

Modellering van slibsedimentatie van zware-metalenbelasting in een uiterwaard langs de Waal

1. Inleiding

Milieukritische stoffen, waaronder zware metalen, worden voor een deel gebonden aan het zwevend stof, dat in suspensie wordt meegevoerd door het rivierwater. Gedurende hoogwaterafvoeren wordt het verontreinigd slib in de uiterwaarden afgezet [Salomons & De Groot, 1978, Salomons *et al.*, 1982, Zschuppe *et al.*, 1988, Van Broekhoven & Demon, 1989]. Sedimentatie van verontreinigd slib vormt in het algemeen de meest dominante factor voor bodemverontreiniging met zware metalen in uiterwaarden (zie tabel I).



DRS. M. VAN DER PERK
Vakgroep Fysische Geografie
Rijksuniversiteit Utrecht



DRS. A. C. D. ERTSEN
Interfacultaire vakgroep
Milieukunde
Rijksuniversiteit Utrecht



DR. W. BLEUTEN
Vakgroep Fysische Geografie
Rijksuniversiteit Utrecht

De mate waarin uiterwaarden belast worden met zware metalen is onder meer afhankelijk van de frequentie en de duur van overstroming, de zwevend-stof-concentratie en de concentratie van milieukritische stoffen in het rivierwater. De afzetting van slib en zware metalen is binnen uiterwaarden niet homogeen verdeeld. De mate waarin rivierwater in en uit kan stromen en de aanwezigheid van obstakels en depressies leidt tot variatie in dikte van de sedimentlagen. Ingrepen in de morfologie van de uiterwaarden en de hoogte en ligging van zomerkade en ook veranderingen in het afvoerregime van de rivier door klimaatverandering [Kwadijk, 1991], kunnen veranderingen veroorzaken in sedimentatie van slib en derhalve in de belasting van de uiterwaardbodem met milieukritische stoffen. Om inzicht te krijgen in de ruimtelijke verspreiding van slib en de daaraan gebonden milieukritische stoffen binnen uiterwaarden gedurende hoogwaterafvoeren in relatie tot de stromingscondities, is op verzoek van het Rijkswaterstaat/RIZA (voorheen Dienst Binnenwateren/RIZA) een modelstudie

Samenvatting

Sedimentatie van verontreinigd rivierslib vormt in het algemeen de voornaamste bron van zware metalen in een uiterwaardbodem. De afzetting van slib is binnen een uiterwaard echter niet homogeen verdeeld. In de Bemmelsche Waard is een modelstudie uitgevoerd naar het ruimtelijk verspreidingspatroon van afzetting van slib met daaraan gebonden zware metalen tijdens hoogwatergolven. Met behulp van een quasi-dynamisch twee-dimensionaal rekenmodel (SEDQUAL) is de sedimentatie berekend van slib en van de metalen koper, lood, zink en cadmium en ook de concentraties van de genoemde metalen in de toplaag van de uiterwaardbodem, op basis van stroomsnelheidsverdelingen binnen de uiterwaard gedurende hoogwater. De stroomsnelheidsverdelingen zijn verkregen als uitvoer van het model WAQUA-5. De met SEDQUAL gesimuleerde dikten van de sliblaag, afgezet tijdens de hoogwatergolf van maart-april 1988, blijken een redelijk goede correlatie te vertonen met de in het veld gemeten slibdikten. Met de beschikbare invoergegevens blijkt het niet goed mogelijk een goede voorspelling te maken van de concentraties van metalen in de toplaag van de bodem. Van de metalen koper en zink is echter een redelijk patroon berekend.

TABEL I – Bronnen van zware metalen in een uiterwaardbodem (in g/ha/jr).

	Zn	Cu	Pb	Cd
dierlijke mest ¹	111	69	–	0,7
kunstmest ²	3-60	1,5-12	0,3-3	0,3-3
atmosfeer ³	390	56	98	2,7
rivierwater ⁴	8.195	4.830	1.725	46,6

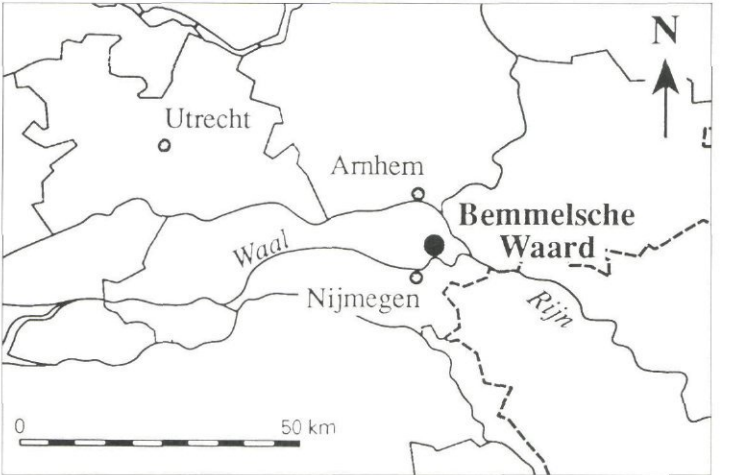
¹ Uitgaande van twee stuks rundvee en 0,1 stuks mestvarken per hectare [Ministerie van Landbouw en Visserij, 1987]
² [Tukkers en Roelofs, 1985]
³ Uitgaande van 1,5 mm/jr (= 17.250 kg/ha/jr) opslibbing en de volgende metaalconcentraties:
Zn = 475 µg/g Pb = 100 µg/g
Cu = 280 µg/g Cd = 2,7 µg/g
[Rijkswaterstaat, ongepubliceerd]

verricht. Hiertoe is een rekenmodel ontwikkeld, waarmee de ruimtelijke variatie van de depositie van slib en de daaraan gebonden zware metalen in een uiterwaard berekend kan worden.

Modelgebied

Het modelonderzoek is uitgevoerd in de Bemmelsche Waard. Deze ligt ten noord-oosten van Nijmegen in een buitenbocht van de Waal (zie afb. 1). Het landgebruik in de Bemmelsche Waard bestaat overwegend uit grasland. Het westelijk gedeelte van de zomerkade is over een lengte van ruim een kilometer

verlaagd aangelegd. De uiterwaard wordt bij hoogwater in eerste instantie via deze overlaat geïnundeerd. De overlaat heeft een kruinhoogte van 12,4 m + NAP. De Waal bereikt deze hoogte bij een afvoer bij Lobith van 6.425 m³/s. Bij een afvoer bij Lobith van groter dan 7.810 m³/s stijgt het water ook boven de zomerkade in het oosten van het gebied. De gehele uiterwaard vervult dan een afvoer- c.q. meestroomfunctie. Bij daling van de waterstand beneden de kruin van de oeverlaat, verlaat het water de uiterwaard door de uitwateringssluits met een beperkte capaciteit. Als dit nodig



Afb. 1 – Ligging van het onderzoeksgebied.

is, wordt het water versneld uitgelaten door een uitwateringsgemaal in werking te stellen.
De overstromingsfrequentie van de Bemmelsche Waard over de periode 1901-1984 bedraagt zesentachtig keer per honderd jaar.

Modelbeschrijving
Het model SEDQUAL is een quasi-dynamisch twee-dimensionaal reken-model, dat de ruimtelijke verspreiding van slib en de daaraan gebonden zware metalen in een uiterwaard tijdens hoogwatergolven en de concentratie van zware metalen in de toplaag van de bodem berekent. Het principe van het reken-model berust op horizontaal convectief slibtransport met het stromende rivierwater. Onder bepaalde randvoorwaarden vindt netto verticaal transport plaats dat resulteert in sedimentatie van een hoeveelheid gecontamineerd slib op de uiterwaarbodem.
SEDQUAL berekent zowel sedimentatie tijdens individuele hoogwatergolven als jaargemiddelden.
De invoerparameters zijn onder andere zwevend-stofgehalten en zware-metalen-concentraties in het rivierwater, stroomsnelheidsverdelingen en waterstanden in het winterbed van de Waal.
Geen rekening is gehouden met plaatselijke erosie en resuspensie in of buiten de uiterwaard.
De stroomsnelheidsverdelingen en waterstanden worden verkregen als uitvoer van WAQUA-5, een tweedimensionaal reken-model, dat bij de Rijkswaterstaat in gebruik is voor simulatie van de waterbeweging in de Nederlandse grote rivieren [Zeekant, 1987]. Met WAQUA-5 zijn vijf afvoeren stationair doorgerekend. Deze hoogwaterafvoeren worden representatief geacht voor de afvoerintervallen, zoals weergegeven in tabel II. Individuele hoogwatergolven worden gestimuleerd door deze in te delen in perioden op grond van de afvoerintervallen.
Het modelgebied is opgedeeld met behulp van een vierkant roosternet met een roosterbreedte van vijftig meter.

TABEL II – Hoogwaterafvoeren berekend met WAQUA-5 met afvoerintervallen.

Bovenrijn*	Afvoeren (m³/s)		Waterstanden (m + NAP)	
	Waal	Afvoerinterval	Lobith	Nijmegen
4.555 ¹	3.041	4.500- 4.988	12,90	10,72
5.220 ¹	3.470	4.988- 6.425	13,50	11,22
7.192 ²	4.765	6.425- 7.810	14,70	12,13
8.720 ³	5.740	7.810- 9.210	15,40	12,63
9.470 ³	6.220	9.210-13.000	15,70	12,86

* Lobith
¹ zomerkade wordt niet overstroomd; Bemmelsche Waard wordt niet geïnundeerd.
² overlaat wordt overstroomd; Bemmelsche Waard vervult bergingsfunctie voor water.
³ gehele zomerkade wordt overstroomd; Bemmelsche Waard vervult afvoer- c.q. meestroomfunctie.

Deze discretisatie is dezelfde als bij de berekening van de waterstanden en stroomsnelheden met WAQUA-5.

2. Berekening van sedimentatie van slib

Berekeningsmethode
In SEDQUAL worden drie korrelgroottefracties van zwevend stof onderscheiden: de fracties < 2 µm en 16-50 µm. Per korrelgroottefractie is een gemiddelde valsnelheid toegekend, die bepaald is volgens de formule van Stokes. Hierbij wordt geen rekening gehouden met flocculatie, waarbij meerdere zwevende stofdeeltjes tezamen een grotere vlok vormen met een grotere valsnelheid dan de afzonderlijke deeltjes. In tabel III zijn de gemiddelde valsnelheden van de onderscheiden korrelgroottefracties weergegeven.

TABEL III – Valsnelheden van de diverse korrelgroottefracties volgens de formule van Stokes.

Fractie	Valsnelheid	Dichtheid
< 2 µm	0,03 m/dag	1.700 kg/m³
2-16 µm	1,22 m/dag	1.700 kg/m³
16-50 µm	29,8 m/dag	1.700 kg/m³

De verspreiding van het zwevend stof over het modelgebied wordt bepaald door per korrelgroottefractie de fluxdichtheid van het zwevend stof van modelement i-1 naar modelement i te berekenen volgens:

$$F_{i-1}(k) = V_{i-1} \star \frac{(H_{i-1} - X_{i-1}(k))}{H_i}$$
 (1)

Waarin:
F_{i-1}(k) = fluxdichtheid van zwevende stof in korrelgroottefractie K van modelement i-1 naar modelement i (M·T⁻¹·L⁻²)
C_{i-1}(k) = concentratie van fractie k in modelement i-1 (M·L⁻³)
H_i = waterhoogte in modelement i (L)
H_{i-1} = waterhoogte in modelement i-1 (L)
X_{i-1}(k) = hoogte waarover fractie k uitzakt in modelement i-1 (L)
V_{i-1} = snelheid in modelement i-1 in richting modelement (L·T⁻¹)

Als de snelheid in modelement i-1 kleiner is dan een opgegeven kritische snelheid V_{krit} wordt de lengte waarover de korrelgroottefractie k uitzakt in modelement i-1 berekend door de valsnelheid te vermenigvuldigen met de verblijftijd van het zwevend stof in element i-1.

Als de snelheid in modelement i groter is dan de kritische snelheid V_{krit} treedt geen uitzakking op. De verticaal afgelegde weg van het zwevend stof is dan kleiner of gelijk aan de waterkolom op het modelement. De concentratie in modelement i wordt bepaald door de som van de inkomende fluxen van de vier omliggende modelementen te delen door de som van de inkomende snelheden:

$$C_i(k) = \sum_{n=1}^4 F_n(k) / \sum_{n=1}^4 V_n$$
 (2)

Op de bovenstroomse modelrand wordt de concentratie gelijk gesteld aan de concentratie in het rivierwater.
In modelementen waar de snelheid kleiner is dan de kritische snelheid V_{krit} wordt de hoeveelheid te sedimenteren slib benaderd door:

$$SL(k) = D \star W(k) \star C(k)$$
 (3)

Waarin:
W(k) = valsnelheid van fractie k (L·T⁻¹)
SL(k) = hoeveelheid gesedimenteerd slib in fractie K (M·L⁻²)
D = duur van de periode (T)

Om de totale sedimentatie gedurende een hoogwatergolf te berekenen, wordt deze opgedeeld in tijdperioden overeenkomend met de afvoerintervallen vermeld in tabel II. Het gesedimenteerde slib wordt gesommeerd voor alle onderscheiden perioden van een hoogwatergolf. De totale hoeveelheid gesedimenteerd slib wordt met behulp van de dichtheid van het slib (= 1,15 g/cm³) omgerekend naar slibdikten.

Kalibratie
Na afloop van de hoogwatergolf van maart-april 1988 zijn de dikten van het tijdens het hoogwater gesedimenteerde slib gemeten. De piekafvoer van deze hoogwatergolf werd gemeten op 30 maart 1988 en bedroeg bij Lobith 10.449 m³/s. Dit komt overeen met een waterstand van ongeveer 13,6 m + NAP ter hoogte van de overlaat in de Bemmelsche Waard. Na afloop van de hoogwatergolf zijn aan de hand van een gestratificeerde a-selecte steekproef [Cochran, 1977] over de hele uiterwaard de dikten van het vers afgezette slib gemeten. Deze slibdikten

zijn gecorrigeerd naar een vochtgehalte van 30% op grond van de in het veld onderscheiden vochtklassen. De dikte van de sliblaag blijkt op korte afstand een grote variatie te vertonen. Binnen twee meter kunnen de slibdikten een factor twee of meer verschillen. Zeer lokale ruwheidscondities, zoals microreliëf en dichtheid en hoogte van de vegetatie, zijn daarbij van invloed.

Voor de berekening van de sedimentatie tijdens de hoogwatergolf met SEDQUAL is de golf onderverdeeld in elf tijdperioden. De zwevend-stofgehalten tijdens de perioden zijn geschat door lineaire interpolatie tussen de veertien-daagse waarnemingen. De korrelgrootteverdelingen van het zwevend stof waren voor de gemodelleerde hoogwatergolf niet beschikbaar, maar zijn geschat met behulp van waarnemingen tijdens drie hoogwatergolven van voorjaar 1987. Deze hoogwatergolven hadden een piekafvoer te Lobith van respectievelijk 7.621 m³/s, 7.014 m³/s en 4.660 m³/s. Tussen de berekende en naar modelcoördinaten gemiddelde gemeten slibdikten is een lineaire regressie uitgevoerd. Het verband tussen de gemeten en berekende waarden is zwak (r = 0,57), doch significant (p < 0,01).

De oorzaak van het zwakke verband tussen gemeten en berekende slibdikten is dat in modelementen met slechts enkele veldwaarnemingen grote verschillen kunnen optreden tussen de gemeten slibdikten op de meetpunten en de berekende waarden die als gemiddelde voor het gehele modelement gelden als gevolg van de grote ruimtelijke variatie in de slibdikten. Door de slibsedimentatie met een vaste reductiefactor van 0,66 te vermenigvuldigen wordt bereikt dat de regressielijn door de oorspong een richtingscoëfficiënt van 1,0 heeft. Deze reductiefactor is bij verdere berekeningen gebruikt om te corrigeren voor niet gemodelleerde sedimentatievertragende processen, bijvoorbeeld windwerking.

3. Berekening van de zware-metalenbelasting en bodemkwaliteit
Berekeningsmethode

De belasting van de uiterwaardbodem met zware metalen wordt berekend aan de hand van de hoeveelheid gesedimenteerde slib en de concentratie van deze metalen in het rivierwater. De concentratie zware metalen geadsorbeerd aan het zwevend stof wordt berekend volgens [Waterloorkundig Laboratorium, 1985].

$$C_m = \alpha \star \frac{C_{zm}}{C_{zs}}$$
 (4)

Waarin:
C_m = gehalte van metaal gebonden aan zwevend stof (M·M⁻¹)
C_{zm} = metaalconcentratie in rivierwater (totaalconcentratie) (M·L⁻³)
C_{zs} = zwevend-stofconcentratie in rivierwater in fractie (M·L⁻³)
α = adsorptiegraad (-)

De adsorptie wordt bepaald met behulp van het zwevend-stofgehalte, waarbij een lineair verband tussen de adsorptiegraad en het zwevend-stofgehalte wordt verondersteld [Waterloorkundig Laboratorium, 1985]. Bij aanname dat al het geadsorbeerde metaal gebonden is aan de fractie kleiner dan 16 μm geldt:

$$ZM = (SL(<2\mu m) + SL(2-16\mu m)) \star C_m$$
 (5)

Waarin:
ZM = metaalbelasting van de uiterwaardbodem (M·L⁻²)

De metaalconcentraties in de toplaag van de bodem worden berekend aan de hand van [Rang *et al.*, 1985]:

$$C_b = C_m - (C_m - C_o) \star e^{-d/k}$$
 (6)

Waarin:
C_b = metaalconcentratie in toplaag bodem na opslibbing (M·M⁻¹)
C_o = metaalconcentratie voor opslibbing (M·M⁻¹)
d = opslibbing (M·L⁻²·T⁻¹)
k = bodembewerkingsfactor (L²·T·M⁻¹)

Uitgaande van een initiële concentratie in 1920, die voor het gehele gebied gelijk wordt verondersteld, zijn met tijdstappen van tien jaar de metaalconcentraties in de toplaag van de bodem in 1990 berekend. De bodembewerkingsfactor K is gedurende de berekening voor het gehele modelgebied constant. De waarde is met behulp van de 'trial and error' methode geschat op 7 · 10⁴ m²·dag·g⁻¹.

Resultaten modelberekening en vergelijking met veldmetingen

Om de gemiddelde jaarlijkse belasting van de Bemmelsche Waard met slib en zware metalen te bepalen zijn, op grond van hoogten van de zomerkaden en frequentie-analysen van afvoeren en afvoerpieken, een drietal synthetische hoogwatergolven samengesteld. De drie hoogwatergolven zijn:
lage golf (L) piekafvoer (Lobith) tussen 4.500 en 6.425 m³/s
middelhoge golf (M) piekafvoer (Lobith) tussen 6.425 en 7.810 m³/s
hoge golf (H) piekafvoer (Lobith) groter dan 7.810 m³/s

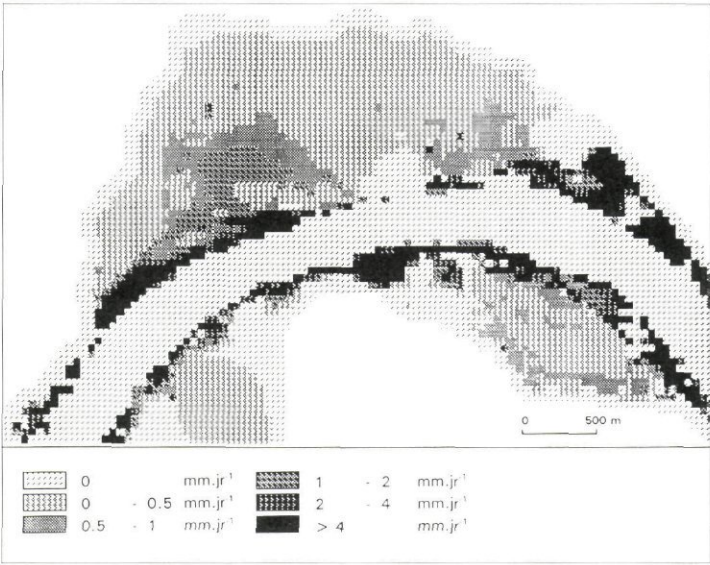
De drie hoogwatergolven worden elk representatief verondersteld voor de hoogwatergolven die binnen de genoemde piekafvoerintervallen optreden. Bij het samenstellen van de synthetische hoogwatergolven zijn de volgende aannamen gedaan:
– de piekafvoer van een hoogwatergolf is steeds groter dan 4.500 m³/s;
– de hoogwatergolf heeft slechts één afvoerpiek;
– 40% van de totale duur van de hoogwatergolf valt voor de afvoerpiek en 60% erna. Dit geldt ook voor de afzonderlijke afvoerintervallen.

De gemiddelde jaarlijkse belasting wordt berekend door de som van de belastingen tijdens de afzonderlijke golven te vermenigvuldigen met de frequentie van het type hoogwatergolf (jr⁻¹). Aangezien de kwaliteit van het zwevend stof en het sediment in de loop der tijd gevarieerd heeft, zijn voor per decennium (1920-1990) correctiefactoren berekend, die de gemiddelde hoeveelheid gebonden metaal aan zwevend stof in de modelberekening (gegevens 1987) corrigeren in de genoemde decennia. De zwevend-stofkwaliteit is bepaald aan de hand van gegevens over de sedimentkwaliteit in de periode 1920-1990 [Salomons *et al.*, 1982; Rijkswaterstaat, ongepubliceerd].

De initiële waarden van de concentraties van metalen in de toplaag van de bodem van de periode vóór 1920 zijn geschat aan de hand van de concentraties op plaatsen in gebieden, waar de opslibbing minimaal is.

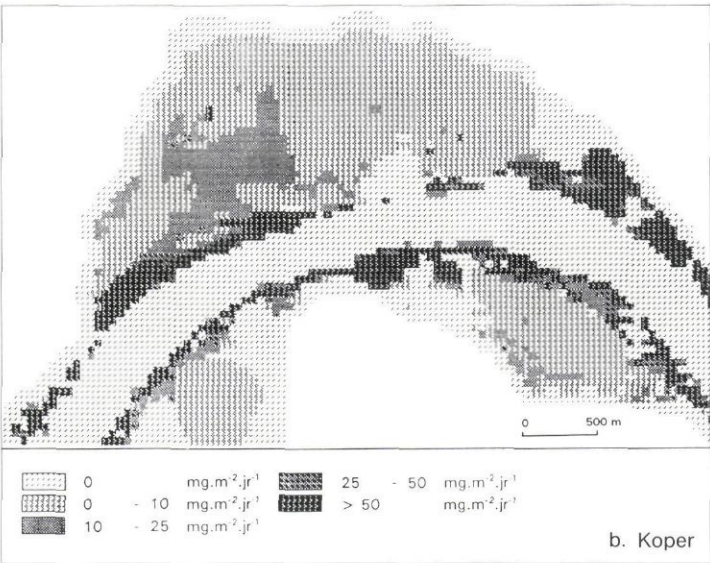
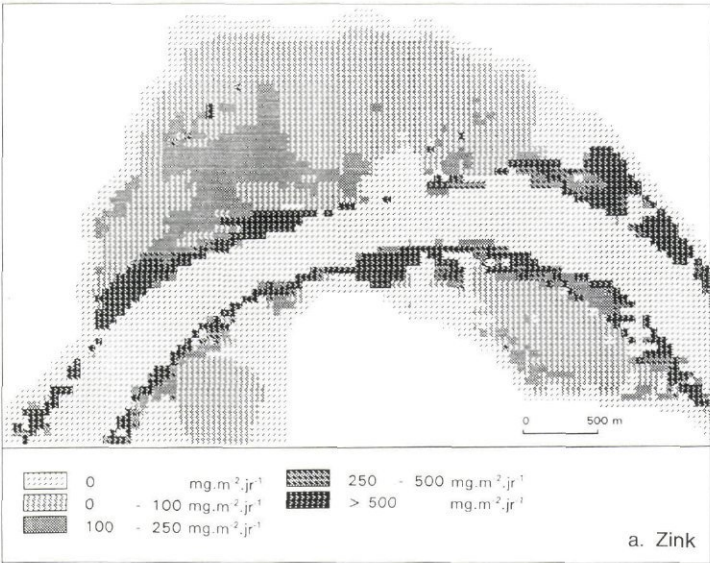
Bij de berekening heeft SEDQUAL de volgende uitvoer:
– de gemiddelde slibbelasting per jaar;
– de gemiddelde zware-metalenbelasting per jaar voor vier metalen;
– de concentraties van de zware metalen in de toplaag van de bodem.

De hoogste belasting met slib (zie afb. 2) treedt op in gebieden die frequent overstroomd worden en waar gedurende hoogwatergolven een relatief grote en langdurige toevoer van zwevend stof plaatsvindt en het zwevend stof de mogelijkheid krijgt te bezinken. Deze gebieden bevinden zich tussen de riviergeul en zomerkade en achter de verlaagd aangelegde overlaat. Aangezien de zware-metalenbelasting (afb. 3) en de concentraties metalen in de toplaag van de bodem (afb. 4) direct gerelateerd zijn aan de slibbelasting, geven de kaarten hiervan eenzelfde beeld weer.



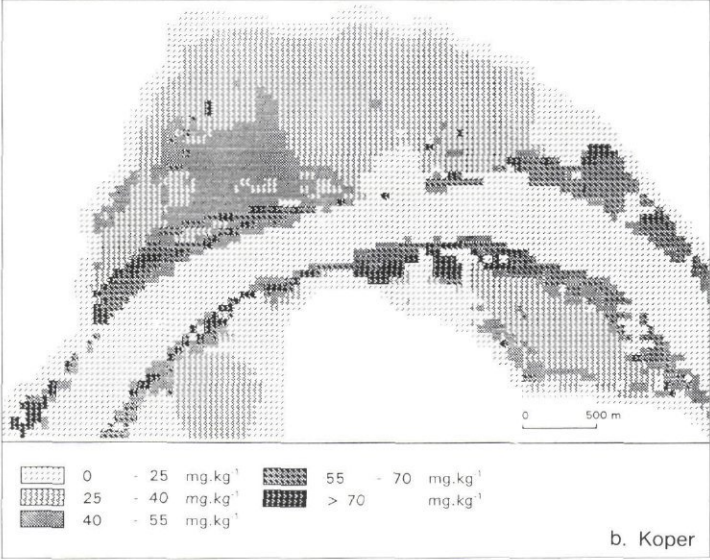
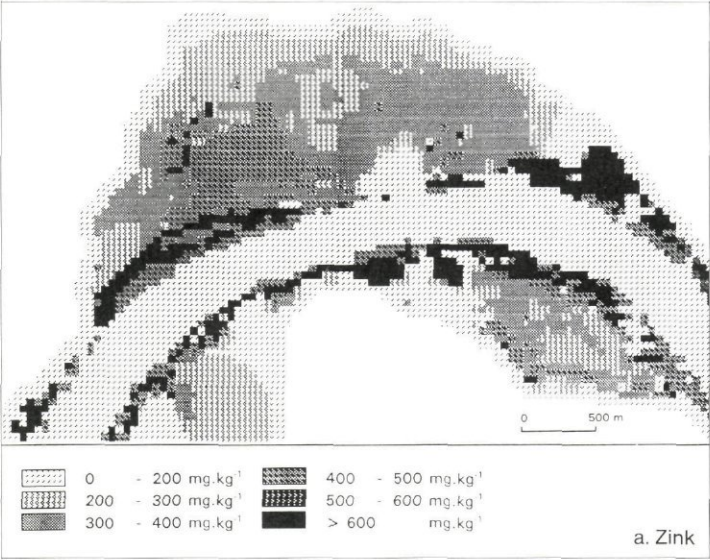
Afb. 2 - Gemiddelde jaarlijkse slibbelasting van de Bemmelsche Waard.

Met een gestratificeerde a-selecte steekproef zijn in het studiegebied mengmonsters van de toplaag van de bodem gestoken. Na extractie met salpeterzuur (25%) bij 100 °C zijn de monsters met behulp van atomaire-absorptiespectrometrie geanalyseerd op de metalen zink, koper, cadmium en lood. De metaalgehalten zijn gecorrigeerd naar 50% van de fractie < 16µm [De Groot *et al.*, 1982]. De met SEDQUAL berekende slib- en zware metalenbelasting en concentraties zijn vergeleken met de concentraties in de geanalyseerde bodemonsters. Na normalisatie van de slib- en zware metalenbelasting door logaritmisering zijn significante verbanden gevonden voor zink en koper ($p < 0,01$). Bij regressie tussen de berekende en gemeten concentraties levert van de vier onder-



Afb. 3 - Gemiddelde jaarlijkse zware-metaalbelasting van de Bemmelsche Waard.

Afb. 4 - Zware-metalenconcentratie in de toplaag van de bodem van de Bemmelsche Waard.



zochte metalen alleen koper een significant verband ($r = 0,36$).

Discussie

Voor het zwakke verband tussen de berekende en de gemeten metaalconcentraties is een aantal mogelijke oorzaken aan te geven. Hieronder worden de belangrijkste genoemd.

- De zwevend-stofgehalten en/of de zware-metalenconcentraties die gebruikt zijn in de modelberekening (gegevens 1987) zijn naar alle waarschijnlijkheid niet representatief voor alle opgetreden hoogwatergolven in de beschouwde periode 1920-1990.

- Bij berekening van de concentraties van metalen in de toplaag van de bodem is wel gecorrigeerd voor de veranderingen in kwaliteit van het zwevend stof in de decennia tussen 1920 en 1990. Voor de frequenties en de duren van de opgetreden hoogwaterafvoeren in de genoemde decennia is echter niet gecorrigeerd.

- Over de ruimtelijke variatie op korte afstand van de metaalconcentraties in de uiterwaardenbodembodem is vrijwel niets bekend. Mogelijk zijn de gemeten metaalconcentraties niet geschikt als gemiddelde waarden bij vergelijking van de berekende concentraties in de modelelementen van vijftig bij vijftig meter.

- In SEDQUAL zijn resuspensie en erosie niet gemodelleerd. Tijdens hoogwater kan opname van vers gesedimenteerde slib plaatsvinden. Gevolg is dat in gebieden waar deze processen plaatsvinden de berekende belasting hoger is dan de gemeten belasting.

- De metalen lood en cadmium worden sterk gebonden aan zwevend stof [RIWA/RID, 1978]. Bij dit onderzoek is echter geen ruimtelijke afhankelijkheid van deze metalen voor de verspreiding van slib aangetoond. Andere bronnen kunnen lokaal een sterke ruis veroorzaken in het signaal van de sedimentatie van verontreinigd slib. Te denken valt aan bemesting of atmosferische depositie.

4. Conclusie

Uit het onderzoek naar de ruimtelijke verspreiding van slib, de daaraan gebonden zware metalen en de bodemkwaliteit in uiterwaarden, kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

- Met behulp van de uitvoer van het programmapakket WAQUA-5 en het model SEDQUAL kan een schatting worden gemaakt van het ruimtelijk patroon van de belasting met slib bij overstroming van uiterwaarden.
- De gemeten dikte van de sliblaag vertoont een grote ruimtelijke variatie,

waarbij lokale ruwheidsverschillen en microreliëf van invloed zijn.

- Er bestaat een significant verband tussen de slibdikten, die gemeten zijn na afloop van de hoogwatergolf van maart-april 1988, en de slibdikten, die berekend zijn met behulp van SEDQUAL door simulatie van die hoogwatergolf.

- Een schatting van de concentraties van de beschouwde zware metalen in de toplaag van de bodem met behulp van SEDQUAL blijkt niet goed mogelijk met de bij het onderzoek gebruikte gegevens. Een redelijk beeld is berekend van het ruimtelijk patroon van concentraties aan koper en zink in de toplaag van de bodem van de Bemmelsche Waard. Bij de metalen cadmium en lood zijn geen significante relaties tussen de gemeten gehalten in de toplaag van de bodem en de berekende waarden gevonden.

Verantwoording

Drs. A. L. M. van Broekhoven (Rijkswaterstaat), ing. J. P. F. 't Hoen (Rijkswaterstaat) verleenden medewerking bij het gebruik van WAQUA-5; ing. C. J. M. Klawer en A. E. van Warmenhoven (RUU) assisteerden bij de laboratoriumwerkzaamheden.

Referenties

- Broekhoven, A. L. M. van en Demon, J. M. H. (1989). *Bodemverontreiniging in de uiterwaarden. Bijdrage aan de Derde Nota Waterhuishouding*. Lelystad: Rijkswaterstaat DBW/RIZA, Nota nr. 89.027.
- Cochran, W. G. (1977). *Sampling Techniques*, 3rd edition. New York: Wiley.
- Groot, A. J. de, Zschuppe, K. H. and Salomons, W. (1982). *Standardization of Methods of Analysis for Heavy Metals in Sediments*. Hydrobiologia 92, pp. 689-695.
- Kwadijk, J. C. J. (1991). *Sensitivity of the River Rhine Discharge to Environmental Change, A First Tentative Assessment*. Earth Surface Processes and Landforms. Vol. 16., pp. 627-637.
- Ministerie van Landbouw en Visserij (1987). *Vlugschrift voor de Landbouw*. No. 406.
- Rang, M. C., Kleyn, C. E. en Schouten, C. J. (1985). *Bodemverontreiniging met zware metalen in het winterbed van de Maas*. KNAG Geografisch tijdschrift, 5, pp. 399-409.
- Rijncommissie Waterleidingbedrijven en Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (1978). *Slib in Rijn en Maas. Een beschrijving van de kwalitatieve en de kwantitatieve aspecten van slib in de Rijn en de Maas in relatie tot de drinkwatervoorziening*. Deel 1.: Samenvattend rapport, deel 2: Theoretische aspecten.
- Rijkswaterstaat (ongepubliceerd). *Centrifuge- en monitorgegevens van de hoogwatergolven in 1987 en 1988 met betrekking tot zwevend-stofgehalten en zware-metalen te Lobith*.
- Salomons, W. and Groot, A. J. de (1978). *Pollution history of Trace Elements in Sediments, as Affected by the Rhine River*. In: *Environmental Biogeochemistry and Geomicrobiology*, Vol. 1, W. E. Krumbein (ed.). Ann Arbor Sci. Publ., pp. 149-162.
- Salomons, W., Driel, W. van, Kerdijk, H. and Boxma, R. (1982). *Holland is Plated by the Rhine (Environmental Problems Associated with Contraminated Sediments)*. In: *Effects of Waste*

Disposal on Groundwater., Proc. of Exeter Symp. IAHS Publ. no. 139.

Tukkers, A. en Roelofs, S. (1985). *Studie naar de mogelijkheden voor toepassing van de tweede uitzonderingsbepaling (art. 2b) van de EG-grondwater-richtlijn. Reeks Bodembescherming 49*. 's-Gravenhage, Staatsuitgeverij.

Waterloopkundig Laboratorium (1985). *Waterkwaliteit Rijn. Modelleringsgedrag en verspreiding microverontreinigingen. Haalbaarheid modellering zwevend stof. Verslag onderzoek*. Delft: WL, Rapport R1056-03.

Zeekant, J. (1987). *Overzicht gebruik programma-pakket WAQUA-rivieren*. Rijkswaterstaat, DBW/RIZA, notitie 87.013x.

Zschuppe, K. H., Japenga, J. en Groot, J. A. de (1988). *Metaalbelasting van sedimenten afkomstig van uiterwaarden langs Rijn en Waal (aangevuld met enkele gegevens over de belasting van uiterwaarden langs IJssel en Maas)*. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Waterloopkundig Laboratorium, Rapport T 225.

● ● ●

Hard water in Zuid-Limburg wordt aangepakt

De Waterleidingmaatschappij Limburg (WML) gaat iets doen aan de vele klachten over te hard water in een groot gedeelte van Zuid-Limburg. Voor de eeuwwisseling hoopt het bedrijf de hardheid teruggebracht te hebben tot de landelijke richtlijnen. Dat heeft de directie van WML bekendgemaakt.

Bij de pompstations in Zuid-Limburg worden speciale installaties gebouwd waar het harde water doorheen wordt gevoerd. Met niet-schadelijke chemische stoffen wordt het water tot ten minste de helft onthard.

De kosten voor de onthardingsinstallaties bedragen circa 75 miljoen gulden. Die worden niet verhaald op de circa 350.000 waterafnemers in het betrokken gebied, maar op alle watergebruikers in heel Limburg. Zij gaan in de toekomst naar schatting 25% meer voor een m³ water betalen: circa 1,60 gulden in plaats van nu 1,35 gulden. De verhoging zal overigens geleidelijk worden doorgevoerd. Het onthardingsproces noemde de directie woordvoerder een soort luxe. Hard water is namelijk niet schadelijk voor de volksgezondheid, maar veroorzaakt wel veel hinderlijke kalkaanslag in koffiezetapparaten, in fluitketels en geisers waardoor zij sneller gaan slijten. Dit geldt ook voor de waterleidingen. (ANP)