Vrachten van zware metalen vanuit het Schelde estuarium naar de Noordzee
- een nieuwe schatting -

P.A.J. Verlaan
Faculteit der Civiele Techniek
TU Delft

76573

1. Inleiding

Tijdens de 3e Internationale Conferentie over de Bescherming van de Noordzee die 1990 in Den Haag werd gehouden zijn maatregelen aangenomen over een reductie van de toevoer van schadelijke stoffen naar de Noordzee via rivieren, estuaria en de atmosfeer. Onder schadelijke stoffen wordt verstaan (groepen van) stoffen die moeilijk afbreekbaar, toxisch en bio-accumuleerbaar zijn, zoals bijvoorbeeld zware metalen. Hiertoe moet in de periode 1985-1995 de toevoer via rivieren en estuaria van Cr, Zn, Cu en Ni met 50%, en de toevoer van Cd, Hg en Pb met 70% worden gereduceerd, voor zover dit technisch mogelijk is [1]. Het spreekt voor zich dat een betrouwbare schatting van vrachten van zware metalen in rivieren en estuaria is vereist.

Jaarlijks komen grote hoeveelheden zware metalen ons land binnen via de Rijn, de Maas en de Schelde. Een deel van de vracht van zware metalen is in het water opgelost. Voor de meeste zware metalen geldt echter dat het grootste deel van de vracht aan zwevende stof is gebonden. Dit deel kan met de zwevende stof permanent worden afgezet op plaatsen met relatief lage stroomsnelheden. Het maakt dat de bodem in sedimentatie-gebieden zoals het Hollands Diep, de Haringvliet en het Ketelmeer hoge gehalten aan zware metalen laat zien. Uiteindelijk zal maar een beperkt deel van de vracht aan zware metalen die in ons land binnenkomt de Noordzee bereiken.

Een nauwkeurige schatting van het totale metaaltransport naar de Noordzee vereist een specificatie van de opgeloste en aan zwevende stof gebonden metaalvracht in het estuariene deel van de rivier. Omdat het estuarium aan getij onderhevig is zijn de vrachten niet eenvoudig te bepalen. Concentraties van zwevende stof alsmede de stroomrichting en stroomsnelheid van het water variëren namelijk sterk binnen een getijcyclus. Bovendien is niet bekend welk deel van de zwevende stof een zee- of een rivieroorsprong heeft. In dit artikel geven we een methode waarmee metaalvrachten in estuaria met een grotere nauwkeurigheid kunnen worden bepaald, dan met de momenteel gebruikte methode [2]. We passen deze methode toe op het Schelde estuarium: de Westerschelde en de Zeeschelde (afb.1). De voor deze studie gebruikte metingen zijn verricht door Rijkswaterstaat in het kader van het SAWES (Systeem Analyse Westerschelde) project.

Het grootste deel van de zwevende stof heeft een korreldiameter < 63 μm, hier gedefinieerd als slib. Zware metalen zijn vrijwel volledig gebonden aan deze korrel-grootte-fractie. Daarom gebruikten we in dit artikel de term "slib" voor het totaal aan zwevende stof waarmee zware metalen worden getransporteerd. De korrelgrootte-fractie < 63 μm van bodemsediment wordt aangeduid als bodemslib.

2. Bepaling van vrachten in het Schelde estuarium

Het Schelde estuarium is het deel van de Schelde stroomgebied dat onderhevig is aan het getij. Dit is het gehele gebied tussen de monding van de Westerschelde en Gent (afb. 1). Het zeewater daarentegen reikt niet verder dan Rupelmonde. De jaargemiddelde rivierafvoer is ongeveer 100 $m^3 s^{-1}$, overeenkomend met een 4.5 10^6 m^3 per getij. Omdat de hoeveelheid rivierwater die gedurende een getij wordt afgevoerd zeer klein is t.o.v. de getijde-uitwisseling met de Noordzee (10^9 m^3 per getij) is het Schelde estuarium verticaal goed gemengd. Het percentage zoet water neemt geleidelijk af van bijna 100% bij Rupelmonde naar 15-20% bij Vlissingen. In deze studie worden de metaalvrachten tussen Rupelmonde en Vlissingen beschouwd. Hierbij onderscheiden we de aan zwevende stof gebonden vracht en de opgeloste vracht.

De opgeloste metaalvracht V in het estuarium is bepaald met de volgende formule:

$$V_i = Q\,[c_i - c_{zee}\,(\frac{S_i}{S_{zee}})]\,\frac{S_{zee}}{(S_{zee} - S_i)} \qquad (1)$$

met:
V_i = metaalvracht op plaats i [kg s^{-1}]
c_i = gemeten concentratie in monster i [kg m^{-3}]
c_{zee} = concentratie van het metaal in zeewater [kg m^{-3}]
S_i = gemeten saliniteit op plaats i [ppm]
S_{zee} = saliniteit van zeewater [ppm]
Q = totale zoetwater afvoer [m^3 s^{-1}]

Bovenstaande formulering is identiek aan de momenteel door Rijkswaterstaat gebruikte formulering voor de vrachtberekening in het Schelde estuarium [3] bij verwaarlozing c_{zee}. In dit artikel zijn voor c_{zee} de opgeloste concentraties in zeewater van de Zuidelijke Noordzee gebruikt [4].

Om de aan zwevende stof gebonden metaalvracht in het Schelde estuarium te bepalen is enige kennis van het getijgemiddelde stromingspatroon in estuaria, de estuariene circulatie, nodig (afb. 2). Door verschillen in dichtheid van rivier- en zeewater zal water nabij de bodem getijgemiddeld landwaarts bewegen en nabij het oppervlak zeewaarts bewegen [5]. De estuariene circulatie in de Schelde kan worden gekwantificeerd indien de verblijftijd van zoetwater, de rivierafvoer, en de dwarsdoorsnedes en zoutgehalten op verscheidene plaatsen in de mengzone tussen Rupelmonde en Vlissingen zijn gegeven.

Het metaaltransport middels rivierslib volgt uit metaalconcentraties in het rivierslib, de inkomende massaflux van rivierslib, en de sedimentatie hiervan in de mengzone. Om de sedimentatie van rivierslib te berekenen is een eenvoudig 1-D model ontwikkeld. Aangenomen wordt dat slib wordt getransporteerd middels de estuariene circulatie. Het model berekent sedimentatiesnelheden van zee- en rivierslib op grond van berekende zee-rivierslibverhoudingen in de mengzone. Deze verhoudingen zijn bepaald met een nieuwe methode waarmee op grond van de elementsamenstelling van zwevende stof de herkomst kan worden bepaald [6]. Het model rekende uit dat ruim 80% van het aangevoerde rivierslib in de mengzone permanent tot bezinking komt en minder dan 20% de Noordzee

bereikt. Dit percentage komt goed overeen met het percentage verkregen uit een eerdere gemaakte slibbalans van het Schelde estuarium [7].

3. Resultaten

Vuilvrachten zijn berekend op grond van concentraties van Cr, Pb, Zn, Cu en Cd in zwevende stof en concentraties van opgelost Zn, Cu en Cd tussen Rupelmonde en Vlissingen die gemeten zijn in het kader van het SAWES project. Opgeloste concentraties van Cr en Pb zijn niet gemeten. Dit is geen probleem omdat Cr en Pb grotendeels middels zwevende stof worden getransporteerd [3]. In de periode februari 1987-februari 1988 zijn 98 monsters genomen gedurende 8 vaartochten en in de periode mei 1995-juni 1996 zijn 116 monsters verzameld gedurende 10 vaartochten. Gedurende iedere vaartocht zijn dus 10 tot 13 monsters genomen op 1.5 meter onder het wateroppervlak.

Afb.3 laat voor het Schelde estuarium de jaargemiddelde in water opgeloste vrachten van Zn, Cu en Cd zien voor de twee perioden. Bij het bepalen van de opgeloste vrachten is gecorrigeerd voor een toename van de zoetwaterafvoer in stroomafwaartse richting door een zijdelingse afvoer tussen Rupelmonde en Vlissingen. De zoetwaterafvoer bij de Rupelmonding (Schelle) was voor de 8 vaartochten in de periode 1987-1988 gemiddeld 140 $m^3 s^{-1}$ terwijl deze in de periode 1995-1996 gemiddeld 80 $m^3 s^{-1}$ was. De twee perioden zijn dus niet zonder meer vergelijkbaar. Aangezien opgeloste vrachten evenredig zijn met de rivierafvoer Q moeten de opgeloste vrachten voor de periode 1995-1996 met een factor 14/8 worden vermenigvuldigd om een vergelijking met 1987-1988 mogelijk te maken. Na correctie voor de afvoer blijkt dat de opgeloste vrachten naar de Noordzee van Cu en Zn aanzienlijk zijn toegenomen terwijl voor Cd een afname is berekend. Voor beide perioden nemen de vrachten van opgelost Cu en met name Cd sterk toe in stroomafwaartse richting.

De berekende vuilvrachten gebonden aan slib zijn gegeven in afb. 4. In tegenstelling tot de opgeloste vrachten nemen deze sterk af in zeewaartse richting. De vuilvracht die de Noordzee bereikt is nog maar 15-20% van de vracht die bij Rupelmonde het estuarium binnenkomt. Tussen de perioden 1987-1988 en 1995-1996 zijn de aan slib gebonden vrachten in het gehele estuarium met een factor 15 afgenomen. Deze afname komt voor een deel door de lagere zoetwaterafvoer en bijbehorende lagere concentraties van rivierslib in de periode 1995-1996. Een correctie hiervoor is niet zonder meer mogelijk omdat een lagere slibaanvoer vanuit de rivier leidt tot gemiddeld hogere metaalgehalten in dit slib. Dit effect is over het algemeen klein en daarom zullen we het in deze beschouwing verwaarlozen. De aanvoer van Scheldeslib is gelijk aan de rivierafvoer vermenigvuldigd met de slibconcentratie in de rivier. De concentratie neemt in eerste benadering lineair toe met de rivierafvoer [8] zodat de aanvoer van rivierslib evenredig is met het kwadraat van de rivierafvoer. Een vergelijking tussen de perioden 1987-1988 en 1995-1996 is dus mogelijk indien de berekende vrachten voor de periode 1995-1996 met een factor $(14/8)^2 \approx 3$ worden vermenigvuldigd. Na compensatie voor de aanvoer van rivierslib met een factor 3, vinden we dat de vuilvrachten middels zwevende stof in de periode 1987-1995 met een factor 4 tot 5 moeten zijn afgenomen.

Tabel I geeft een overzicht van de **totale** (opgeloste+aan slib gebonden) jaarvrachten bij Rupelmonde, de Belgisch-Nederlandse grens en naar de Noordzee, berekend uit de SAWES-data. Deze zijn vergeleken met de door Rijkswaterstaat (RWS) bepaalde jaarvrachten naar de Noordzee [2]. Om een vergelijking tussen verschillende jaren mogelijk te maken zijn de gegeven vrachten genormaliseerd op een zoetwaterafvoer van 120 $m^3 s^{-1}$ te Schelle. Voor Cd, Cu en Zn zijn de vrachten naar de Noordzee die bepaald zijn uit de SAWES-data grotendeels in overeenstemming met de RWS-gegevens. Voor de elementen Cr en Pb zijn de vrachten bepaald uit de SAWES-data gemiddeld een factor 2 tot 3 kleiner dan de RWS-gegevens. Beide methoden laten voor Cd, Cr en Pb de grootste afname zien terwijl de Cu vracht naar de Noordzee ongeveer constant blijft.

4. De invloed van het zuurstofgehalte op de metaalvrachten

Vanwege de beperkte zuivering van huishoudelijk afvalwater worden grote hoeveelheden organische stof op het Scheldewater geloosd. De afbraak van organische stof kost veel zuurstof en verlaagt zo het zuurstofgehalte in het Scheldewater. In de zomer is het water tussen Rupelmonde en de Belgisch-Nederlandse grens bijna zuurstofloos. Dit lage zuurstofgehalte maakt dat opgeloste concentraties van zware metalen in het aangevoerde rivierwater relatief laag zijn zodat bijna de volledige metaalvracht middels rivierslib bij Rupelmonde de mengzone binnenkomt. Bij Rupelmonde is de afname van de totale metaalvracht tussen 1987-1988 en 1995-1996 is het grootst (zie Tabel 1) omdat daar bijna de volledige vracht middels zwevende stof wordt getransporteerd. De afname van de totale vracht naar de Noordzee in de periode 1987-1995 is voor Cd, Cu en Zn veel kleiner omdat deze metalen grotendeels in opgeloste vorm de Noordzee bereiken. Voor Cd is de aan slib gebonden vracht naar de Noordzee zelfs verwaarloosbaar klein.

De toename van de opgeloste vrachten in stroomafwaartse richting (afb. 3) wordt verklaard door een sterke toename van het zuurstofgehalte in zeewaartse richting waardoor Cu, Cd en Zn ten dele in de oplossing gaan [9]. Dit proces leidt er toe dat concentraties van opgelost Cd, Cu en Zn een maximum vertonen bij zoutgehalten tussen 5‰ en 20‰, afhankelijk van het metaal, waardoor de opgeloste vracht sterk toeneemt. Zeewaarts van dit maximum nemen door verdunning met zeewater opgeloste concentraties weer af waardoor de opgeloste vracht verder zeewaarts minder snel toeneemt. Van het element Zn gaat, in vergelijking met Cu en Cd maar een relatief klein deel in de oplossing waardoor de opgeloste vracht, jaargemiddeld althans, in de gehele mengzone min of meer constant is. Voor een uitgebreide studie van de opgeloste concentraties en vrachten van Cd, Cu en Zn in het Schelde estuarium kan worden verwezen naar referentie [9].

5. Verschillen tussen de twee methoden om vrachten naar Noordzee te bepalen

In de RWS-methode [2] wordt gebruik gemaakt van concentratiemetingen in een totaal monster (opgeloste + aan slib gebonden concentratie) dat maandelijks bij de Belgisch-Nederlandse grens (Schaar van Ouden Doel) wordt genomen tijdens laagwaterkentering. De gemeten concentratie wordt vermenigvuldigd met de totale zoetwaterafvoer naar de Noordzee waarna het resultaat wordt gecorrigeerd voor het gemeten zoutgehalte bij de grens [3], de directe lozingen in de Westerschelde en de retentie van het betreffende metaal in het estuarium. De grootte van retentiefactor hangt af van de mate waarin het metaal in opgeloste vorm of middels slib wordt getransporteerd.

Een belangrijk voordeel van de methode die wij gebruikt hebben is dat de opgeloste en aan slib gebonden vracht apart bepaald zijn uit een groot aantal concentratiemetingen in het gehele estuarium. Hierdoor zijn vrachten van zware metalen in het hele gebied tussen Rupelmonde en Vlissingen berekend. Een nadeel van onze methode is dat een groot aantal metingen is vereist. Voor Cd, Cu en Zn geven beide methode ongeveer hetzelfde resultaat (zie tabel I). Voor Cr en Pb zijn de door RWS bepaalde vrachten groter dan de door ons bepaalde vrachten. Een goede verklaring hiervoor ontbreekt. Mogelijk zijn de opgeloste vrachten van Cr en Pb, die in onze methode niet zijn meegenomen, de oorzaak van de verschillen.

6. Verklaring voor de afgenomen metaalvrachten naar het Schelde estuarium

De afname met een factor 5 (gecorrigeerd voor de rivierafvoer) van de hoeveelheid aangevoerde metalen naar het Schelde estuarium komt door een afname van de metaalconcentratie per massa-eenheid slib ofwel een betere kwaliteit van het aangevoerde rivierslib en door een afname van de hoeveelheid aangevoerde rivierslib bij eenzelfde rivierafvoer. In de door ons gebruikte datasets is de eerste verklaring verantwoordelijk voor een afname met ongeveer een factor 2, de tweede voor het overige deel van de afname. Hierbij moet worden vermeld dat de afname van de metaalconcentraties in het slib groter had kunnen zijn indien de Schelde afvoer in de meetperiode 1995-1996 groter zou zijn geweest.

De betere kwaliteit van het rivierslib komt vooral door de toegenomen zuivering van huishoudelijk en industrieel afvalwater. Het percentage huishoudelijk afvalwater dat gezuiverd wordt neemt in Vlaanderen en Wallonië gestaag toe. In 1989 werd in Vlaanderen en Wallonië respectievelijk 26% en 28% van het rioolwater gezuiverd [10]. In 1996 werd al 40% van het rioolwater in Vlaanderen gezuiverd en dit percentage neemt toe tot bijna 60% in 2003 [8]. In Brussel zijn momenteel nog geen rioolwaterzuiverings-installaties in gebruik. Na het jaar 2000 zal dit echter wel het geval zijn. Een belangrijke kwaliteitsverbetering kan dus nog worden verwacht. De zuiveringsgraad van industrieel afvalwater is hoger dan die van huishoudelijk afvalwater. Hierover zijn echter geen schattingen bekend. Het is de verwachting dat in 2015 de industrie in Vlaanderen en Wallonië dezelfde zuiveringsgraad zal kennen als in Nederland [11]. De rioleringsgraad zal echter nooit het Nederlandse niveau bereiken omdat er veel lintbebouwing voorkomt. Circa 25% van het huishoudelijk afvalwater zal daarom ongezuiverd blijven [11].

De afgenomen aanvoer van rivierslib komt vooral door een toename van de baggerwerken bovenstrooms in het Schelde stroomgebied. Grote hoeveelheden slibrijke specie worden onttrokken uit de bevaarbare waterwegen (rivieren en kanalen) en de grote onbevaarbare waterlopen. Bovendien vinden zeer wijdverspreide ruimings-werken plaats in de kleine onbevaarbare waterlopen, zoals grachten en beken [8]. De sedimentatie van slib, bovenstrooms, wordt bevorderd doordat steeds meer wordt overgestapt op wachtbekkens en stuwen om de grote afvoeren van neerslag te regelen, waarbij de waterafvoer en dus het transporterend vermogen van het water wordt verminderd. Het effect van de toenemende zuivering op de slibvracht is vermoedelijk gering omdat met name de organisch fractie van het slib in de zuiveringsinstallatie achterblijft die toch al grotendeels was afgebroken alvorens Rupelmonde te bereiken toen de zuivering nog niet plaatsvond.

7. Conclusies

De vrachten van de meeste zware metalen in het Schelde-estuarium zijn tussen de perioden 1987-1988 en 1995-1996 afgenomen. Bij Rupelmonde, waar bijna de volledige metaalvracht aan rivierslib is gebonden, is deze afname het grootst: een factor 4 tot 5. De vrachten van zware metalen naar de Noordzee zijn veel minder sterk afgenomen. Met name voor Cu en Zn, kan nauwelijks van een afname worden gesproken. Voor deze twee elementen zullen de afgesproken reducties van 50% tussen 1985-1995 niet worden gehaald. Vrachten van Cr, Pb en Cd naar de Noordzee zijn daarentegen wel aanzienlijk gedaald. Voor deze elementen zullen afgesproken reducties dus waarschijnlijk wel worden gehaald. De verschillen tussen de vrachtreducties hangt samen met de verhouding tussen de opgeloste en aan slib gebonden vracht. De aan slib gebonden vrachten nemen momenteel sterk af, terwijl de opgeloste vrachten van met name Cu en Zn een toename laten zien.

Een verdere zuivering van huishoudelijk en industrieel afvalwater zal enerzijds tot een belangrijke kwaliteitsverbetering van het aangevoerde rivierslib leiden maar zal anderzijds voor met name Cu en Zn een geringe invloed hebben op de totaalvrachten naar de Noordzee. De opgeloste vrachten van Cu en Zn naar de Noordzee kunnen de komende jaren verder toenemen vanwege een hoger zuurstofgehalte waardoor mogelijk metalen vanuit de bodem in de oplossing kunnen gaan. Dit negatieve effect kan worden tegengegaan door vervuild rivierslib te verwijderen. Dit gebeurt momenteel al op grote schaal in de Beneden Zeeschelde tussen Antwerpen en de Belgisch-Nederlandse grens, waar het meeste rivierslib sedimenteert.

Literatuurlijst

1. Ministerial Declaration of the Third International Conference on the Protection of the North Sea, The Hague, 8 March 1990.

2. Wulffraat, K.J., Smit, Th., Groskamp, H., en De Vries, A. 1993. De belasting van de Noordzee met verontreinigende stoffen 1980-1990. Rapport DGW-93.037, Rijkswaterstaat.

3. Van der Kooy, L.A. 1982. De waterkwaliteit van de Westerschelde in de periode 1964-1981. Nota nr.82.063, RIZA, Rijkswaterstaat.

4. Quality Status Report of the North Sea, Subregion 4. Assessment Report 1993.

5. Festa, J.F. en Hansen, D.V., 1976. A two-dimensional numerical model of the estuarine circulation: the effects of altering depth and river discharge. *Estuarine and Coastal Marine Science* 4, 309-323.

6. Verlaan, P.A.J., Donze, M, en Kuik, P. 1997. Marine versus fluvial suspended matter in the Scheldt estuary. Accepted for publication in *Coastal Estuarine, and Shelf Science.*

7. Van Maldegem, D.C., Mulder, H.J.P. en Langerak, A. 1993. A cohesive sediment balance for the Scheldt estuary. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 27 (2-4), pp. 247-256.

8. Slibbalans Beneden Zeeschelde 1996 (concept), 1997. Verslag AMS-97.03. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterinfrastructuur en Zeewezen, *Afdeling Maritieme Schelde.*

9. Zwolsman, J.J.G., Van Eck, G.T.M., en Van der Weijden, C.H. 1997. Geochemistry of dissolved trace metals (cadmium, copper, zinc) in the Scheldt estuary, southwestern-Netherlands: Impact of seasonal variability. *Geochemicia et Cosmochimica Acta* 61 (8), pp 1635-1652.

10. Gedrag van particulair materiaal in het Schelde estuarium. 1993. *International Marine and Dredging Consultants.*

11. Nota Watersysteemverkenningen, RIZA Nota 96.058, rapport RIKZ-96.030, *Rijkswaterstaat*

Tabellen

TABEL I - Totaalvrachten van Cd, Cu, Zn, Cr en Pb in de Schelde in tonnen per jaar (Rup. =Rupelmonde; grens=40 km van Rupelmonde; Noordzee=100 km van Rupelmonde) berekend met onze methode uit de SAWES-data en berekend met RWS-methode [2] uit bestaande gegevens*. De gegeven vrachten zijn genormaliseerd op een Schelde afvoer (te Schelle) van 120 $m^3 s^{-1}$.

	SAWES-data						bestaande gegevens*	
	1987-1988			1995-1996			1987	1993
	Rup.	grens	Noordzee	Rup.	grens	Noordzee	Noordzee	Noordzee
Cd	4.1	1.3	1.6	0.87	0.53	0.48	0.9-2.4	0.5-1.5
Cu	76	25	23	16	14	20	14-38	11-18
Zn	387	149	101	102	94	74	64-172	55-89
Cr	87	24	13	17	6.1	2.9	16-43	11-19
Pb	66	18	9.6	15	5.5	2.6	9-24	8-13

* bruto vrachten bij Schaar van Ouden Doel (grens)

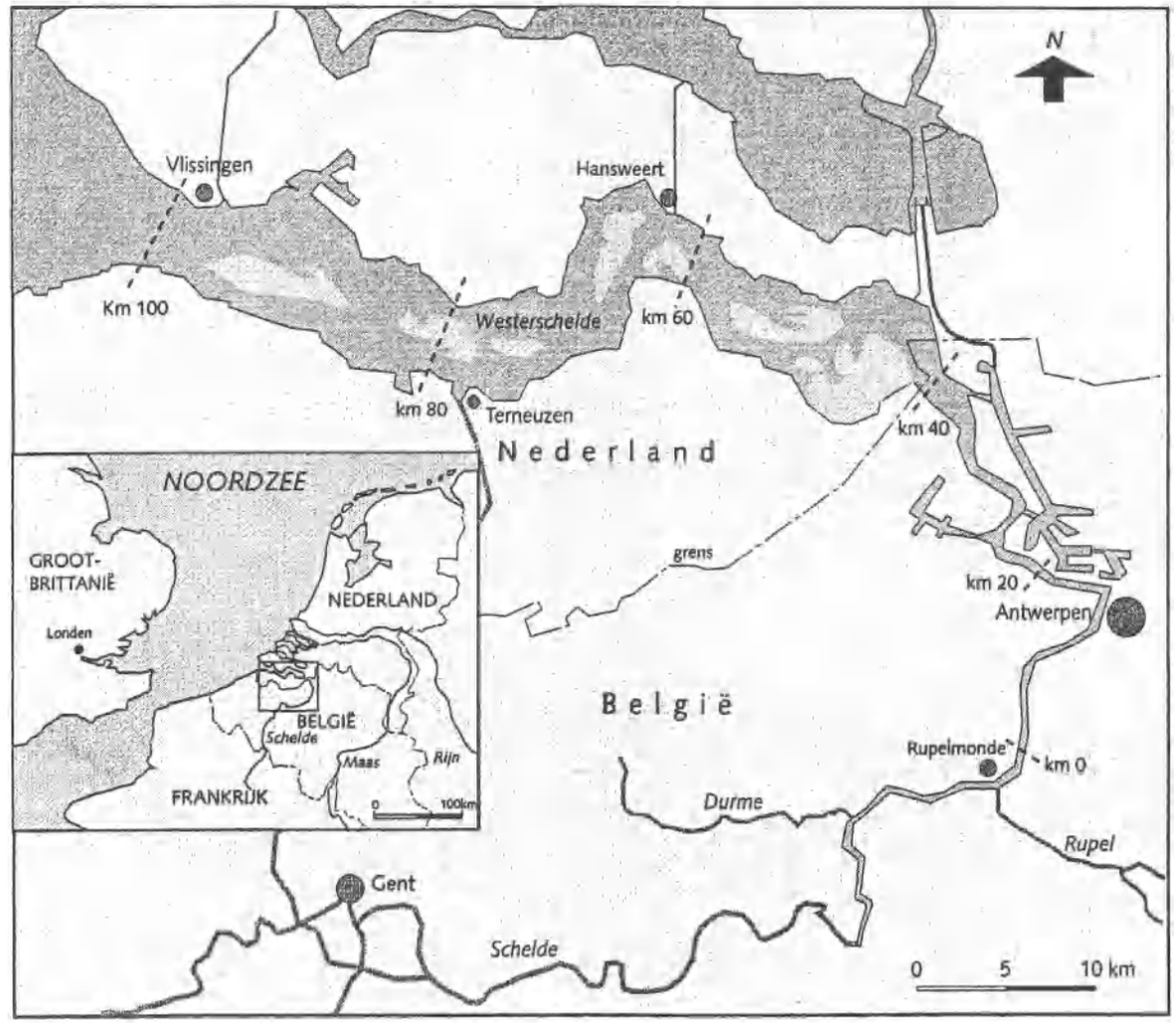
Figuren

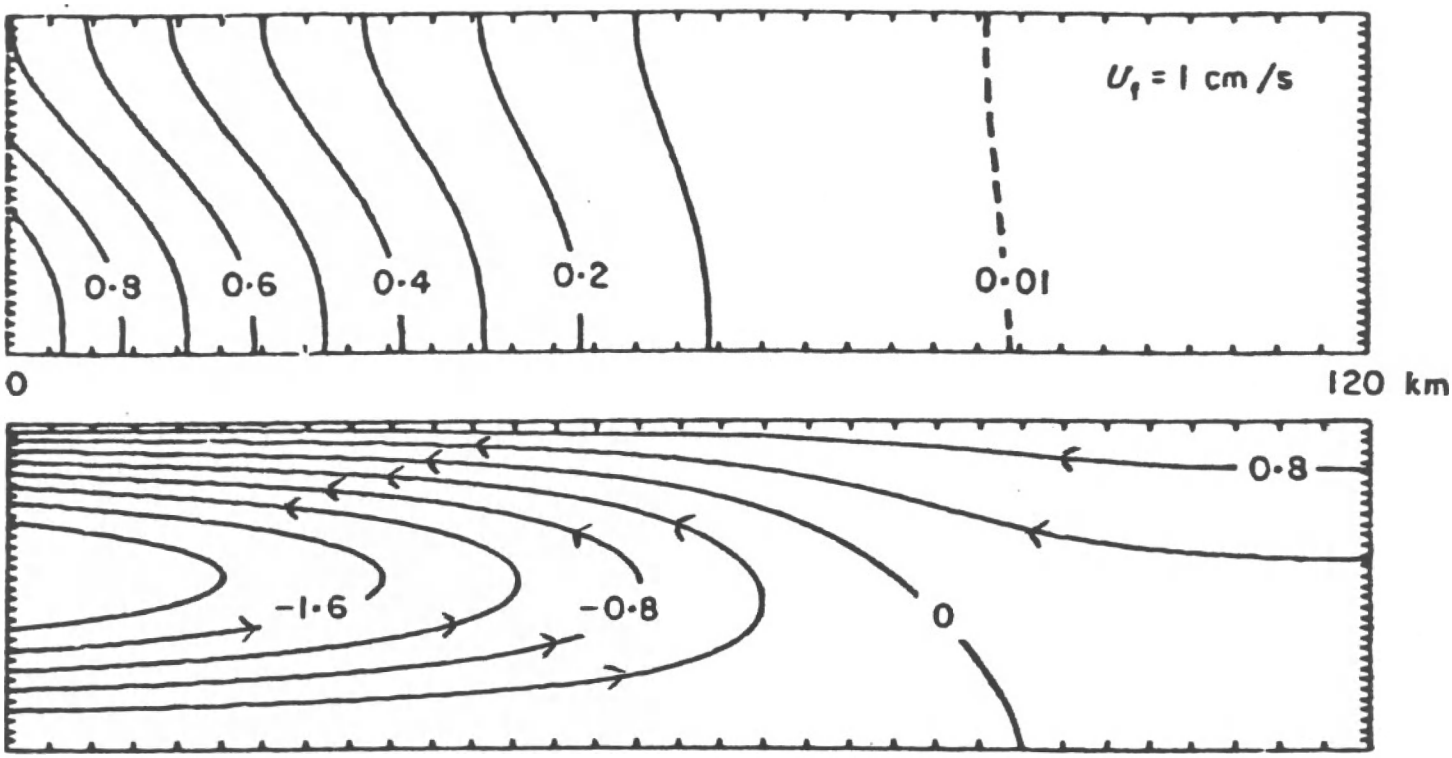
Afb. 1 - *Het Schelde estuarium. De mengzone van zout en zoet water strekt zich uit van Rupelmonde tot Vlissingen. Bovenstrooms van Rupelmonde is het water zoet. Dit gebied wordt zodoende het zoetwater estuarium genoemd.*

Afb. 2 - *De estuariene circulatie. In de mengzone wordt water en slib in de onderste helft van de waterkolom getijgemiddeld landwaarts en in de bovenste helft van de waterkolom zeewaarts gevoerd. Landwaarts van de mengzone beweegt het water op alle diepten zeewaarts.*

Afb. 3 - *Jaargemiddelde vrachten van opgelost Cd, Cu en Zn voor de perioden 1987-1988 en 1995-1996 versus de afstand van Rupelmonde bepaald uit de SAWES-data.*

Afb. 4 - *Jaargemiddelde vrachten van aan rivierslib gebonden Cr, Pb, Zn, Cu en Cd voor de perioden 1987-1988 en 1995-1996 versus de afstand van Rupelmonde bepaald uit de SAWES-data.*

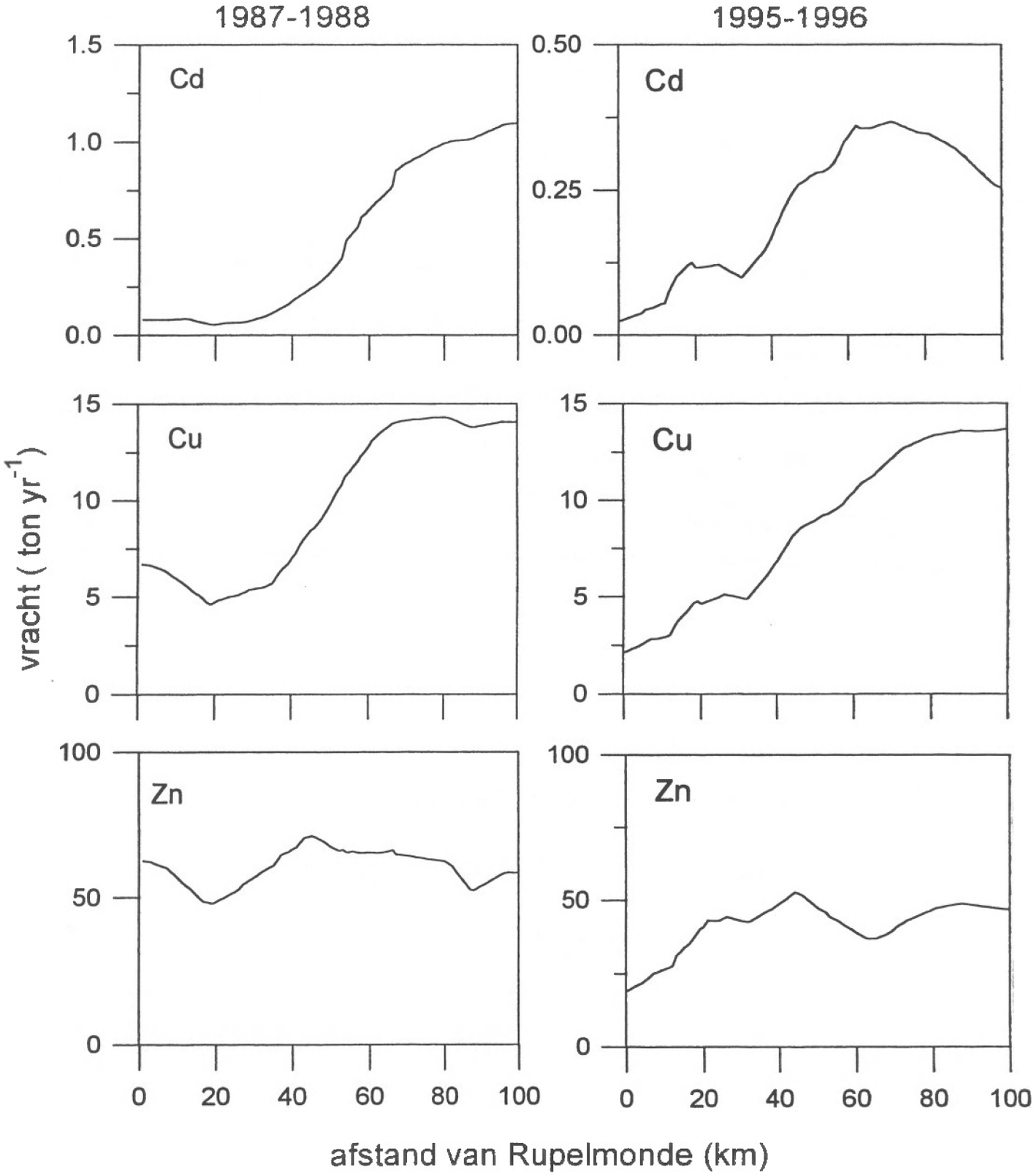

N
Vlissingen
Hansweert
Km 100
Westerschelde
km 60
km 80
Terneuzen
Nederland
km 40
NOORDZEE
GROOT-
BRITTANIË
Londen
NEDERLAND
grens
km 20
Antwerpen
BELGIË
Schelde
Maas
Rijn
FRANKRIJK
0
100km
België
Rupelmonde
km 0
Durme
Rupel
Gent
Schelde
0
5
10 km



Afb. 2 boven: fractie zeewater

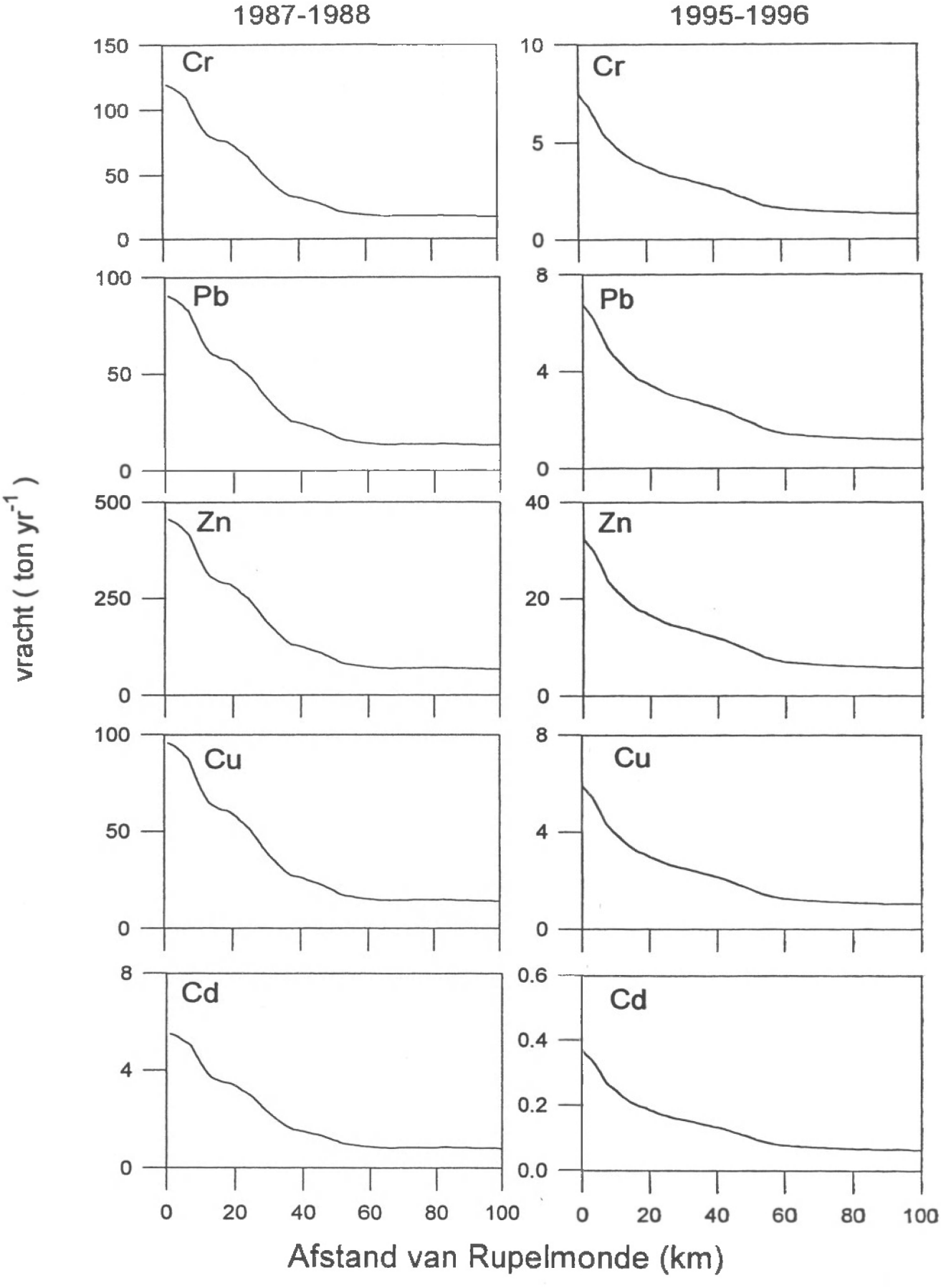
onder: stroomlijnen waarlangs water beweegt

Opgeloste vrachten



- Afb 7 -

Vrachten gebonden aan rivierslib



- Afb 4 -