten overschreden. De opgeloste gehalten metalen overschrijden het MTR met een factor 4-10. Deze overschrijdingen hebben nog niet tot effecten op daphnia's geleid. Uit berekeningen aan de ΣTU_{met} voor daphnia's van de opgeloste hoeveelheden in de gecentrifugeerde elutriaten blijkt slechts een lichte overschrijding voor enkele locaties voor te komen. De locaties waarvan de $\Sigma TU_{met} > 1$ was, waren Arcen ($\Sigma TU_{met} = 1,42$), Maashees ($\Sigma TU_{met} = 1,57$) en Aijen (zd; 0,7-1; $\Sigma TU_{met} = 1,65$). Met name de metalen Cu, Zn en Cd zijn hiervoor verantwoordelijk. Deze overschrijdingen komen goed overeen met de hoogste overschrijdingen van de $MTR_{opgelost}$.

Ter illustratie zijn de gehalten van resp. cadmium, lood, koper en zink in daphnia's (mg/kg dw); in het elutriaat (opgelost in $\mu g/l$) en in sediment (mg/kg d.s.) naast elkaar gezet (bijlage 8, figuren 4 t/m 7). De opgeloste gehalten zijn getoetst aan de MTR (opgelost) en de sedimentgehalten aan de interventiewaarde (NW4; Min V&W, 1998). De interventiewaarde voor sediment voor Zn en Cd wordt op de locaties Arcen, Well, Aijen zd-diep en Maashees overschreden.

Tabel 9: Toegevoegde bijdrage (in %) aan de jaarvrucht aan zware metalen van de Maas door vrije oevererosie in de Zandmaas, bij de aangegeven scenario's. De gekleurde getallen geven de hoogste percentages aan (>1%).

		Cd	Hg	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	As
JAARVRACHT	in ton	1.5	0.24	27	8.7	45	225	10.8	-
extra door oevererosie	traject	in %	in %	in %	in %	in %	in %	in %	
Well (0-50 cm)	1 km	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	-
	10 km	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	-
	50 km	0.7	0.5	0.4	0.5	0.6	0.4	0.8	-
	100 km	1.4	1.1	0.9	0.9	1.1	0.8	1.5	-
	200 km	2.7	2.1	1.7	1.8	2.2	1.6	3.0	-
Tegelen (0-50 cm)	1 km	0.0005	0.0008	0.002	0.003	0.002	0.0005	0.003	
	10 km	0.005	0.008	0.02	0.03	0.02	0.005	0.03	
	50 km	0.03	0.04	0.1	0.1	0.1	0.05	0.2	
	100 km	0.05	0.8	0.2	0.3	0.2	0.1	0.3	
	200 km	0.1	0.2	0.4	0.5	0.5	0.2	0.6	
Tegelen (50-100 cm)	1 km	<0.0003	<0.0008	0.0008	0.007	0.0005	0.001	0.006	
	10 km	<0.003	<0.008	0.008	0.07	0.005	0.01	0.06	
	50 km	<0.02	<0.04	0.04	0.4	0.3	0.05	0.3	
	100 km	<0.03	<0.08	0.08	0.7	0.5	0.1	0.6	
	200 km	<0.06	<0.2	0.2	1.4	0.1	0.2	1.2	
Maashees (0-50 cm)	1 km	0.004	<0.0005	0.003	0.006	0.007	0.004	0.006	
	10 km	0.04	<0.005	0.03	0.06	0.07	0.04	0.06	
	50 km	0.2	<0.03	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	
	100 km	0.4	<0.05	0.3	0.6	0.7	0.4	0.6	
	200 km	0.8	<0.1	0.7	1.1	1.4	0.8	1.2	
Arcen (0-50 cm)	1 km	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
	10 km	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
	50 km	0.9	0.8	0.5	0.4	0.6	0.4	0.7	
	100 km	1.7	1.6	0.9	0.8	1.2	0.9	1.4	
	200 km	3.4	3.2	1.8	1.6	2.4	1.8	2.8	
Aijen zuid (70-100cm)	1 km	0.02	0.01	0.008	0.007	0.01	0.007	0.01	
	10 km	0.2	0.1	0.08	0.07	0.1	0.07	0.1	
	50 km	0.8	0.7	0.4	0.4	0.5	0.4	0.7	
	100 km	1.5	1.4	0.8	0.7	1	0.7	1.3	
	200 km	3	2.8	1.5	1.4	2	1.5	2.6	
Aijen noord (0-40 cm)	1 km	0.001	0.002	0.002	0.003	0.004	0.002	0.003	
	10 km	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.03	
	50 km	0.07	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	
	100 km	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	
	200 km	0.3	0.3	0.3	0.5	0.7	0.4	0.6	
Aijen noord (50-100cm)	1 km	0.0002	0.0003	0.0006	0.003	0.001	0.0006	0.003	
	10 km	0.002	0.003	0.006	0.03	0.01	0.006	0.03	
	50 km	0.01	0.02	0.03	0.1	0.05	0.03	0.1	
	100 km	0.02	0.03	0.06	0.3	0.1	0.06	0.3	
	200 km	0.04	0.06	0.1	0.6	0.2	0.1	0.6	
Aijen zuid (0-50 cm)	1 km	0.0005	0.0005	0.001	0.003	0.002	0.001	0.003	
	10 km	0.005	0.005	0.01	0.03	0.02	0.01	0.03	
	50 km	0.03	0.03	0.05	0.2	0.1	0.05	0.2	
	100 km	0.05	0.05	0.1	0.3	0.2	0.1	0.3	
	200 km	0.1	0.1	0.2	0.6	0.4	0.2	0.6	

3.6 Bijdrage aan de jaarvracht microverontreinigingen van de Maas

Met de meetgegevens van het zwevende stof bij Eijsden, de meetgegevens van het oevermateriaal en de aannames uit tabel 2 is de procentuele bijdrage aan de jaarvracht uitgerekend voor de verschillende metalen. Voor zand is een erosie van 15 m³/m/jr aangehouden, voor zandige klei 10 m³/m/jr en voor klei 5 m³/m/jr. Dit zijn conservatieve schattingen.

Daartegenover staat dat geen afzonderlijke gegevens beschikbaar waren van de fractie eroderende oever die daadwerkelijk als zwevende stof wordt meegevoerd. Dat zal voor het overbruggen van grotere afstanden, de fijnste bodemfractie zijn, waarin de gehalten hoger kunnen zijn dan de gemiddelde concentratie in het totale geërodeerde oevermateriaal. Met de scenario's voor kilometerlengte oever die gelijktijdig erodeert is het totaalbeeld nog steeds een veilige schatting, die eerder een over- dan een onderschatting geeft van de totale bijdrage door vrije oevererosie aan de jaarvrachten van de verschillende metalen.

Het overzicht in tabel 9 geeft aan dat de maximale bijdragen aan de jaarvrachten boven de 1 %, bij de gehanteerde aannames, vooral gevonden worden bij erosie-trajecten van 100-200 km oevermateriaal bij de zandige klei-oeveren en het zandpakket bij Well, en dan voor vrijwel alle metalen in gelijke mate (1-3 %). De bijdragen blijven echter dermate gering dat meetbare concentratieveranderingen niet of nauwelijks zullen optreden.

4 Conclusies

Deze studie heeft een goed inzicht gegeven van de mogelijke effecten die op kunnen treden bij vrije erosie van oevermateriaal uit het winterbed van de Maas. De belangrijkste conclusies zullen hieronder nogmaals samengevat worden:

De monsters oevermateriaal van de geselecteerde locaties waren representatief voor het Zandmaas traject. De gemeten gehalten kwamen overeen met eerder gemeten concentraties in het oevermateriaal. Voor Zn en Cd wordt op een aantal locaties de interventiewaarde overschreden.

De gecentrifugeerde elutriaten van oevermateriaal van Maashees, Arcen en Aijen zd (0,7-1,0) bevatten de hoogste gehalten aan metalen in oplossing. De MTR werd voor Cd en Zn met een factor 4 – 10 overschreden. Het oevermateriaal bestaat uit zandige klei. Dit bodemmateriaal bevat relatief veel kleine deeltjes, die minder snel zullen bezinken en afgevoerd worden naar het benedenstroomse gebied van de Maas. Daar staat tegenover dat deze bodems ook het minst snel zullen eroderen.

Ondanks de gekozen extreem hoge dosering van het oevermateriaal aan Maaswater en de hoge metaalgehalten die gemeten zijn, traden geen noemenswaardige effecten op overleving, reproductie of populatieontwikkeling op bij de aan het elutriaat blootgestelde watervlooien.

Enkele locaties (Tegelen en Aijen-zd) hebben een dusdanige verontreinigingsgraad, dat daaraan blootgestelde muggelarven effecten op groei en overleving lieten zien. Het is echter niet uit te sluiten dat eventuele negatieve effecten in de bioassays met muggelarven door een combinatie van lage zuurstofspanning en verhoogde ammoniakconcentratie veroorzaakt werden en niet door de aanwezigheid van verontreinigende stoffen. Vlakbij de locatie waar erosie plaatsvindt en waar het eroderend materiaal in wat grotere volumes sedimenteert, kunnen effecten optreden op daar voorkomende organismen. Door afgezet oevermateriaal kan eveneens een verminderde kolonisatie van waterbodembewonende organismen voorkomen. Door opmenging met aangevoerd schoner slib, en ook door verdere verplaatsing stroomafwaarts, kan dit een tijdelijke beïnvloeding van de waterbodemkwaliteit ter plaatse blijken te zijn.

In de aan de testsystemen blootgestelde organismen trad in de meeste gevallen een geringe toename van gehalten aan zware metalen op. De gehalten in Arcen en Aijen (zd-diep) waren voor beide organismen ten opzichte van de referentie sterk verhoogd, dit heeft echter niet tot effecten geleid. Kritische niveaus voor effecten worden niet gehaald.

Er worden geen extra risico's voor de drinkwaterbereiding verwacht. Bij de extreem hoge dosering treedt slechts een geringe overschrijding van cadmium en chroom (3 locaties) van de kwaliteitseisen voor oppervlaktewater, dat bestemd is voor de bereiding van drinkwater, op. Bij een 300-voudig lagere dosering en transport over enkele honderden kilometers tot de water-inname punten zal deze overschrijding niet meer meetbaar zijn.

De oevererosie heeft slechts een geringe bijdrage aan de jaarvracht microverontreinigingen van de Maas.

Als eindconclusie kan gesteld worden, dat de vrije erosie van oevermateriaal in het traject Zandmaas op de waterkwaliteit van de Maas geen noemenswaardige invloed zal hebben op de functies "ecologie" en "grondstof voor de bereiding van drinkwater".

5 Referenties

- AquaSense (1992). Beoordeling van reinigingstechnieken voor verontreinigde waterbodems met bioassays. In opdracht van: POSW, RIZA, Rapport 92.0193.
- AquaSense (1998). T₀-bepaling monitoring baggerbestek 2. Bodemchemie, ecotoxicologie en ecologie. Rapport 98.1112, Amsterdam.
- Den Besten, P.J. (1997). Biotisch effectonderzoek Hollandsch Diep en Dordtsche Biesbosch, Nader onderzoek waterbodemkwaliteit. RIZA rapport 97.098.
- Enserink, E.L., J.L. Maas-Diepeveen and C.J. van Leeuwen (1991). Combined effects of metals; an ecotoxicological evaluation. *Water Research*, 25, 6, 679-687.
- Gulley, D.D., A. M. Boelter and H.L. Bergman (1988). Toxstat, release 2.1. Fish Physiology and Toxicology Laboratory Department of Zoology and Physiology, University of Wyoming, Wyoming, USA.
- Van Hattum, B., K.R. Timmermans and H. Govers (1991). Abiotic and biotic factors influencing bioavailability of trace metals to aquatic invertebrates in freshwater ecosystems. *Environmental Toxicology and Chemistry* 10, 275-292.
- Van Hattum, B., G. Korthals, H. Govers, N. van Straalen and E.N.G. Joosse van Damme. (1993). Accumulation patterns of trace elements in freshwater isopods in sediment-bioassays isopods - influence of temperature, substrate characteristics and pH. *Water Research* 27, 669-684.
- Van Hattum, B., N. van Straalen and H. Govers (1996). Trace metals in populations of freshwater isopods - influence of biotic and abiotic variables. *Archives Environmental Contamination and Toxicology* 31, 303-318.
- Van Hattum, B., I. Burgers, K. Swart, A. van der Horst, J.W. Wegener, P. Leonards, M. Rijkeboer en P. den Besten (1996). Biomonitoring van microverontreinigingen in het Hollandsch Diep, De Dordtsche en de Brabantsche Biesbosch. Rapport nr. E-96/12. Instituut Voor Milieuvraagstukken, Vrije Universiteit. Amsterdam
- Van Hattum, B., I. Burgers, K. Swart, A. van der Horst, J.W. Wegener, P.J. den Besten (1998). Biomonitoring van microverontreinigingen in voedselketens in het Haringvliet en de Amer - Nader Onderzoek HV - AM. IVM E-98/08, 72 p.
- Knaap, F.C.M. van der, C.J. Sloff en R.C.J. Bakkum (1998). Effecten van vrije oevererosie Zandmaas. Bureau studie WL, Delft.
- Klok, P. and J. Vink (1999). Persoonlijke mededeling.
- Maas, J.L., C. van de Guchte en F.C.M. Kerkum (1993). Methode-beschrijvingen voor de beoordeling van verontreinigde waterbodems volgens de TRIADE benadering. RIZA nota 93.027.
- Mill, T. and W.R. Mabey (1982). Laboratory protocols for evaluating the fate of organic chemicals in air and water, pp. 281-329.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1994). Evaluatie nota water 1993; Aanvullingen beleidsmaatregelen en financiering 1994-1998. Den Haag.
Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1998). Vierde nota waterhuishouding. Den Haag.

Mulder, M.A.A.J. (1994). Ecotoxicologische beoordeling van de waterbodempkwaliteit in Zuid-Holland (TRIADÉ-west). RIZA werkdocument 94.177X.

Vink, J.P.M., C. van de 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. RIZA werkdocument 99.111X. AKWA rapport 99.007.

Bijlagen

- Bijlage 1: Chemische gegevens en classificatie van de oevermonsters Zandmaas**
- Bijlage 2: Chemische gegevens en classificatie van de gebruikte referentiewateren en –sediment**
- Bijlage 3: Analysegegevens (totaal en opgelost) van zware metalen in elutriaten van suspensies van 150 g/l van de oevermaterialen Zandmaas met Maaswater.**
- Bijlage 4: Lijst met NOEC-waarden voor de berekening van Toxic Units.**
- Bijlage 5: Criteria en gemeten fysisch-chemische parameters in de testsystemen**
- Bijlage 6: Resultaten van de bioassay met *C. riparius***
- Bijlage 7: Resultaten van de bioassay met *D. magna***
- Bijlage 8: Weergave van de gehalten aan cadmium, lood, koper en zink in daphnia's (na test), oppervlaktewater (opgelost) en sediment.**

Bijlage 1: Chemische gegevens en classificatie van de oevermonsters Zandmaas

Toetsing gegevens volgens Waterbodemonnormering regeringsbeslissing ENW

Aangepaste beoordeling interventiewaarde PAK

Locatie: 58°0570 (0,0 - 0,5 m) Tegelen dd. 1-12-98

Fractieverdeling	< 210 µm (% op ds):	55
	< 63 µm	23
	< 50 µm	23
	< 16 µm	18

Gebruikte grootheden voor standaardisatie van gehalten:

- Het org. stofgehalte is berekend mbv. (100-gloeirest) * 0.90 = 2.65%

- Het lutumgehalte is berekend: 0.63 * perc. < 16 µm = 11.34 %

Stof	gemeten gehalte	gestand gehalte	klasse	overschrijding klassegrens (%)
Metalen (mg/kg)				
Cd	0.38	0.56	0	
Hg	0.11	0.14	0	
Cu	25.00	38.48	2	10
Ni	11.50	18.86	0	
Pb	55.00	73.06	0	
Zn	110.00	175.02	1	25
Cr	17.00	23.39	0	
As	10.50	14.79	0	
EOX (mg/kg)	0.40	1.51	2	
PAK's (mg/kg)				
Som 10 PAK's	2.65	10.02	3	0
Chloorbenzenen (µg/kg)				
PentaClbenzenen	3.60	13.61	1	444
HexaClbenzenen	< 1.00	< 3.78	<=1	
Chloorbenzenen	3.60	13.61	0	
PCB's (µg/kg)				
PCB28	< 1.00	< 3.78	<=1	
PCB52	< 1.00	< 3.78	<=1	
PCB101	2.10	7.94	2	98
PCB118	< 1.00	< 3.78	0	
PCB138	< 1.00	< 3.78	0	
PCB153	< 1.00	< 3.78	0	
PCB180	< 1.00	< 3.78	0	
Som PCB's (6)	2.10	7.94	0	
Som PCB's (7)	2.10	7.94	0	
Bestrijdingsmiddelen (µg/kg)				
Aldrin	< 1.00	< 3.78	<=1	
Dieldrin	58.00	219.20	2	996
Som Al/D	58.00	219.20	3	448
Endrin	< 1.00	< 1.08	<=1	
Drins	58.00	219.20	0	
DDT(incl DDD/DDE)	151.00	570.67	3	2753
α-Endosulfan	< 1.00	< 3.78	<=1	
α-HCH	< 1.00	< 3.78	<=1	
β-HCH	< 1.00	< 3.78	<=1	

γ -HCH	< 1.00	< 3.78	<=2	
HCH-verbindingen	< 4.00	< 15.12	0	
Heptachloor	< 1.00	< 3.78	<=1	
Heptachloor & epox	< 1.00	< 3.78	0	
Chloordaan	< 2.00	< 7.56	0	
Hexachloorbutadieen	< 1.00	< 3.78	<=1	
Som pesticiden	212.60	803.48	3	703
Overige stoffen ($\mu\text{g/kg}$)				
Minerale olie (GC)		< 20.00	< 75.59	<=1

Eindoordeel is 3 (metalen 2; organische micro's 3)

Toetsing gegevens volgens Waterbodemonormering regeringsbeslissing ENW

Aangepaste beoordeling interventiewaarde PAK

Locatie: 58^E0570 (0,5 - 1,0 m) Tegelen dd. 1-12-98

Fractieverdeling	< 210 µm (% op ds):	58
	< 63 µm	24
	< 50 µm	23
	< 16 µm	19

Gebruikte grootheden voor standaardisatie van gehalten:

- Het org. Stofgehalte is berekend mbv. (100-gloeirest) * 0.90 = 1.51% (gerekend met 2.00%)

- Het lutumgehalte is berekend: 0.63 * perc. < 16 µm = 11.97 %

Stof	gemeten gehalte	gestand gehalte	klasse	overschrijding klassegrens (%)
Metalen (mg/kg)				
Cd	< 0.20	< 0.30	0	
Hg	< 0.10	< 0.12	0	
Cr	11.00	16.94	0	
Cu	32.00	50.98	3	13
Ni	48.00	63.78	0	
Pb	92.00	144.87	1	3
Zn	32.00	43.28	0	
As	12.50	17.61	0	
EOX (mg/kg)	< 0.10	< 0.50	<=2	
PAK's (mg/kg)				
Som 10 PAK's	< 0.20	< 1.00	0	
Chloorbenzenen (µg/kg)				
PentaClbenzeen	< 1.00	< 5.00	<=1	
HexaClbenzeen	< 1.00	< 5.00	<=2	
Chloorbenzenen	< 2.00	< 10.00	0	
PCB's (µg/kg)				
PCB28	< 1.00	< 5.00	<=2	
PCB52	< 1.00	< 5.00	<=2	
PCB101	< 1.00	< 5.00	<=2	
PCB118	< 1.00	< 5.00	<=2	
PCB138	< 1.00	< 5.00	<=2	
PCB153	< 1.00	< 5.00	<=2	
PCB180	< 1.00	< 5.00	<=2	
Som PCB's (6)	< 6.00	< 30.00	<=1	
Som PCB's (7)	< 7.00	< 35.00	0	
Bestrijdingsmiddelen (µg/kg)				
Aldrin	< 1.00	< 5.00	<=1	
Dieldrin	1.40	7.00	1	1300
Som Al/D	1.40	7.00	0	
Endrin	< 1.00	< 5.00	<=1	
Drins	1.40	7.00	0	
DDT(incl DDD/DDE)	41.90	9.50	1	280
α-Endosulfan	< 1.00	< 5.00	<=1	
α-HCH	< 1.00	< 5.00	<=1	
β-HCH	< 1.00	< 5.00	<=1	
γ-HCH	< 1.00	< 5.00	<=2	
HCH-verbindingen	< 4.00	< 20.00	0	

Heptachloor	< 1.00	< 5.00	<=1
Heptachloor & epox	< 1.00	< 5.00	0
Chloordaan	< 2.00	< 10.00	0
Hexachloorbutadieen	< 1.00	< 5.00	<=1
Som pesticiden	< 3.30	16.50	0

Overige stoffen (µg/kg)			
Minerale olie (GC)	< 20.00	< 100.00	<=1

Eindoordeel is 2 (metalen 3 organische micro's 1)

Toetsing gegevens volgens Waterbodemonnumering regeringsbeslissing ENW

Aangepaste beoordeling interventiewaarde PAK

Locatie: 52^E0948 (0,0 - 0,5 m) Arcen dd. 1-12-98

Fractieverdeling	< 210 µm (% op ds):	61
	< 63 µm	51
	< 50 µm	50
	< 16 µm	38

Gebruikte grootheden voor standaardisatie van gehalten:

- Het org. stofgehalte is berekend mbv. (100-gloeirest) * 0.90 = 11.38%

- Het lutumgehalte is berekend: 0.63 * perc. < 16 µm = 23.94 %

Stof	gemeten gehalte	gestand gehalte	klasse	overschrijding klassegrens (%)
Metalen (mg/kg)				
Cd	19.50	18.98	4	58
Hg	2.90	2.91	3	82
Cu	180.00	179.06	3	99
Ni	52.00	53.62	3	19
Pb	430.00	428.41	1	404
Zn	1400.00	1411.26	4	96
Cr	120.00	122.60	1	23
As	33.00	32.86	1	13
EOX (mg/kg)	4.20	3.69	2	
PAK's (mg/kg)				
Som 10 PAK's	12.38	10.88	3	9
Chloorbenzenen (µg/kg)				
PentaClbenzeen	12.50	10.99	1	340
HexaClbenzeen	96.00	84.39	3	320
Chloorbenzenen	108.50	95.38	0	
PCB's (µg/kg)				
PCB28	7.00	6.15	2	54
PCB52	6.70	5.89	2	47
PCB101	21.00	18.46	2	362
PCB118	14.00	12.31	2	208
PCB138	< 150.00	131.87	3	340
PCB153	66.00	58.02	3	93
PCB180	79.00	69.45	3	131
Som PCB's (6)	329.70	289.04	1	1349
Som PCB's (7)	343.70	302.15	3	51
Bestrijdingsmiddelen (µg/kg)				
Aldrin	< 1.00	< 0.88	0	
Dieldrin	8.20	7.21	1	342
Som Al/D	8.20	7.21	0	
Endrin	3.70	3.25	1	225
Drins	11.90	10.46	0	
DDT(incl DDD/DDE)	16.30	14.33	2	43
α-Endosulfan	< 1.00	< 0.88	0	
α-HCH	< 1.00	< 0.88	0	
β-HCH	< 1.00	< 0.88	0	
γ-HCH	< 1.00	< 0.88	<=1	
HCH-verbindingen	< 4.00	< 3.52	0	
Heptachloor	< 1.00	< 0.88	0	

Heptachloor & epox	< 1.00	< 0.88	0	
Chloordaan	2.00	1.76	0	
Hexachloorbutadieen	10.50	9.23	1	269
Som pesticiden	147.20	129.41	3	29
Overige stoffen (µg/kg)				
Minerale olie (GC)	460.00	404.39	1	709

Eindoordeel is 4 (metalen 4; organische micro's 3) Geen overschrijding signaleringswaarde metalen

Toetsing gegevens volgens Waterbodemonormering regeringsbeslissing ENW

Aangepaste beoordeling interventiewaarde PAK

Locatie: 52^E0987 (0,0 - 0,5 m) Well dd. 1-12-98

Fractieverdeling	< 210 µm (% op ds):	<2,0
	< 63 µm	<2,0
	< 50 µm	<2,0
	< 16 µm	<2,0

Gebruikte grootheden voor standaardisatie van gehalten:

- Het org. stofgehalte is berekend mbv. (100-gloeirest) * 0.90 = 8.86%

- Het lutumgehalte is berekend: 0.63 * perc. < 16 µm = <2.00 % (gerekend met 3%)

Stof	gemeten gehalte	gestand gehalte	klasse	overschrijding klassegrens (%)
Metalen (mg/kg)				
Cd	10.50	13.58	4	13
Hg	1.30	1.74	3	9
Cu	115.00	187.22	3	108
Ni	40.00	107.69	3	139
Pb	250.00	343.54	1	304
Zn	890.00	1723.76	4	135
Cr	82.00	146.43	1	46
As	19.50	28.64	0	
EOX (mg/kg)	2.60	2.94	2	
PAK's (mg/kg)				
Som 10 PAK's	8.92	10.07	3	1
Chloorbenzenen (µg/kg)				
PentaClbenzeen	3.80	4.29	1	72
HexaClbenzeen	14.00	15.81	2	295
Chloorbenzenen	17.80	20.10	0	
PCB's (µg/kg)				
PCB28	2.40	2.71	1	171
PCB52	4.80	5.42	2	36
PCB101	9.70	10.95	2	174
PCB118	6.80	7.68	2	92
PCB138	76.00	85.82	3	186
PCB153	33.00	37.26	3	24
PCB180	31.00	35.00	3	17
Som PCB's (6)	156.90	177.17	1	786
Som PCB's (7)	163.70	184.85	0	
Bestrijdingsmiddelen (µg/kg)				
Aldrin	< 1.00	< 1.13	0	
Dieldrin	6.40	7.23	1	1345
Som Al/D	6.40	7.23	0	
Endrin	3.10	3.50	1	250
Drins	9.50	10.73	0	
DDT(incl DDD/DDE)	10.30	11.63	2	16
α-Endosulfan	< 1.00	< 1.13	0	
α-HCH	< 1.00	< 1.13	0	
β-HCH	< 1.00	< 1.13	<=1	
γ-HCH	< 1.00	< 1.13	<=2	
HCH-verbindingen	< 4.00	< 4.52	0	
Heptachloor	< 1.00	< 1.13	0	

Heptachloor & epox	< 1.00	< 1.13	0	
Chloordaan	< 2.00	< 2.26	0	
Hexachloorbutadieen	5.70	6.44	1	157
Som pesticiden	43.30	48.89	0	
Overige stoffen (µg/kg)				
Minerale olie (GC)	350.00	395.21	1	690

Eindoordeel is 4 (metalen 4; organische micro's 2) Geen overschrijding signaleringswaarde metalen

Toetsing gegevens volgens Waterbodemonormering regeringsbeslissing ENW

Aangepaste beoordeling interventiewaarde PAK

Locatie: 52^E1040 (0,0 - 0,5 m) Maashees (to. Aijen)

dd. 1-12-98

Fractieverdeling	< 210 µm (% op ds):	81
	< 63 µm	49
	< 50 µm	48
	< 16 µm	34

Gebruikte grootheden voor standaardisatie van gehalten:

- Het org. stofgehalte is berekend mbv. (100-gloeirest) * 0.90 = 9.24%

- Het lutumgehalte is berekend: 0.63 * perc. < 16 µm = 21.42 %

Stof	gemeten gehalte	gestand gehalte	klasse	overschrijding klassegrens (%)
Metalen (mg/kg)				
Cd	4.30	4.54	2	127
Hg	<0.10	<0.10	0	
Cu	70.00	75.46	2	116
Ni	37.00	41.22	2	18
Pb	250.00	263.46	1	210
Zn	700.00	764.92	4	6
Cr	49.00	52.78	0	
As	19.00	20.21	0	
EOX (mg/kg)	0.50	0.54	2	
PAK's (mg/kg)				
Som 10 PAK's	3.15	3.41	2	241
Chloorbenzenen (µg/kg)				
PentaClbenzeen	1.00	1.08	0	
HexaClbenzeen	6.40	6.93	2	73
Chloorbenzenen	7.40	8.01	0	
PCB's (µg/kg)				
PCB28	< 1.00	< 1.08	<=1	
PCB52	5.30	5.74	2	43
PCB101	< 1.00	< 1.08	0	
PCB118	< 1.00	< 1.08	0	
PCB138	< 1.00	< 1.08	0	
PCB153	< 1.00	< 1.08	0	
PCB180	< 1.00	< 1.08	0	
Som PCB's (6)	5.30	5.74	0	
Som PCB's (7)	5.30	5.74	0	
Bestrijdingsmiddelen (µg/kg)				
Aldrin	< 1.00	< 1.08	0	
Dieldrin	< 1.00	< 1.08	<=1	
Som Al/D	< 2.00	< 2.16	0	
Endrin	< 1.00	< 1.08	<=1	
Drins	< 3.00	< 3.25	0	
DDT(incl DDD/DDE)	4.80	5.20	1	108
α-Endosulfan	< 1.00	< 1.08	0	
α-HCH	< 1.00	< 1.08	0	
β-HCH	< 1.00	< 1.08	<=1	
γ-HCH	< 1.00	< 1.08	<=2	
HCH-verbindingen	< 4.00	< 4.33	0	
Heptachloor	< 1.00	< 1.08	0	

Heptachloor & epox	< 1.00	< 1.08	0	
Chloordaan	< 2.00	< 2.16	0	
Hexachloorbutadieen	< 1.00	< 1.08	0	
Som pesticiden	< 12.00	13.21	0	
Overige stoffen (µg/kg)				
Minerale olie (GC)	76.00	82.26	1	65

Eindoordeel is 4 (metalen 4; organische micro's 2) Geen overschrijding signaleringswaarde metalen

Toetsing gegevens volgens Waterbodemonormering regeringsbeslissing ENW

Aangepaste beoordeling interventiewaarde PAK

Locatie: 52^E1016 (0,0 - 0,5 m) Aijen (zuid)

dd. 1-12-98

Fractieverdeling	< 210 µm (% op ds):	94
	< 63 µm	89
	< 50 µm	88
	< 16 µm	70

Gebruikte grootheden voor standaardisatie van gehalten:

- Het org. stofgehalte is berekend mbv. (100-gloeirest) * 0.90 = 7.36%

- Het lutumgehalte is berekend: 0.63 * perc. < 16 µm = 44.10 %

Stof	gemeten gehalte	gestand gehalte	klasse	overschrijding klassegrens (%)
Metalen (mg/kg)				
Cd	1.10	1.00	1	25
Hg	0.23	0.19	0	
Cu	41.00	32.17	0	
Ni	43.00	27.82	0	
Pb	135.00	113.10	1	33
Zn	350.00	253.44	1	81
Cr	49.00	35.46	0	
As	18.00	14.67	0	
EOX (mg/kg)	0.30	0.41	2	
PAK's (mg/kg)				
Som 10 PAK's	0.80	1.09	2	9
Chloorbenzenen (µg/kg)				
PentaClbenzeen	< 1.00	< 1.36	0	
HexaClbenzeen	< 1.00	< 1.36	0	
Chloorbenzenen	< 2.00	< 2.72	0	
PCB's (µg/kg)				
PCB28	< 1.00	< 1.36	<=1	
PCB52	< 1.00	< 1.36	<=1	
PCB101	< 1.00	< 1.36	0	
PCB118	< 1.00	< 1.36	0	
PCB138	< 1.00	< 1.36	0	
PCB153	< 1.00	< 1.36	0	
PCB180	< 1.00	< 1.36	0	
Som PCB's (6)	< 6.00	< 8.15	0	
Som PCB's (7)	< 7.00	< 9.51	0	
Bestrijdingsmiddelen (µg/kg)				
Aldrin	< 1.00	< 1.36	0	
Dieldrin	< 1.00	< 1.36	<=1	
Som Al/D	< 2.00	< 2.72	0	
Endrin	< 1.00	< 1.36	<=1	
Drins	< 3.00	< 4.08	0	
DDT(incl DDD/DDE)	< 6.00	< 8.15	<=1	
α-Endosulfan	< 1.00	< 1.36	0	
α-HCH	< 1.00	< 1.36	0	
β-HCH	< 1.00	< 1.36	<=1	
γ-HCH	< 1.00	< 1.36	<=2	
HCH-verbindingen	< 4.00	< 5.44	0	
Heptachloor	< 1.00	< 1.36	0	

Heptachloor & epox	< 1.00	< 1.36	0	
Chloordaan	< 2.00	< 2.72	0	
Hexachloorbutadieen	< 1.00	< 1.36	0	
Som pesticiden	< 17.00	23.10	0	
Overige stoffen (µg/kg)				
Minerale olie (GC)	46.00	62.51	1	25

Eindoordeel is 2 (metalen 1; organische micro's 0) Geen overschrijding signaleringswaarde metalen

Toetsing gegevens volgens Waterbodemonormering regeringsbeslissing ENW

Aangepaste beoordeling interventiewaarde PAK

Locatie: 52^E1016 (0,7 - 1,0 m) Aijen (zuid)

dd. 1-12-98

Fractieverdeling < 210 µm (% op ds): 71
 < 63 µm 54
 < 50 µm 53
 < 16 µm 35

Gebruikte grootheden voor standaardisatie van gehalten:

- Het org. stofgehalte is berekend mbv. (100-gloeirest) * 0.90 = 10.71 %

- Het lutumgehalte is berekend: 0.63 * perc. < 16 µm = 22.05 %

Stof	gemeten gehalte	gestand gehalte	klasse	overschrijding klassegrens (%)
Metalen (mg/kg)				
Cd	17.50	17.63	4	47
Hg	2.60	2.68	3	67
Cu	155.00	161.02	3	79
Ni	46.00	50.23	3	12
Pb	350.00	359.49	1	323
Zn	1250.00	1323.67	4	84
Cr	110.00	116.90	1	17
As	28.00	28.89	0	
EOX (mg/kg)	2.80	2.62	2	
PAK's (mg/kg)				
Som 10 PAK's	11.27	10.53	3	5
Chloorbenzenen (µg/kg)				
PentaClbenzeen	10.50	9.81	1	292
HexaClbenzeen	115.00	107.42	3	437
Chloorbenzenen	125.50	117.23	0	
PCB's (µg/kg)				
PCB28	< 1.00	< 0.93	0	
PCB52	12.50	11.68	2	192
PCB101	< 1.00	< 0.93	0	
PCB118	< 1.00	< 0.93	0	
PCB138	100.00	93.41	3	211
PCB153	94.00	87.81	3	193
PCB180	76.00	70.99	3	137
Som PCB's (6)	282.50	263.88	1	1219
Som PCB's (7)	282.50	263.88	3	32
Bestrijdingsmiddelen (µg/kg)				
Aldrin	1.00	0.93	0	
Dieldrin	< 1.00	< 0.93	<=1	
Som Al/D	1.00	0.93	0	
Endrin	8.00	7.47	1	647
Drins	9.00	8.41	0	
DDT(incl DDD/DDE)	28.20	26.34	3	32
α-Endosulfan	< 1.00	< 0.93	0	
α-HCH	< 1.00	< 0.93	0	
β-HCH	< 1.00	< 0.93	0	
γ-HCH	< 1.00	< 0.93	<=1	
HCH-verbindingen	< 4.00	< 3.74	0	
Heptachloor	< 1.00	< 0.93	0	

Heptachloor & epox	< 1.00	< 0.93	0	
Chloordaan	< 2.00	< 1.87	0	
Hexachloorbutadieen	15.00	14.01	1	460
Som pesticiden	177.70	165.99	3	66
Overige stoffen (µg/kg)				
Minerale olie (GC)	390.00	364.30	1	629

Eindoordeel is 4 (metalen 4; organische micro's 3) Geen overschrijding signaleringswaarde metalen

Toetsing gegevens volgens Waterbodemonormering regeringsbeslissing ENW

Aangepaste beoordeling interventiewaarde PAK

Locatie: 46^D0560 (0,0 - 0,4 m) Aijen (noord) dd. 1-12-98

Fractieverdeling	< 210 µm (% op ds):	68
	< 63 µm	41
	< 50 µm	41
	< 16 µm	39

Gebruikte grootheden voor standaardisatie van gehalten:

- Het org. stofgehalte is berekend mbv. (100-gloeirest) * 0.90 = 7.67%

- Het lutumgehalte is berekend: 0.63 * perc. < 16 µm = 26.00%

Stof	gemeten gehalte	gestand gehalte	klasse	overschrijding klassegrens (%)
Metale (mg/kg)				
Cd	3.30	3.49	2	74
Hg	0.58	0.58	2	16
Cu	67.00	68.52	2	96
Ni	36.00	35.00	0	
Pb	250.00	253.98	1	199
Zn	650.00	652.32	2	36
Cr	43.00	42.16	0	
As	19.50	19.86	0	
EOX (mg/kg)	0.30	0.39	2	
PAK's (mg/kg)				
Som 10 PAK's	2.27	2.96	2	196
Chloorbenzenen (µg/kg)				
PentaClbenzeen	< 1.00	< 1.30	0	
HexaClbenzeen	1.00	1.30	0	
Chloorbenzenen	1.00	1.30	0	
PCB's (µg/kg)				
PCB28	< 1.00	< 1.30	<=1	
PCB52	< 1.00	< 1.30	<=1	
PCB101	1.10	1.43	0	
PCB118	1.50	1.96	0	
PCB138	3.20	4.17	2	4
PCB153	4.70	6.13	2	53
PCB180	2.90	3.78	0	
Som PCB's (6)	11.90	15.52	0	
Som PCB's (7)	13.40	17.48	0	
Bestrijdingsmiddelen (µg/kg)				
Aldrin	< 1.00	< 1.30	0	
Dieldrin	< 1.00	< 1.30	<=1	
Som Al/D	< 2.00	< 2.61	0	
Endrin	< 1.00	< 1.30	<=1	
Drins	< 3.00	< 3.91	0	
DDT(incl DDD/DDE)	< 6.00	< 7.82	<=1	
α-Endosulfan	< 1.00	< 1.30	0	
α-HCH	< 1.00	< 1.30	0	
β-HCH	< 1.00	< 1.30	<=1	
γ-HCH	2.20	2.87	2	187
HCH-verbindingen	2.20	2.87	0	
Heptachloor	< 1.00	< 1.30	0	

Heptachloor & epox	< 1.00	< 1.30	0	
Chloordaan	< 2.00	< 2.61	0	
Hexachloorbutadieen	< 1.00	< 1.30	0	
Som pesticiden	3.20	4.17	0	
Overige stoffen (µg/kg)				
Minerale olie (GC)	66.00	86.07	1	72

Eindoordeel is 2 (metalen 2; organische micro's 2) Geen overschrijding signaleringswaarde metalen

Toetsing gegevens volgens Waterbodemonormering regeringsbeslissing ENW

Aangepaste beoordeling interventiewaarde PAK

Locatie: 46^D0560 (0,5 - 1,0 m) Aijen (noord)

dd. 1-12-98

Fractieverdeling	< 210 µm (% op ds):	79
	< 63 µm	57
	< 50 µm	57
	< 16 µm	46

Gebruikte grootheden voor standaardisatie van gehalten:

- Het org. stofgehalte is berekend mbv. (100-gloeirest) * 0.90 = 4.47%

- Het lutumgehalte is berekend: 0.63 * perc. < 16 µm = 28.98 %

Stof	gemeten gehalte	gestand gehalte	klasse	overschrijding klassegrens (%)
Metalen (mg/kg)				
Cd	0.49	0.56	0	
Hg	0.11	0.11	0	
Cu	26.00	26.69	0	
Ni	38.00	34.12	0	
Pb	70.00	71.30	0	
Zn	210.00	204.69	1	46
Cr	46.00	42.61	0	
As	12.00	12.26	0	
EOX (mg/kg)	< 0.10	< 0.22	<=2	
PAK's (mg/kg)				
Som 10 PAK's	0.24	0.54	0	
Chloorbenzenen (µg/kg)				
PentaClbenzeen	< 1.00	< 2.24	0	
HexaClbenzeen	< 1.00	< 2.24	0	
Chloorbenzenen	< 2.00	< 4.48	0	
PCB's (µg/kg)				
PCB28	< 1.00	< 2.24	<=1	
PCB52	< 1.00	< 2.24	<=1	
PCB101	< 1.00	< 2.24	0	
PCB118	< 1.00	< 2.24	0	
PCB138	< 1.00	< 2.24	0	
PCB153	< 1.00	< 2.24	0	
PCB180	< 1.00	< 2.24	0	
Som PCB's (6)	< 6.00	<13.43	0	
Som PCB's (7)	< 7.00	< 15.67	0	
Bestrijdingsmiddelen (µg/kg)				
Aldrin	< 1.00	< 2.24	0	
Dieldrin	< 1.00	< 2.24	<=1	
Som Al/D	< 2.00	< 4.48	0	
Endrin	< 1.00	< 2.24	<=1	
Drins	< 3.00	< 6.72	0	
DDT(incl DDD/DDE)	< 6.00	< 13.43	<=2	
α-Endosulfan	< 1.00	< 2.24	0	
α-HCH	< 1.00	< 2.24	0	
β-HCH	< 1.00	< 2.24	<=1	
γ-HCH	< 1.00	< 2.24	<=2	
HCH-verbindingen	< 4.00	< 8.95	0	
Heptachloor	< 1.00	< 2.24	0	

Heptachloor & epox	< 1.00	< 2.24	0
Chloordaan	< 2.00	< 4.48	0
Hexachloorbutadieen	< 1.00	< 2.24	0
Som pesticiden	< 17.00	< 38.05	0
Overige stoffen (µg/kg)			
Minerale olie (GC)	< 20.00	< 44.77	0

Eindoordeel is 0 (metalen 1; organische micro's 0) Geen overschrijding signaleringswaarde metalen

Bijlage 2: Chemische gegevens en classificatie van de gebruikte referentiewateren en –sediment

Stof	zwevend stof			1/11 – 29/12 -98		
	1-12-98		klasse	1/11 – 29/12 -98		klasse
	gemeten gehalte	gestand gehalte		gemeten gehalte	gestand gehalte	
Kgf 16 (%)	56			61		
Kgf 2 (%)	31.6			34		
OC (%)	6.1			5.7		
Metalen (mg/kg)						
Cd	5	4.7	2	5	4.6	2
Hg	0.8	0.74	2	0.5	0.45	1
Cu	90	80.5	2	87.5	75.9	2
Ni	29	24.4	0	32	25.2	0
Pb	150	138	1	145	130.8	1
Zn	750	654	2	725	604	2
Cr	36	31.8	0	36.5	32.4	0
As	-			-		
EOX (mg/kg)	-			-		
PAK's (mg/kg)						
Som 10 PAK's	8.3	7.9	2	8.2	8.5	2
Chloorbenzenen (µg/kg)						
PentaClbenzeen	-			-		
HexaClbenzeen	3.2	3	1	2.9	3	1
Chloorbenzenen	14.7	14	0	9.4	9.6	0
PCB's (µg/kg)						
Som PCB's (6)	43.2	41.1	1	50.4	51.7	1
Som PCB's (7)	48.7	46.3	0	55.6	57	0
Bestrijdingsmiddelen (µg/kg)						
Drins	< 3.00	< 2.85	0	<3.00	<3.00	0
DDT(incl DDD/DDE)	1.6	3.42	1	3.45	3.5	1
α-Endosulfan	< 1.00	< 0.95	0	<1.00	<1.03	0
α-HCH	< 1.00	< 0.48	0	<0.50	<0.51	0
β-HCH	< 1.00	< 0.95	0	<1.00	<1.03	1
γ-HCH	< 1.00	< 0.95	1	<1.00	<1.03	2
Heptachloor	< 0.50	< 0.48	0	<0.50	<0.51	0
Heptachloor & epox	< 0.50	< 0.48	0	<0.50	<0.51	0
Hexachloorbutadien	2	1.9	0	<1.00	<1.03	0
Overige stoffen (µg/kg)						
Minerale olie (GC)	1100	1046	2	770	790	1
Eindoordeel			2			2

Opp water Eijsden**1-12-98**

TOC (mg/l)	4
DOC (mg/l)	2
ZS (mg/l)	18.5

	gehalte (µg/l)	
	Totaal	Opgelost
Cd	0.33	0.04
Hg	0.03	<0.001
Cu	3.5	1.4
Ni	2.5	1.5
Pb	5.9	0.1
Zn	42	7.5
Cr	2.7	0.9
As	0.94	-

Gegevens referentiesediment Oostvaardersplassen

Stof	10-98 gemeten gehalte
------	-----------------------------

Kgf 16 (%)	55.1
Kgf 2 (%)	28
OC (%)	11

Metalen (mg/kg)

Cd	0.6
Hg	0.33
Cu	21
Ni	22
Pb	49
Zn	180
Cr	37
As	21

EOX (mg/kg)	-0.4
-------------	------

PAK's (mg/kg)

Som 10 PAK's	1.0
--------------	-----

Chloorbenzenen (µg/kg)

PentaClbenzeen	3
HexaClbenzeen	4
Chloorbenzenen	7

PCB's (µg/kg)

Som PCB's (6)	34
Som PCB's (7)	41

Bestrijdingsmiddelen (µg/kg)

Drins	< 3.00
DDT(incl DDD/DDE)	5
α-Endosulfan	< 1.00
α-HCH	< 1.00
β-HCH	< 1.00
γ-HCH	3.00
Heptachloor	< 1.00
Heptachloor & epox	< 1.00
Hexachloorbutadieen	2

Overige stoffen (µg/kg)

Minerale olie (GC)	270
--------------------	-----

Bijlage 3: Analysegegevens (totaal en opgelost) van zware metalen in elutriaten van suspensies van 150 g/l van de oevermaterialen Zandmaas met Maaswater.

Totaal gehalten

parmtr	eenhd	Mswt r	Tegel 0-0,5	Tegel 0,5-1	Arcen	Well	Maas hs	Aijen zd 0-0,5	Aijen zd 0,7-1	Aijen nrd 0-0,4	Aijen nrd 0,5-1	MTR	drinkwt rnorm
DOC	mg/l	4,1	7,0	8,6	9,3	8,8	18,5	6,3	10	7,7	4,5		
Cr	mg/l	<0,01	0,31	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,01	0,02	0,08	0,05
Ni	mg/l	<0,01	0,12	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,03	0,02	0,006	-
Cu	mg/l	<0,01	0,02	<0,01	0,02	0,01	0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,004	0,05
Zn	mg/l	0,08	0,11	0,07	0,13	0,21	0,12	0,03	0,12	0,08	0,12	0,04	0,2
As	µg/l	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	32	20
Cd	µg/l	1,1	<1	1,4	2,1	<1	<1	<1	2,5	1	<1	2	1,5
Pb	mg/l	<0,01	0,01	<0,01	0,02	0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,2	0,03
Hg	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,2	0,3
Sn	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		
Ca	mg/l	64	63	50	76	73	64	6,3	73	75	77		
Fe	mg/l	0,2	2,8	0,8	0,9	1,2	2,2	0,2	0,4	1,2	0,5		
P-tot	mg/l	0,22	11,5	0,13	0,4	0,32	0,33	0,12	0,18	0,21	0,05		
Cl	mg/l	39	37	38	38	37	39	60	37	39	39		
SO ₄	mg/l	36	35	36	39	37	37	37	39	38	39		

Opgeloste gehalten

parameter	eenheid	Maaswater	Tegelen 0-0,5	Tegelen 0,5-1	Arcen	Well	Maashee s	Aijen zd 0-0,5	Aijen zd 0,7-1	Aijen nrd 0-0,4	Aijen nrd 0,5-1
Cr	µg/l	<1	2,1	2,8	9,9	<1	9,7	5,3	13,5	2,0	4,6
Ni	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	7	<5	5,6	<5	<5
Cu	µg/l	5,1	<5	13	23	<5	23	<5	30	13,5	5,5
Zn	µg/l	15	<10	<10	51	26	100	<10	52	22	<10
As	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	6,6	<5	<5	<5	<5
Cd	µg/l	0,5	0,6	1	1,6	<0,4	1,3	0,9	1,7	0,7	0,7
Pb	µg/l	<5	<5	<5	7,6	<5	20	5	<5	<5	<5
Hg	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Sn	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ca	mg/l	83	<1	<1	66	7,8	60	2,7	67	94	71
Fe	mg/l	<0,1	0,7	0,9	0,6	0,2	3	0,6	0,4	0,9	0,4
P-tot	mg/l	0,24	0,75	<0,03	0,17	0,25	0,43	0,07	0,22	0,2	<0,03
Cl	mg/l	39	37	38	38	38	38	38	38	42	38
SO ₄	mg/l	36	35	37	39	37	37	37	40	39	39

Bijlage 4: Lijst met NOEC-waarden voor de berekening van Toxic Units.

Bron (Mulder, 1994).

Stof	NOEC Bioassay met <i>Daphnia</i> (mg/kg sediment)	NOEC Bioassay met <i>Chironomus</i> (mg/kg sediment)
As	4200	238
Cd	6,9	32
Cr	967	266
Cu	196,7	320
Hg	8,2	11,5
Pb	3840	4228
Ni	53,3	153
Zn	3080	5605
PCB28	>19	
PCB52	>39	
PCB101	>40	
PCB118	>360	24,9
PCB138	>77	
PCB153	>110	
PCB180	>160	
Fluorantheen	27,48	32,4
Benzo(k)fluorantheen	7,5	
Benzo(b)fluorantheen		
Benzo(a)pyreen	18,4	7,4
Benzo(ghi)peryleen	0,77	
Indeno(123cd)pyreen		
Naftaleen	3,3	15,6
Antraceen	8,28	3,1
Pyreen	15,2	9,5
Dibenzo(ah)antraceen	1,17	
Chryseen	37,2	
Fenantreen	21,3	49,6
Benzo(a)antraceen	28,5	
α -HCH	17,8	
β -HCH	138,3	
γ -HCH (lindaan)	4,6	0,037
Heptachloor	15,6	2,49
Heptachloorepoxide	42,1	7,0
Aldrin	2359	0,217
Dieldrin	1587	4,96
Endrin	0,387	0,016
DDD	22,3	121
DDE	0,12	596
DDT	1,94	11
HCB	6,1	18,9
α -Endosulfan	2,5	0,488
Hexachloorbutadien	17,2	
Pentachloorbenzeen	37,5	2
Chloordaan	178	
Pentachloorfenol	2,73	19,05

Stof	NOEC* Bioassay met <i>Daphnia</i> (µg/l)
------	--

As	3200
Cd	2.8
Cr	360
Cu	36
Hg	3.1
Pb	240
Ni	100
Zn	320

* - waarden afgeleid uit NOEC-waarden (µg/l) van Enserink et al. (1991)

Bijlage 5: Criteria en gemeten fysisch-chemische parameters in de testsystemen

Tabel 5 I: Bioassay met *C. riparius*; eipakketten en L₁-larven in elutriaat; L₂-L₄-larvale stadium in sed/water systeem

locatie	pH		O ₂ (mg/l; 20°C)		NO ₂ ⁻ (mg/l)		NH ₄ ⁺ (/NH ₃) (mg/l; pH8/20°C)		geleidbaarheid (mS/m)	
	elutriaat	sed/water	elutriaat	sed/wtr	elutriaat	sed/wtr	elutriaat	sed/wtr	elutriaat	sed/wtr
criterium	5 - 9		>3		≤20		< 32 (/ 1.2)		< 300 - < 1200	
referentie	7.5	7.4-7.6	4.2	2.7-5.4	0	0	10	10-30	45-53	
Tegelen (0-0,5)	7.9	7.4-7.9	3.4-5.0	3.6-7.5	0	0-20	0	0-30	42-48	
Tegelen (0,5- 1,0)	7.6	7.4-7.8	5.6	1.1-7.4	0	0	10	0-60	37-48	
Arcen	8.0	7.6-8.0	5.6	2.3-7.0	0	0-2	0-10	0-30	46-51	
Well	8.2	7.4-8.0	7.5	0.4-5.6	10-20	0-20	10	0-30	45-52	
Maashees	5.2	7.4-8.0	1.0-5.2	2.4-5.6	0	0	30	0-30	46-51	
Aijen zd (0-0,5)	7.9	7.5-8.0	4.3	1.7-7.2	0	0	10	10-30	43-49	
Aijen zd (0,7- 1,0)	7.8	7.5-7.8	4.8	1.8-6.2	0	0	10	0-60	44-50	
Aijen nrd (0-0,5)	7.9	7.6-8.0	5.0	1.7-6.4	0	0-20	10	10-30	46-52	
Aijen nrd (0,5- 1,0)	7.9	7.8-8.0	5.2	2.6-8.0	0	0	10	10-30	45-53	

grijs vlak betekent: gedeeltelijke overschrijding van de randvoorwaarde

Tabel 5 II: Bioassay met *D. magna*

	Uitgangsc. sed/maaswater (g/l)	elutriaat				
		pH	O ₂ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NH ₄ ⁺ /(NH ₃) (mg/l;pH8,0 ;20°C)	geleidbaarh eid (mS/m)
criterium		6 - 9	> 3	≤ 6	<32 (/1,2)	750
referentie medium		7.3-8.0	8.1-9.1	0	0	59-67
ref maaswater		7.8-8.4	8.2-9.2	0	0	45-53
Tegelen (0- 0,5)	60	7.4-8.4	8.1-8.8	0	0	41-48
	150	7.3-8.4	8.2-8.7	0	0	42-48
Tegelen (0,5-1,0)	60	7.3-8.4	8.2-9.1	0	0	36-47
	150	7.2-8.3	8.2-9.0	0	0	37-48
Arcen	60	7.5-8.4	8.1-8.9	0	0	43-50
	150	7.5-8.4	7.9-8.9	0	0	46-51
Well	60	7.6-8.4	8.2-8.8	0	0	43-50
	150	7.5-8.4	8.2-8.5	0	0	45-52
Maashees	60	7.4-8.4	7.9-9.2	0	0	43-51
	150	7.3-8.4	8.0-9.2	0	0	43-51
Aijen zd (0-0,5)	60	7.8-8.5	8.2-9.0	0	0	43-49
	150	7.8-8.5	8.2-8.6	0	0	43-49
Aijen zd (0,7-1,0)	60	7.6-8.5	8.1-8.7	0	0	39-49
	150	7.7-8.4	8.2-8.6	0	0	44-50
Aijen nrd (0-0,5)	60	7.9-8.5	8.1-8.8	0	0	44-50
	150	7.9-8.4	8.0-8.7	0	0	46-53
Aijen nrd (0,5-1,0)	60	7.9-8.4	8.1-9.1	0	0	42-51
	150	7.9-8.5	8.2-8.8	0	0	45-53

Bijlage 6: Resultaten van de bioassay met *C. riparius*

lokatie		aantal larven						gem. sterfte		gem. grvertr.		drooggew.(mg)				
		ing.	L2	L3	L4	pop	mug	dood	%	s.d.	%	s.d.	p.larve	p.lokatie	s.d	
referentie	I	25		4	20				1	24	19.9	32	12.65	0.694	0.734	0.056
	II	25		3	19				3							
	III	25		1	16				8							
	IV	25		0	13				12					0.773		
Tegelen (0-0,5)	I	25			0				25	100	0	100	0			
	II	25			0				25							
	III	25			0				25							
	IV	25			0				25							
Tegelen (0,5-1,0)	I	25		3	1				21	68	28.5	82	18.62		0.454	0.013
	II	25		0	0				25							
	III	25		6	8				11					0.36		
	IV	25		5	9				11					0.547		
Arcen	I	25		2	18				5	10	9.52	15	13.22	0.726	0.619	0.015
	II	25		2	19				4							
	III	25		1	23				1							
	IV	25		0	25				0					0.512		
Well.	I	25		0	25				0	8	7.3	16	10.83	0.669	0.661	0.011
	II	25		2	19				4							
	III	25		2	20				3					0.653		
	IV	25		4	20				1							
Maashees	I	25		1	19				5	30	14.1	32	11.31		1.096	
	II	25		0	15				10					1.096		
	III															
	IV															
Ayen zd (0-0,5)	I	25		1	11				13	58	17.7	67	11.02	0.713	1.036	0.046
	II	25		1	7				17							
	III	25		1	5				19					1.36		
	IV	25		6	9	1			9							
Ayen zd (0,7-1,0)	I	25		0	20				5	13	8.87	26	7.66	0.814	0.756	0.082
	II	25		9	16				0							
	III	25		3	18				4					0.698		
	IV	25		1	18	2			4							
Ayen nrd (0-0,4)	I	25		7	14	1			3	23	14.4	47	10.52	0.474	0.533	0.084
	II	25		3	11				11							
	III	25		10	10		1		4					0.593		
	IV	25		4	16				5							
Ayen nrd (0,5-1,0)	I	25		0	12				13	33	15.1	51	5.03	0.838	0.756	0.012
	II	25		7	11				7							
	III	25		4	12				9					0.675		
	IV	25		7	14				4							

Bijlage 7: Resultaten van de bioassay met *D. magna*

		Elendt									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-6											
7											
8		10	5	12	7	11	7	4	5	5	5
9											
10											
11		18	25	18	23	18	18	14	19	20	14
12											
13											
14		13	11			11					
15				10	6		3	8	5	5	9
16											
		0.350	0.358	0.348	0.307	0.315					

Rm: 0.336 ± 0.023

Reproduction: 33.9 ± 6.2

Tegelen (0-0,5)

		60 g/l									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2											
3-7			*								
8		5	5	*		9	10	11	15	17	11
9			*								
10		26	*	17							
11		3	30	*		32	28	26		22	26
12			*					19			
13			*	10							
14		5	12	*		8	9	9	4		
15			*							5	7
16			*	21							
		0.360	0.318	0.375	0.375	0.386					

Rm: 0.363 ± 0.027

Reproduction: 45.8 ± 4.9

Tegelen (0,5-1,0)

		60 g/l									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-6											
7											
8		8	7	8	11	8	5	15	9	8	8
9											
10			28								
11		29		24	19	22	26	22	18	25	23
12											
13											
14		10	11	11	11	11	11	1	10	12	5
15											
16											6
		0.374	0.362	0.349	0.369	0.357					

Rm: 0.362 ± 0.010

Reproduction: 42.2 ± 3.2

		Maaswater									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-6											
7											
8		18	17	13	11	16	19	15	20	19	19
9											
10											
11		25	23	22	29	26	28	25	21	20	21
12											
13		*									
14		*	6								14
15		*		7	4	4	4	8	4	3	
16		*									
		0.402	0.378	0.406	0.401	0.406					

Rm: 0.399 ± 0.012

Reproduction: 46.1 ± 3.9

		150 g/l									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2											
3-7											
8		27	7	9	7	12	6	8	8	8	12
9											
10											
11			26	26	31	23	29	28	30	22	23
12											
13											
14		14	12	8	12		5	7	7	10	
15						5		1			5
16											
		0.388	0.366	0.357	0.365	0.364					

Rm: 0.368 ± 0.012

Reproduction: 42.8 ± 3.3

		150 g/l									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-6											
7											
8		9	12	13	10	7	6	14	6		18
9											
10										26	
11		28	21	23	27	24	28	23	24		23
12											
13										13	
14		11	5	6	8	9	11		10		8
15								4			
16											
		0.371	0.376	0.352	0.365	0.348					

Rm: 0.362 ± 0.012

Reproduction: 42.7 ± 3.8

Arcen 60 g/l

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-6										
7										
8	9	8	11		9	8	7	7	15	7
9										
10				20						
11	32	28	23		23	26	28	26	18	20
12										
13										
14	11	6		6		14		10		9
15			5		6		7		8	
16							1			
	0.370	0.341	0.360	0.356	0.360					

Rm: 0.357 ± 0.010
 Reproduction: 40.8 ± 7.0

Well. 60 g/l

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-6										
7										
8	13	14	8	10	10	6	11	10	7	10
9										
10										
11	23	14	23	22	23	29	20	24	24	16
12										
13										
14	7		9	8				8	13	9
15		4			4	7	7			
16										
	0.375	0.359	0.357	0.365	0.352					

Rm: 0.362 ± 0.009
 Reproduction: 39.2 ± 3.8

Maashees 60 g/l

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-6										
7										
8	10	6		8	8	9	8	9		7
9										
10			12							2
11	25	27		24	29	25	24	24		22
12										
13										
14	15	12	6	16	12	14	16	13		14
15										
16										
	0.364	0.323	0.367	0.363	0.287					

Rm: 0.341 ± 0.035
 Reproduction: 39.7 ± 16.8

150 g/l

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-6										
7										
8	15	13	14	10	13	13	10	14	13	13
9										
10										
11	22	23	20	24	25	20	24	22	22	21
12										
13										
14		9		6				2		
15	6		3			9	3	8	6	8
16						1				
	0.385	0.372	0.378	0.374	0.377					

Rm: 0.377 ± 0.005
 Reproduction: 41.2 ± 3.2

150 g/l

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-6										
7										
8	7	8	12	9	7	5	7		7	
9										
10								23		23
11	26	26	24	27	27	30	27		29	2
12								3		
13										
14	8	15	9	10	8	18	10	9	12	8
15										
16							1			
	0.359	0.373	0.356	0.344	0.346					

Rm: 0.356 ± 0.012
 Reproduction: 43.3 ± 6.2

150 g/l

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-6										
7								*		
8	1	4	6	12	7	17	10	11	*	8
9								*		
10	31							*		
11		28	35	18	27	16	17	19	*	23
12								*		
13								*		
14	9	7	6	11	14	9	12	11	*	14
15						2	3	*		
16								*		
	0.348	0.366	0.376	0.361	0.222					

Rm: 0.335 ± 0.064
 Reproduction: 38.8 ± 13.9

Ayen zd (0-0,5)

60 g/l

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-6										
7										
8	6	8	8	16	9	5	11	6	15	7
9										
10	24									
11	1	25	22	16	26	26	20	29	15	3
12										
13										
14	11	12	17	5	12	8	9	13		
15									7	
16						1				
	0.364	0.371		0.355		0.362		0.335		

Rm: 0.357 ± 0.014 Reproduction: 39.3 ± 11.1 **Ayen zd (0,7-1,0)**

60 g/l

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-6										
7										
8	8	8	12	7	13	9	9		14	
9										
10	25	24		26	1			29		
11	1		20	1	20	26	21	2	11	
12										
13										
14	9	6		9	8	10		4	5	
15			5				4			
16										
	0.377	0.373		0.373		0.348		0.285		

Rm: 0.351 ± 0.039 Reproduction: 34.7 ± 13.1 **Ayen nrd (0-0,4)**

60 g/l

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-6										
7										
8	12	8	12	12	9	6	11	7	8	4
9										
10										
11	22	21	14	18	23	26	18	26	17	29
12										
13										
14	7	9				9		11		10
15			4	5	2		6		7	
16										
	0.362	0.360		0.352		0.357		0.341		

Rm: 0.354 ± 0.008 Reproduction: 37.3 ± 4.8

150 g/l

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-6										
7										
8	6		7	4	9	5	9	8	5	9
9										
10		28								
11	26	1	25	26	30	29	27	22	29	24
12										
13		11				1				
14	12		15	16	9	11	13	9	9	7
15										
16		23								
	0.354	0.349		0.362		0.362		0.355		

Rm: 0.356 ± 0.006 Reproduction: 46.5 ± 6.7

150 g/l

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-6										
7										
8		15	13	14	12	9	10	9	14	12
9										
10	24									
11	1	18	18	22	26	26	22	23	18	18
12										
13										
14	4		5	4	9	9	9	4		3
15		3							3	
16							1			1
	0.354	0.377		0.374		0.361		0.370		

Rm: 0.367 ± 0.010 Reproduction: 37.9 ± 5.3

150 g/l

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-6										
7										
8	8		6	9	5	12	7	7	12	5
9										
10	22	21								
11			20	26	24	21	26	24	19	23
12										
13		14								
14	8		12	8	15		13	10	7	9
15						7				
16										
	0.350	0.352		0.357		0.354		0.352		

Rm: 0.353 ± 0.003 Reproduction: 40.0 ± 3.5

Ayen nrd (0,5-1,0)

60 g/l

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8	5	7	8	10	12	7	13	13	15	14
9										
10										
11	29	26	25	27	28	33	27	26	29	25
12										
13										
14	13	13	14	12	8	13		9	6	
15							5			5
16										
	0.354	0.368		0.377	0.386	0.393				

Rm: 0.379 ± 0.015

Reproduction: 47.8 ± 2.6

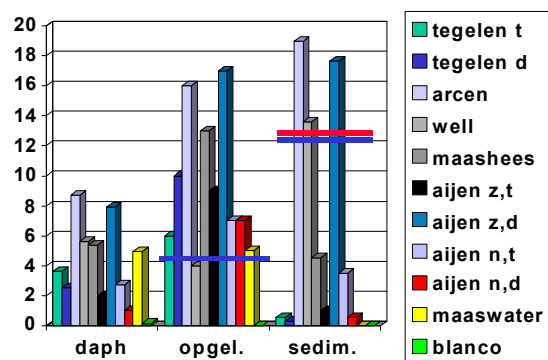
150 g/l

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8	7	7	6	11		8	6	8	5	
9										
10		3			28					26
11	32	27	31	29	1	28	29	29	33	
12										
13					11					18
14	9	13	12	10		13	11	14	15	
15										
16					20					
	0.366	0.372	0.361	0.363	0.354					

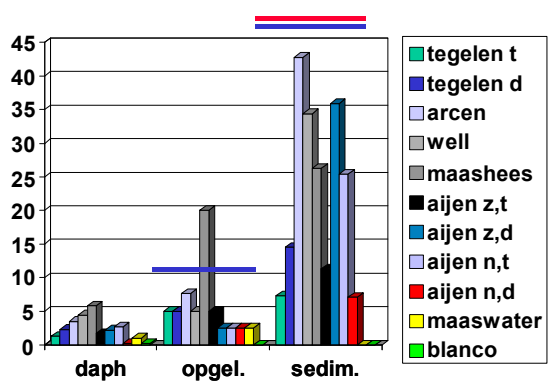
Rm: 0.363 ± 0.007

Reproduction: 50.0 ± 4.3

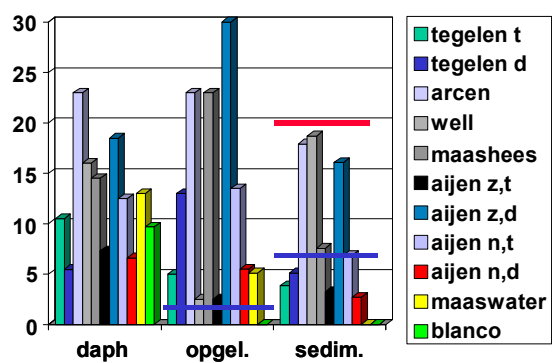
Bijlage 8: Weergave van de gehalten aan cadmium, lood, koper en zink in daphnia's (na test), oppervlaktewater (opgelost) en sediment.



oevererosie: cadmium
D: mg/kg dw; Opg: ug/l (x10); Sed: mg/kg dw

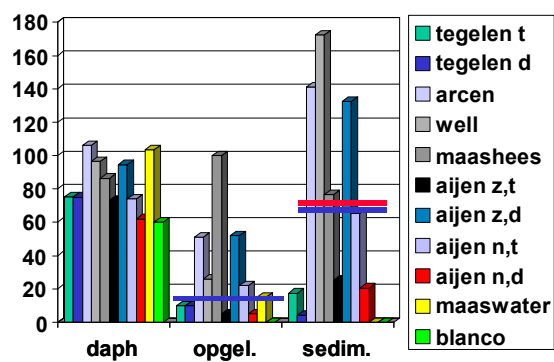


oevererosie: lood
D: mg/kg dw; Opg: ug/l; Sed: mg/kg dw (x0,1)



oevererosie: koper

D: mg/kg dw; Opg: ug/l; Sed: mg/kg dw (x 0,1)



oevererosie: zink

D: mg/kg dw; Opg: ug/l; Sed: mg/kg dw (x0,1)

