

**MINISTERIE VAN MIDDENSTAND EN LANDBOUW**  
Bestuur voor Onderzoek en Ontwikkeling

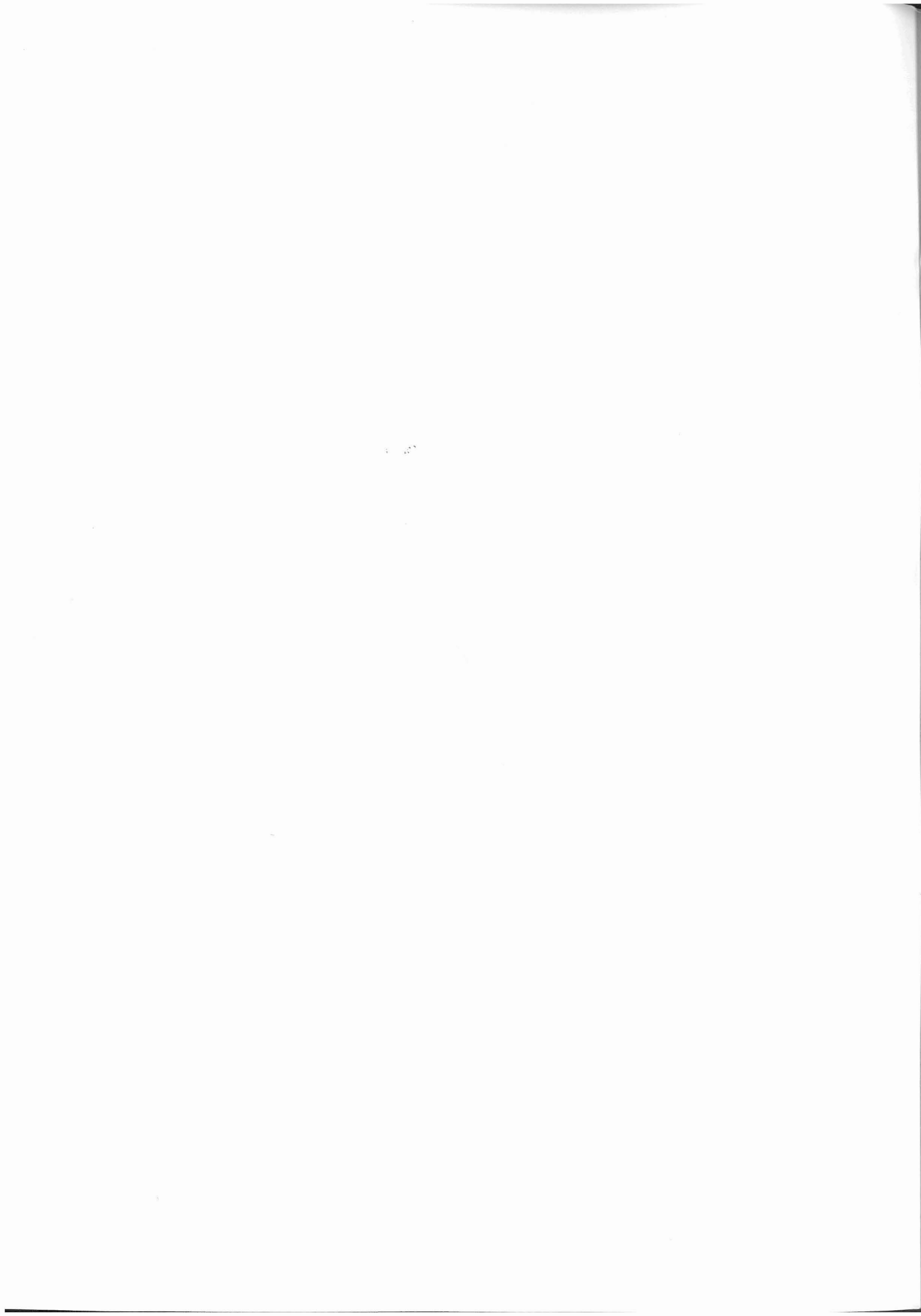
**INSTITUUT VOOR SCHEIKUNDIG ONDERZOEK**  
Tervuren

**RIJKSSTATION VOOR ZEEVISSERIJ (CLO-GENT)**  
Oostende

# **Evolutie van de gehalten aan zware metalen in sedimenten van het Belgisch Continentaal Plat (1979 - 1995)**

M. GUNS, P. VAN HOEYWEGHEN, H. BAETEN,  
M. HOENIG (ISO, Tervuren)  
W. VYNCKE, H. HILLEWAERT (RVZ, Oostende)





INSTITUUT VOOR SCHEIKUNDIG ONDERZOEK  
Tervuren

RIJKSSTATION VOOR ZEEVISSERIJ (CLO-GENT)  
Oostende

# Evolutie van de gehalten aan zware metalen in sedimenten van het Belgisch Continentaal Plat (1979 - 1995)

M. GUNS, P. VAN HOEYWEGHEN, H. BAETEN,  
M. HOENIG (ISO, Tervuren)  
W. VYNCKE, H. HILLEWAERT (RVZ, Oostende)



218147

MINISTERIE VAN MIDDELEN EN LANDBOUW  
Bestuur voor Onderzoek en Ontwikkeling

INSTITUUT VOOR SCHEIKUNDIG ONDERZOEK  
Tervuren

RIJKSTATION VOOR ZEEVISSERIJ (CLO-GENT)  
Oostende

## Samenvatting

De resultaten van de analyses bekomen op dertien stations, waarvan vier baggerloswallen, op het Belgisch Continentaal Plat in de periode 1979-1995 worden besproken. Kwik, lood, koper, zink, chroom, nikkel en aluminium werden geanalyseerd. Voor de jaren 1979-1989 betrof het telkens negen zgn. "historische " monsters die in het laboratorium als referentie werden bewaard ( $< 2000 \mu\text{m}$  fractie). Vanaf 1990 worden de analyses in het kader van het monitoringprogramma van de Verdragen van Oslo en Parijs ter voorkoming van de verontreiniging van de zee jaarlijks op veertien stations uitgevoerd, zowel op het bulksediment ( $< 2000 \mu\text{m}$ ) als op de kleifractie ( $< 63 \mu\text{m}$ ).

In de meeste stations vertoonden de concentraties aan zware metalen een dalende trend, hetgeen wijst op lagere inputs in het mariene milieu. Dit is een aanduiding dat de diverse maatregelen die vooral op internationaal niveau (Verdrag van Parijs, Europese Unie) getroffen worden om deze inputs te verminderen, hun invloed doen gelden.

Geografisch gezien bleken de gehalten met de afstand tot de kust te dalen.

Uit vergelijking met achtergrondconcentraties uit de pre-industriële periode werden verrijksfactoren berekend. Deze waren hoog voor kwik, lood en zink.

Bij toepassing van ecotoxicologische beoordelingscriteria werden de NOEC ("No observed effect concentration") nergens overschreden. Op vijf stations, waarvan drie loswallen, lagen de concentraties echter boven de voorgestelde laagste toxiciteitsgrens (met ingebouwde veiligheidscoëfficiënt van 10), en verdienen dan ook verder gevolgd te worden.

## 1. INLEIDING

Sedimenten kunnen belangrijke hoeveelheden contaminanten, waaronder zware metalen, adsorberen. Dit is vooral het geval in de fijne korrelfracties (< 63 µm) (Salomons et al., 1988). De sedimenten vormen reservedepots voor deze stoffen (Skei, 1992). Deze contaminanten, of althans het biobeschikbaar gedeelte ervan, kunnen door mariene organismen worden opgenomen en geaccumuleerd. Alhoewel de opname in de organismen niet rechtstreeks vanuit het sediment gebeurt, werd aangetoond dat door fysico-chemische processen in het sediment metalen in oplossing kunnen komen en aldus beschikbaar voor opname worden (Everaarts en Boere, 1989; Phelps en Warner, 1990; Samant et al., 1990). Zij kunnen aldus afhankelijk van de concentratie én voor de biota én voor de mens toxisch zijn. De studie van de zware metalen en van de andere verontreinigingen in sediment is dan ook belangrijk te noemen.

In onderhavig rapport worden de resultaten van de analyses bekomen op dertien stations op het Belgisch Continentaal Plat in de periode 1979-1995 weergegeven. Kwik, lood, koper, zink, chroom, nikkel en aluminium werden geanalyseerd. Voor de jaren 1979-1989 betreft het telkens negen zg. "historische" monsters die in het laboratorium als referentie werden bewaard. De afkomst is in tabel 1 vermeld.

Tabel 1. Concentraties aan zware metalen in de < 2 mm fractie (mg/kg droog gewicht) 1979-1995 (a)

KWIK	ZO	S1	S2	WD	OD	GB	BB	SB	NO
1979	0.28	0.12		0.05		0.03	0.01		
1980	0.47		0.22	0.07	0.02	0.01	0.01		
1981	0.71	0.39	0.03	0.07	0.04	0.01	<0.01		
1982	0.48	0.17	0.03		0.02	0.01	0.02		
1983	0.55	0.23	0.02	0.02	0.02	<0.01	<0.01		
1984	0.66	0.35	0.23	0.05	0.02	0.01	<0.01		
1985	0.50	0.18	0.04	0.01	0.03	0.05	<0.01	0.01	0.02
1986	0.35	0.25	0.03	0.04	0.03	0.02	<0.01	0.01	0.01
1987	0.16	0.08	0.01	0.05	0.03	0.01	<0.01	<0.01	<0.01
1988	0.17	0.07	0.01	0.02	0.04	0.01	0.01	<0.01	<0.01
1989	0.11	0.10	0.16	0.05	0.05	0.01	<0.01	<0.01	0.02
1990	0.25		0.02	0.03		0.01	0.01	0.01	0.01
1991	0.17		0.03	0.03	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01
1992	0.17		0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03
1993	0.28	0.06	0.07	0.06	0.02	0.02	<0.01	0.01	0.02
1994	0.11	0.04	0.01	0.03	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
1995	0.03	0.14	<0.01	0.03	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

Tabel 1. (vervolg)

LOOD	ZO	S1	S2	WD	OD	GB	BB	SB	NO
1979	24.5	16.6		7.4	12.6	4.2	5.6		
1980	33.7			17.5	4.1	6.6	4.8		
1981	58.5	46.2	12.9	15.0	4.4	3.9	8.3		
1982	41.2	18.6	15.0		6.1	10.3	4.3		
1983	36.2	27.0	12.8	12.6	6.2	11.1	11.3		
1984	52.3	34.7	12.1	9.9	5.3		7.1		
1985	44.2	23.5	4.5	4.7	3.1	7.2	3.3		3.2
1986		25.8	4.7	8.8		9.8			7.6
1987	26.3	17.3		10.2	10.2		2.9	5.6	3.9
1988	26.4	7.7	4.3	3.0	3.0	6.4	6.8		3.2
1989	18.0	15.5	9.5	11.8	3.8	3.1		2.1	1.9
1990	44.0		8.2	10.0	6.3	6.6	4.4	4.7	4.6
1991	42.0		5.3	13.1	4.5	11.2	2.2	4.2	5.9
1992	35.0		8.2	10.8	6.5	8.6	6.6	5.2	8.2
1993	25.0	6.1	1.9	12.6	1.5	1	1.8	1.3	1.0
1994	18.0	3.3	2.3	5.4	2.3	1.6	3.4	1.3	1.6
1995	13.0	23.0	3.5	5.4	8.3	2.5	2.0		3.2

KOPER	ZO	S1	S2	WD	OD	GB	BB	SB	NO
1979		4.3		3.1	6.0	3.0	3.3		
1980	11.5	2.9	3.3		3.7	4.5	2.6		
1981	16.5		2.4	4.5	4.3	1.0	3.7		
1982	13.3	5.7	2.0		4.7	1.9	1.3		
1983	13.2	10.8	1.4	1.7	4.4	3.4	<1		
1984	15.9	11.2	1.9	2.8	5.3	4.3	1.2		
1985	13.7	7.6	2.5	1.6	3.3		1.4	1.0	2.2
1986			4.6	4.1	6.1	4.6	2.4	3.6	4.2
1987	9.7	4.0		4.3	2.3	5.8	<1	1.8	1.0
1988	9.0		1.3	2.2	<1	<1	<1	<1	3.2
1989	8.1	5.2	2.5	1.0	2.5	1.8	1.3	1.3	2.7
1990	13.4		2.0	1.8	3.2	2.1	2.3	1.5	1.6
1991	11.2		0.8	3.3	1.6	1.8	0.6	0.5	0.9
1992	12.0		3.2	4.3	2.0	3.2			3.4
1993		1.9	0.5	4.4	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3
1994	3.8	1.1	0.7	3.3	0.7	0.7	1.1	0.3	0.5
1995	4.4	7.4	1.1	3.2	2.4	1.5	1.0	0.1	1.4

Tabel 1. (vervolg)

ZINK	ZO	S1	S2	WD	OD	GB	BB	SB	NO
1979	60.6	30.0		17.8		12.1	9.3		
1980	102.0	8.2	22.7	24.7	7.2	11.5	9.4		
1981	135.0	16.4	26.3	25.7	11.5	6.6	21.5		
1982	108.0	47.0	22.9		8.8	11.4	9.3		
1983	112.0	63.3	21.6	15.7	8.2	8.2	6.0		
1984	133.0	86.2	19.7	23.9	8.6	8.4	7.0		
1985	114.0	50.8	18.4	16.2	7.9	15.8	5.0	4.5	5.8
1986		66.3	20.4	20.7	8.6	12.9	12.6	6.5	9.3
1987	64.9	38.0	15.1	27.3	8.2	11.3	4.8	5.9	6.0
1988	67.3	24.9		15.1	8.5	7.8	5.2	8.5	8.3
1989	54.8	33.4	15.3	25.3	7.4	11.8	5.4	7.4	13.7
1990	131.0		15.0	20.0	18.0	22.0	19.0	11.0	9.0
1991	106.0		12.6	23.0	11.0	27.0	9.0	8.0	12.0
1992	118.0		32.4						
1993	163.0	36.0	19.4		9.5	21.0	11.0	16.0	15.0
1994	70.0	14.4	13.7	32.0	9.0	8.0	13.0	7.0	6.0
1995	34.0	57.1	10.8	20.0	7.9	7.6	4.5	4.7	6.8

CHROOM	ZO	S1	S2	WD	OD	GB	BB	SB	NO
1979		15.5		25.7	6.6	4.3	5.6		
1980	39.3	15.9	11.4	13.4	1.3	2.5	4.0		
1981	104.0	54.7	18.4	18.3	9.8	6.9			
1982	42.4	29.6	10.2		8.9	9.3	8.1		
1983	42.6	37.8	11.6	9.5	6.9	2.4	1.4		
1984	50.3	45.0	12.1	13.1	7.4	7.8	7.0		
1985	47.4	27.0	10.7	13.9	6.9	7.6	7.3	6.6	4.6
1986		34.3	11.5	12.6	16.0	9.9	4.4	5.8	9.9
1987	39.4	20.0	4.9		4.7	5.9	5.4	11.5	5.2
1988	37.1	6.8	7.5	9.5	3.7	5.5	12.3	6.4	
1989	39.4	10.0	4	9.9	0.9	4.3	1.2	7.7	4.6
1990									
1991	62.0			22.0	9.7		4.6	4.5	9.8
1992	68.6		12.4	16.1	7.2	8.0	5.5	6.1	6.8
1993	36.2	6.1	6.1	22.0	4.6	4.8	5.5	5.5	4.3
1994	21.4	6.4	5.6	17.0	15.0	3.7	4.5	2.7	6.6
1995	28.0		7.2	13.0	8.3	4.9	5.3	4.1	5.6



Tabel 1. (vervolg)

NIKKEL	ZO	S1	S2	WD	OD	GB	BB	SB	NO
1979	8.0	4.3		8.4	3.0	1.8	2.0		
1980	9.8	3.4	3.1	3.9	2.5	2.5	3.0		
1981				16.8	3.1	3.1			
1982		30.8							
1983	28.0	27.9		15.4	14.0				
1984	12.9	13.6	4.8		2.5	2.4	<1		
1985	13.4	8.6	7.8	3.0	2.1	3.3	<1	1.8	<1
1986		10.2	3.1	5.4	3.9	1.0	<1	2.6	5.2
1987	10.0	5.5	<1	5.2	2.5	2.5	<1	2.7	1.6
1988	10.7	3.8	1.3	2.1	3.1	3.3	1.9	2.9	2.5
1989	12.6	7.0	2.9	2.0	1.6	3.0	1.9	1.0	6.2
1990									
1991	20.0		2.5	6.9	3.3		1.7	2.1	4.2
1992	13.0		1.9	4.8	1.8	3.0	6.3	2.0	2.6
1993	11.0	5.8	3.1	9.9	2.0	2.6	2.7	3.1	2.6
1994	11.7	2.8	3.8	8.4	4.5	2.0	2.8	2.9	6.3
1995	7.3	7.2	0.8	4.3	1.6	1.2	1.0	1.0	1.9

ALUMINIUM	ZO	S1	S2	WD	OD	GB	BB	SB	NO
1979	1.83			1.27	0.83	0.74	0.88		
1980	2.09		1.09	1.20	0.91	0.54	0.93		
1981	2.74	3.07	1.35	1.32	1.06	0.71	0.86		
1982	2.34	2.00	1.28		0.98	0.73	1.02		
1983	2.40	2.33	1.21	0.93	0.95	0.56	0.56		
1984	2.89	2.71	1.14	1.31	0.88	0.67	1.09		
1985	2.96	2.10	1.16	1.31	0.78	0.95	0.75	0.72	0.74
1986		2.42	1.20	1.46	0.91	1.11	0.77	0.99	1.21
1987	2.65	1.63	0.68	1.43	0.60	0.69	0.67	0.91	0.92
1988	2.53	1.29	0.89	1.12	0.53	0.61	0.79	1.07	0.70
1989	2.72	1.77	1.23	1.22	0.52	0.73	0.57	0.77	1.32
1990			1.50	1.00	0.90	1.10	1.10	1.10	1.60
1991			0.62	0.78	0.49	0.71	0.37	0.48	0.73
1992					0.73	1.10	1.20	1.30	1.60
1993	1.70	1.50	0.44	1.10	0.44	0.31	0.53	0.64	0.38
1994	2.50	0.56	0.42	1.30	0.61	0.44	0.61	0.62	0.47
1995	2.00	2.00	0.77	1.07	0.61	0.45	0.64	0.75	0.88

(a) ZO : Zeebrugge Oost; S1 : Loswal Zeebrugge S1; S2 : Loswal Zeebrugge S2; WD : Westdiep  
 OD : Oost Dyck; GB : Gootebank; BB : Bligh bank; SB : Scharrebank; NO : Noord

Vanaf 1990 worden de analyses in het kader van het monitoringprogramma van de Verdragen van Oslo en Parijs ter voorkoming van de verontreiniging van de zee jaarlijks uitgevoerd, zowel op het bulksediment (< 2000 µm) als op de kleifracie (< 63 µm). Vanaf dit jaar werden vier bijkomende stations in het onderzoek betrokken, m.n. Loswal Oostende, Westhinder, Oostendebank en Steendiep (tabel 2).

Tabel 2. Concentraties aan zware metalen in de < 63 µm fractie (mg/kg droog gewicht)(a)

KWIK	LO	ZO	S1	S2	WD	OD	GB	BB	SB	NO	OB	SD	WH
1990		0.23		0.27	0.74	0.16	0.10	0.17	0.14	0.37	0.29		
1991		0.16		0.26	0.25	0.15	0.15	0.13		0.09	0.27	0.27	
1992	0.19	0.20		0.27	0.21	0.11	0.15	0.11	0.11	0.10	0.26	0.15	0.15
1993	0.06	0.24	0.26	0.08	0.24	0.15	0.14	0.12	0.26	0.12	0.24	0.14	0.23
1994	0.15	0.30	0.29	0.29	0.19	0.32	0.33		0.23	0.48	0.28	0.22	0.34
1995	0.34	0.08	0.33	0.16	0.47	0.30	0.32	0.10	0.27	0.20	0.36	0.25	0.28

LOOD	LO	ZO	S1	S2	WD	OD	GB	BB	SB	NO	OB	SD	WH
1990		48.0		36.0	72.0	38.0	41.0	36.0	23.0	26.0	25.0		
1991		42.0		57.7	97.2	47.8	55.4	52.4		46.1	61.0	72.0	
1992	31.2	38.0		44.1	66.2	35.8	34.8	38.3	38.0	30.0	62.6	33.0	33.4
1993	4.6	21.0	32.2	7.8	29.1	17.3	9.2	4.3	6.3	16.0	23.6	6.6	8.1
1994	18.4	26.0	26.1	17.3	26.3	21.5	20.0		17.0	13.0	25.2	14.0	17.7
1995	35.2	16.8	38.7	16.4	56.4	32.6	47.8	23.0	11.4	21.7	36.2	20.7	26.8

KOPER	LO	ZO	S1	S2	WD	OD	GB	BB	SB	NO	OB	SD	WH
1990		25.1		47.6	34.4	49.6	76.8	65.9	50.0		34.0		
1991		15.8		17.1	30.1	21.0	21.1	24.8		21.4	27.0	25.0	
1992	14.5	15.2		19.3	43.0	19.0	15.3	23.3	30.0	15.2	48.0	18.0	20.3
1993	2.1	11.4	12.1	3.2	12.0	16.0	9.8	5.3	6.1	20.0	17.0	3.2	12.9
1994	10.7	2.0	2.0	2.4	16.0	20.0	18.0		11.0	2.4	17.0	9.3	21.0
1995	14.7	9.2	16.1	8.8	26.0	16.7	19.7	15.6	17.2	11.4	14.0	13.2	13.6

ZINK	LO	ZO	S1	S2	WD	OD	GB	BB	SB	NO	OB	SD	WH
1990		127		154	220	185	222	195	156	419	34		
1991		104		160	247	148	193	216		174	209	180	
1992	131	144		179	233	191	317	221	274	209	350	196	200
1993	55	93	124	59	111	332	103	83	167	136	110	173	220
1994	98	123	124	144	123	132	126		123	159	135	95	120
1995	107	56	114	155	229	123	163	154	115	140	110	128	94

CHROOM	LO	ZO	S1	S2	WD	OD	GB	BB	SB	NO	OB	SD	WH
1990													
1991		66		109	112	98	116	88		117	105	100	
1992	63	65		75	107	85	70	81	74	63	113	95	64
1993	20	54	52	27	56	63	35	21	24	67	45	18	33
1994	42			63	101	80				58	60	38	
1995	42	52	54	74	64	43	60	50	48	33	31	89	21

<b>NIKKEL</b>	<b>LO</b>	<b>ZO</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>WD</b>	<b>OD</b>	<b>GB</b>	<b>BB</b>	<b>SB</b>	<b>NO</b>	<b>OB</b>	<b>SD</b>	<b>WH</b>
1990													
1991		23.1		25.0	33.0	37.5	41.8	37.2		39.3	43.0	34.2	
1992	13.9	17.8		19.2	30.0	28.8	19.1	25.8	26.2	21.2	32.0	15.1	20.7
1993	8.0	21.0	21.0	11.0	18.0	39.3	19.4	17.5	17.7	28.2	19.4	12.0	25.0
1994	46.0	28.0	11.0	31.0	8.4	46.7	49.0		42.7	43.4	35.3	18.7	61.0
1995	14.7	16.5	16.2	11.8	4.3	22.1	16.7	16.0	13.1	16.5	15.3	12.2	16.5

<b>CADMIUM</b>	<b>LO</b>	<b>ZO</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>WD</b>	<b>OD</b>	<b>GB</b>	<b>BB</b>	<b>SB</b>	<b>NO</b>	<b>OB</b>	<b>SD</b>	<b>WH</b>
1990		0.34		0.58	0.64	0.34	0.29	0.23	0.22	0.37	0.33		
1991		0.46		0.58	0.68	0.39	0.24	0.47		0.23	0.75	0.49	
1992	0.31	0.27		0.54	0.63	0.28	0.28	0.42	0.47	0.19	0.54	0.32	0.21
1993	0.18	0.66	0.47	0.17	0.47	0.28	0.34	0.11	0.21	0.45	0.4	0.64	0.26
1994	0.62	0.67	0.61	0.78	0.63	0.36	0.46		0.31	0.37	0.59	0.46	0.38

(a) LO : Loswal Oostende ; ZO : Zeebrugge Oost ; S1 : Loswal Zeebrugge S1  
S2 : Loswal Zeebrugge S2 ; WD : Westdiep ; OD : Oost Dyck ; GB : Gootebank  
BB : Bligh bank ; SB : Scharrebank ; NO : Noord ; OB : Oostendebank ;  
SD : Steendiep ; WH : Westhinder

De nadruk bij deze onderzoeken wordt op de trendanalyse gelegd, alhoewel de geografische distributie ook nuttige informatie kan opleveren.

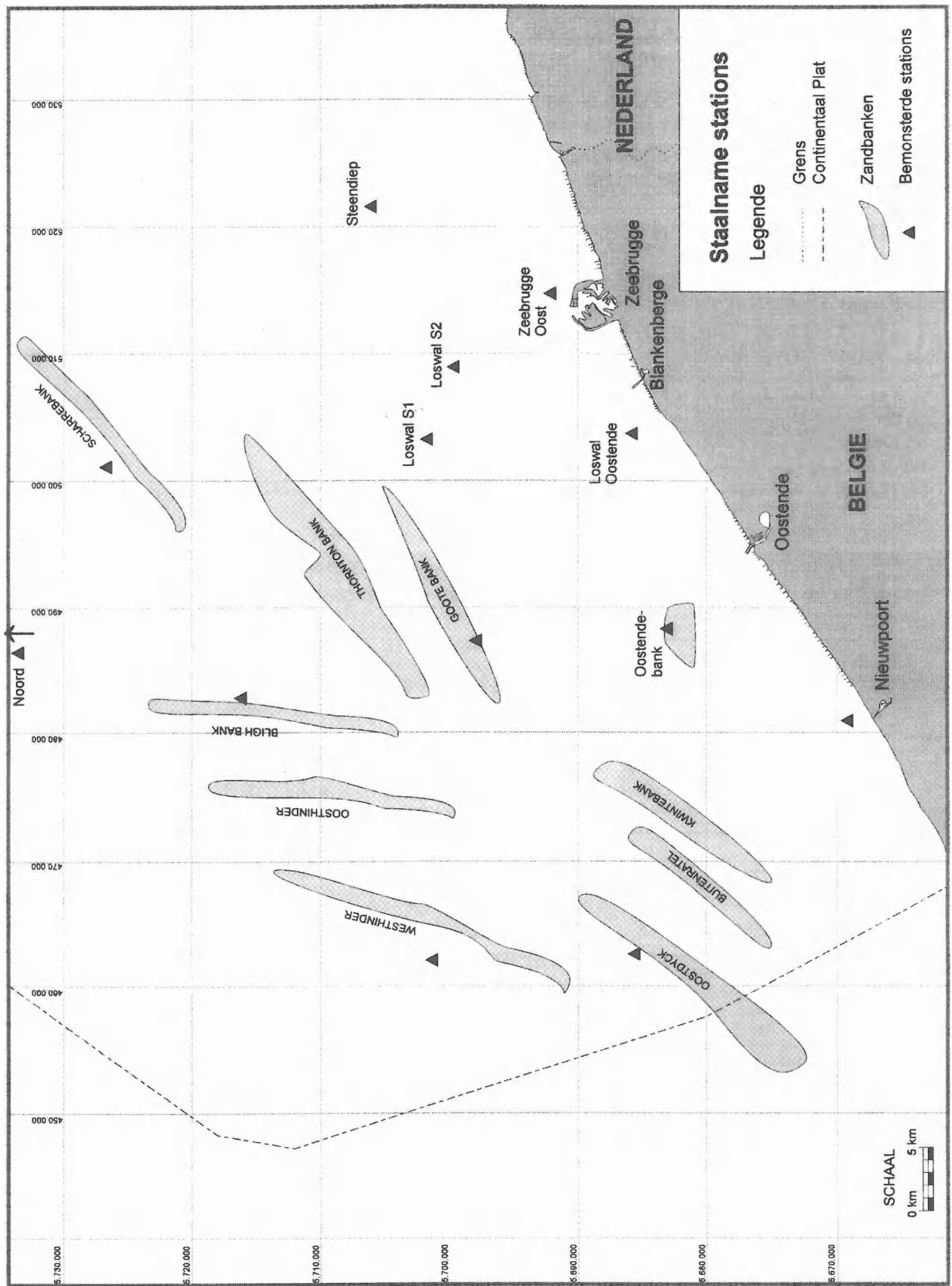


Fig. 1. Situering van de bemonsterde stations

## **2. EXPERIMENTELE METHODIEK**

### **2.1 Bemonsteringsplaatsen en -techniek**

De dertien stations zijn in figuur 1 weergegeven. Vier in het buitenestuarium van de Schelde gelegen zones zijn loswallen voor baggerspecie afkomstig van de havens van Oostende en Zeebrugge en van de vaarroutes naar deze havens en naar Vlissingen. Station "Oost Dyck" ligt in een gebied waar zand wordt gewonnen.

Op iedere monitoringzone werden met een Van Veengrijper in een straal van 100 m drie oppervlakte- monsters genomen die werden gemengd en dan bij -28 C tot verdere analyse werden bewaard. Na ontdooien werd het sediment gedroogd bij 105°C om het drogestofgehalte te bepalen. De fractie kleiner dan 2 mm ("totale fractie") werd afgezeefd. Vanaf 1990 werd ook de fractie kleiner dan 63 µm (klei) bepaald. Hiervoor werd het sediment opnieuw in water gesuspenderd en in een ultrageluidsbad gedesagregeerd. De <63 µm-fractie werd dan door nat zeven uitgewassen en gedroogd.

### **2.2 Chemische analyse**

De analyses werden respectievelijk op de < 2 mm fractie (1979-1995) en op de < 63 µm fractie (1990-1995) uitgevoerd.

#### **2.2.1. Kwikbepaling**

Ca. 1 g gedroogd en gehomogeniseerd sediment wordt nauwkeurig afgewogen in een erlenmeyer van 250 ml. Men voegt 4 ml salpeterzuur 65%, 3 ml zoutzuur 37% en 2,5 ml waterstofperoxyde toe en men kookt het geheel gedurende 15 minuten onder reflux. Na afkoelen en filtreren lengt men met gedestilleerd water aan tot 100 ml. In deze oplossing wordt het kwik na reductie met tinchloride gemeten d.m.v. vlamloze atoomabsorptie-spectrometrie.

#### **2.2.2. Bepaling van andere zware metalen**

Ongeveer 0,5g van het sediment wordt nauwkeurig afgewogen in een PTFE-proefbuis en er wordt langzaam 4 ml perchloorzuur toegevoegd. Men laat gedurende 4 uur op kamertemperatuur reageren en nadien voegt men 10 ml waterstoffluoride 48% en 1 ml salpeterzuur toe. Het geheel wordt over de nacht verwarmd op een zandbad bij 120°C. Nadien wordt nog 1 ml perchloorzuur toegevoegd en men dampd uit tot droog. Na afkoelen wordt het residu opgenomen in 2 ml salpeterzuur en aangelengd tot 50 ml met gedestilleerd water. De bepaling van de elementen Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni en Al gebeurt met een inductief gekoppeld plasma-emissiespectrometer (ICP-OES) of met atoomabsorptie met grafietoven (GFAAS).

#### **2.2.3. Kwaliteitsborging (QA) van de gebruikte methoden**

De methoden werden ook uitgevoerd op het standaard referentiemateriaal BCSS-1 (Marine sediment, National Research Council Canada); in tabel 3 worden per element de vast-gestelde en de gevonden waarden weergegeven.

Tabel 3. Analyse van standaard referentiemateriaal BCSS-1 ( $\pm$  standaardafwijking)

Element	Gevonden waarde	Referentiewaarde
Hg	0,134 mg/kg	0,129 $\pm$ 0,012 mg/kg
Cu	19,3 mg/kg	18,5 $\pm$ 2,7 mg/kg
Zn	110 mg/kg	119 $\pm$ 12 mg/kg
Pb	20,5 mg/kg	22,7 $\pm$ 3,4 mg/kg
Cd	0,29 mg/kg	0,25 $\pm$ 0,4 mg/kg
Cr	92 mg/kg	123 $\pm$ 14 mg/kg
Ni	53,6 mg/kg	55,3 $\pm$ 3,6 mg/kg
Al	5.92%	6,27 $\pm$ 0,4 %

### 2.3 Verwerking van de resultaten

Voor de trendanalyses werden regressies bepaald. De significantie van de correlatiecoëfficiënten werd op minimum  $p < 0,05$  gesteld, tenzij anders vermeld. Voor de geografische distributie werden de gemiddelden en hun standaardafwijkingen voor de jaren 1993-1995 bepaald en dit wegens de voorkomende variaties in concentraties. Deze werden als de "actuele" toestand qua belasting van de sedimenten met zware metalen beschouwd. Er werd hierbij ook t.o.v. aluminium genormaliseerd.

### 3. RESULTATEN EN DISCUSSIE

De globale resultaten van de twee fracties zijn in tabellen 1 en 2 vermeld. Door enkele wijzigingen in het algemeen monitoringprogramma zowel op het gebied van de bemonsterde stations als op dit van de te analyseren metalen ontbreken enkele data. Dit is evenwel niet van aard om de evaluatie van de gegevens sterk te beïnvloeden.

#### 3.1 Tijdtrends

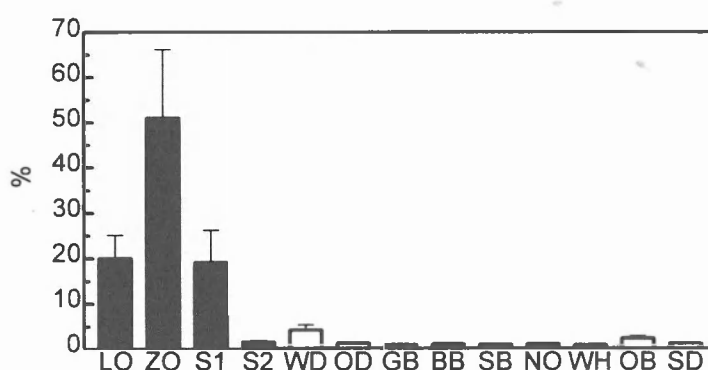


Fig. 2. Percentage < 63 µm fractie op de diverse stations (gemiddelden en standaardafwijkingen; afkortingen : zie tabel 2)

Voor het bepalen van de tijdtrends werden de zware metalen in de totale fractie (< 2 mm) bepaald. Normaal verdient het aanbeveling deze gehalten in de fractie < 63 µm te doseren daar het grootste gedeelte van de contaminanten in deze fractie wordt geadsorbeerd (ICES, 1994). Wanneer de totale fractie wordt genomen, worden de zware metalen in zekere zin gedilueerd. De hoeveelheid bewaarde monsters van 1979-1989 bleek evenwel niet voldoende te zijn om een doeltreffende scheiding van de kleifractie toe te laten vooral wegens de meestal kleine aanwezige percentages van deze fractie (fig. 2). Daarenboven bleek de toegepaste analytische methode gevoelig genoeg om accuraat de gehalten aan zware metalen, met uitzondering van cadmium, te bepalen. Voor dit laatste metaal kon alleen de fractie < 63 µm worden gebruikt. Volledigheidshalve werden ook de andere zware metalen in deze fractie bepaald.

De resultaten van de tijdtrendanalyses zijn in tabellen 4 tot 7 weergegeven. In de periode 1979-1995 (totale fractie) bleek een algemene dalende trend bij alle zware metalen vooral in de loswallen voor te komen (tabel 4). Voor de overige stations was dit minder het geval met uitzondering van koper. De gemiddelde daling per jaar bedroeg 3 tot 5 % (tabel 5). De analyse van de < 63 µm-fractie in de periode 1990-1995 bevestigde deze algemeen dalende trend, met uitzondering van kwik op de stations Oost Dyck en Gootebank waar een stijging van ca 4 % werd vastgesteld. Dit is evenwel vermoedelijk te wijten aan twee hoge waarden in de jaren 1994 en 1995 (tabel 2) en dient de volgende jaren te worden bevestigd. De dalingen werden in minder stations dan in de periode 1979-1995 waargenomen, maar dit is ongetwijfeld te wijten aan de kortere tijdsperiode (minder data). Er valt hierbij op te merken dat een aantal trendberekeningen die als niet-significant werden beschouwd, toch een waarschijnlijkheid van min. 85 % haalden. Voor cadmium werden geen significante trends waargenomen.

De daling van de gehalten aan zware metalen, vooral in of in de nabijheid van het Schelde-estuarium werd ongetwijfeld door een vermindering van de inbreng van contaminanten maar mogelijks ook door de stijging van de korrelgrootte, gekenmerkt door een daling van het aluminiumgehalte, veroorzaakt.

Tabel 4. Significante tijdtrends (regressies) voor de < 2000 µm fractie (1979-1995) <sup>(a)</sup>

Stations	Kwik	Lood	Koper	Zink	Chroom	Nikkel	Aluminium
Loswal Zeebrugge Oost	-0.745	-0.491	-0.730	-	-	-	-
Loswal Zeebrugge S1	-0.576	-0.564	-	-	-0.566°	-0.627° <sup>(d)</sup>	-0.709
Loswal Zeebrugge S2	-	-0.765	-0.474°	-0.462°	-0.622°	-	-0.657
Noord <sup>(b)</sup>	-	-	-0.519°	-	-	-	-
Bligh bank	-	-0.526	-0.642	-	-	-	-
Scharrebank <sup>(c)</sup>	-	-0.718	-0.730	-	-0.623	-	-
Oost Dyck	-	-	-0.770	-	-	-	-0.727
Gootebank	-	-	-0.424°	-	-	-	-
Westdiep	-	-	-	-	-	-	-

<sup>(a)</sup> p < 0,05 uitgenomen r° < 0,1.

<sup>(b)</sup> vanaf 1985

<sup>(c)</sup> vanaf 1987

<sup>(d)</sup> vanaf 1984

Tabel 5. Gemiddelde procentuele daling per jaar (fractie < 2000 µm ; 1979 -1995)

Stations	Kwik	Lood	Koper	Zink	Chroom	Nikkel	Aluminium
Loswal Zeebrugge Oost	-5.0	-3.1	-3.8	-	-	-	-3.0
Loswal Zeebrugge S1	-5.1	-4.4	-	-	-5.2	-5.1 <sup>(c)</sup>	-4.0
Loswal Zeebrugge S2	-	-5.8	-3.9	-2.4	-3.9	-	-3.8
Noord <sup>(a)</sup>	-	-	-6.7	-	-	-	-
Bligh bank	-	-3.7	-4.8	-	-	-	-
Scharrebank <sup>(b)</sup>	-	-9.2	-10.0	-	-5.3	-	-
Oost Dyck	-	-	-4.9	-	-	-	-3.1
Gootebank	-	-	-3.5	-	-	-	-
Westdiep	-	-	-	-	-	-	-
Gemiddeld	-5.1	-5.3	-5.2	-2.8	-4.5	-4.3	-3.1

<sup>(a)</sup> vanaf 1985

<sup>(b)</sup> vanaf 1987

<sup>(c)</sup> vanaf 1984

De belangrijkste inputs in het Belgische kustgebied komen van de Schelde. Deze bedroegen in 1993 : 3,5 t cadmium, 37 t lood, 124 t koper, 2,6 t kwik en 243 t zink (Paris Commission, 1995). De concentraties zijn de laatste jaren duidelijk verminderd (NSTF, 1993), zodat de daling van de tijdens onderhavige studie vastgestelde concentraties hiermede in overeenstemming is. In de baggerloswallen, waar jaarlijks 6 miljoen m<sup>3</sup> havensediment (20 % van de totale hoeveelheid) wordt gedumpt, kan deze daling ook mede door een verlaging van de contaminatie van deze specie worden veroorzaakt. Precieze cijfers over de evolutie van de gehalten aan zware metalen in baggerspecie zijn voor de beschouwde jaren evenwel niet



beschikbaar zodat een vergelijking moeilijk kan worden gemaakt. In 1987 stelden Van Alsenoy et al. (1993) evenwel vast dat de sedimenten in de kusthavens twee- tot driemaal meer zware metalen bevatten dan in de bij de kust gelegen stations.

De daling van het aluminiumgehalte op diverse stations (tabel 4) wijst op een kleinere adsorptiecapaciteit van de sedimenten zodat het gehalte aan zware metalen kan dalen. Tussen aluminium en de diverse metalen werd trouwens een goed verband genoteerd. (zie 3.2). Hiertegenover staat echter dat alleen op loswal Zeebrugge S1 een significant dalende trend van de kleifracctie in dezelfde periode ( $r = -0,752$ ;  $p < 0,001$ ) werd vastgesteld, dat de procentuele daling van aluminium per jaar meestal lager is dan de overeenkomstige concentratieverminderingen van de andere zware metalen en dat niet op alle stations waar een significante daling van deze contaminanten werd vastgesteld, een daling van aluminium werd vastgesteld. Aluminium is trouwens zelf een - weliswaar minder belangrijk - contaminant.

Tabel 6. Significante tijdtrends (regressies) 1990 - 1995 voor  $< 63 \mu\text{m}$ -fractie <sup>(a)</sup>

Stations	Kwik	Lood	Koper	Zink	Chroom	Nikkel	Cadmium
Loswal Oostende	-	-	-	-	-	-	-
Loswal Zeebrugge Oost	-	-0.946	-0.865	-	-0.915	-	-
Loswal Zeebrugge S1	-	-	-	-	-	-	-
Loswal Zeebrugge S2	-	-0.712°	-0.809	-	-	-	-
Noord	-	-	-	-0.752°	-0.892	-	-
Bligh bank	-0.847	-	-	-	-	-0.885°	-
Scharrebank	-	-	-0.824°	-	-	-	-
Oost Dyck	+0.756°	-	-	-	-0.854°	-	-
Gootebank	+0.872	-	-	-	-	-	-
Westdiep	-	-	-	-	-	-0.983	-
Oostendebank	-	-	-	-	-0.872°	-	-
Steendiep	-	-	-	-	-	-	-
Westhinder	-	-	-	-	-	-	-

<sup>(a)</sup>  $p < 0,05$  uitgenomen  $r^\circ < 0,1$

Tabel 7. Gemiddelde procentuele daling of stijging per jaar 1990 - 1995 (< 63 µm-fractie)

Stations	Kwik	Lood	Koper	Zink	Chroom	Nikkel	Cadmium
Loswal Oostende	-	-	-	-	-	-	-
Loswal Zeebrugge Oost	-	-13.2	-16.2	-	-5.7	-	-
Loswal Zeebrugge S1	-	-	-	-	-	-	-
Loswal Zeebrugge S2	-	-15.2	-20.7	-	-	-	-
Noord	-	-	-	-13.7	-17.2	-	-
Bligh bank	-7.9	-	-	-	-	-15.2	-
Scharrebank	-	-	-17.2	-	-	-	-
Oost Dyck	+3.6	-	-	-	-11.5	-	-
Gootebank	+4.7	-	-	-	-	-	-
Westdiep	-	-	-	-	-	-22.5	-
Oostendebank	-	-	-	-	-18.2	-	-
Steendiep	-	-	-	-	-	-	-
Westhinder	-	-	-	-	-	-	-
Gemiddeld	0.13	-14.2	-18.0	-13.7	-13.2	-18.9	0

Wat er ook van zij, de totale concentratie aan zware metalen vertoont een dalende trend, zodat de kans groot is dat het voor de mariene organismen biobeschikbare gedeelte eveneens afneemt. Een aanduiding hiervoor is dat deze concentratievermindering goed overeenkomt met de daling van de gehalten aan kwik, cadmium, lood en chroom die in bodemorganismen in de periode 1981-1994 op de stations Zeebrugge S1, Zeebrugge S2, Westdiep en Bligh Bank werd vastgesteld. In garnaal (*Crangon crangon*), zeester (*Asterias rubens*), zwemkrab (*Liocarcinus holsatus*) en heremietkreeft (*Pagurus bernhardus*) was de jaarlijkse daling hierbij 4 tot 8 % (Vyncke et al., 1995).

Ook in diverse andere gebieden van de Noordzee werden dalingen van de concentraties aan zware metalen in sediment en in biota vastgesteld (NSTF, 1993). In hetzelfde gebied van het Belgische Belgisch Continentaal Plat vonden Van Alsenoy et al. (1993) geen markante verschillen tussen de waarnemingen van 1972 en 1997. Dit zou erop wijzen dat de in onderhavige studie vastgestelde dalingen zich pas vanaf de jaren tachtig begonnen te manifesteren.

### 3.2. Geografische verschillen

Voor het nagaan van eventuele ruimtelijke verschillen in de gehalten aan zware metalen wordt een normalisatie van de data aangeraden (Windom et al., 1989; Loring, 1991; Rowlatt en Lovell, 1994; ICES, 1994). Deze normalisatie dient om een onderscheid te maken tussen de gehalten die op natuurlijke wijze voorhanden kunnen zijn en de contaminatie van antropogene oorsprong. Hierbij wordt vooral aandacht besteed aan de invloed van de korrelgrootte, daar de zware metalen hoofdzakelijk in de fijne fracties (<63 µm) voorkomen. De normalisatie kan granulometrisch of geochemisch gebeuren. In dit laatste geval wordt dikwijls aluminium, als voornaamste bestanddeel van de fijnkorrelige aluminosilicaten, genomen. Er dient te worden opgemerkt dat de normalisatie van de sedimentsamenstelling (invloed van het gebied) en van de zware metalen zelf blijkt af te hangen en dan ook aanleiding tot misinterpretatie kan geven wanneer een normalisatietechniek verkeerd wordt

toegepast. (Bostrom *et al.*, 1978; Loring, 1991; Din, 1992). Vooral bij lage concentraties aan fijne korrel fractie blijkt dit het geval te zijn (ICES, 1994b).

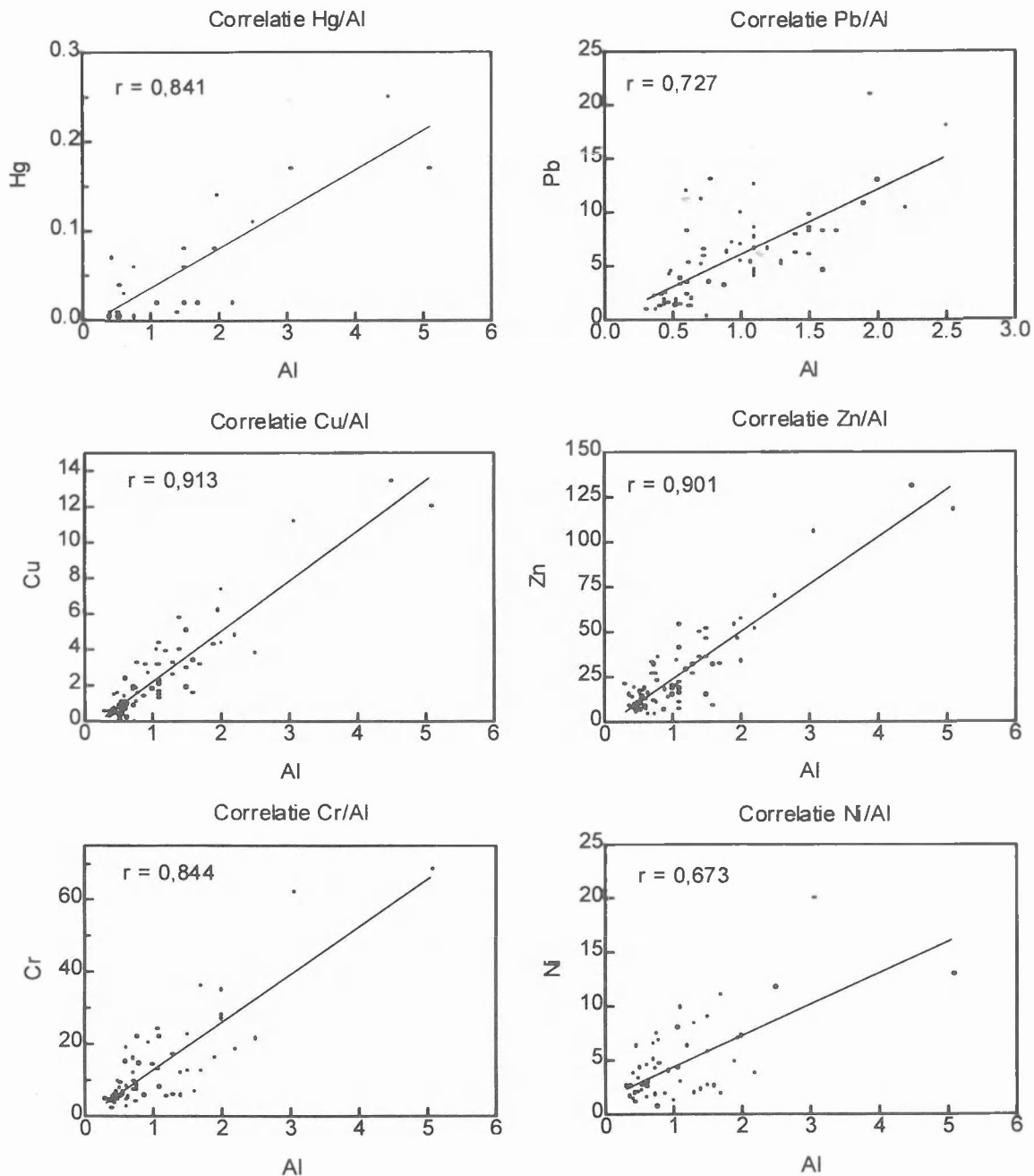


Fig. 3. Correlaties tussen de zware metalen en aluminium (<2000 µm fractie)

Voor het huidige onderzoek werd voor de normalisatie t.o.v. aluminium geopteerd. Tussen de individuele zware metalen en aluminium bleek immers een bevredigende correlatie te bestaan (fig. 3). De intercepten waren, met uitzondering van koper en nikkel, niet significant. Significante intercepten kunnen misleidende genormaliseerde waarden geven (Rowlatt, 1996). Voor koper en nikkel was dit respectievelijk  $-0,6$  en  $+1,5$  mg/kg ( $p < 0,05$ ), hetgeen respectievelijk een lichte onderschatting en overschatting van de werkelijke concentraties geeft.

De gemiddelden met standaardafwijking worden in figuur 4 weergegeven. Volledigheidshalve en ter vergelijking werden ook de niet genormaliseerde totale concentraties opgenomen. Na normalisatie bleken de concentratieverschillen tussen de diverse stations minder uitgesproken te zijn dan dit het geval was wanneer niet werd genormaliseerd.

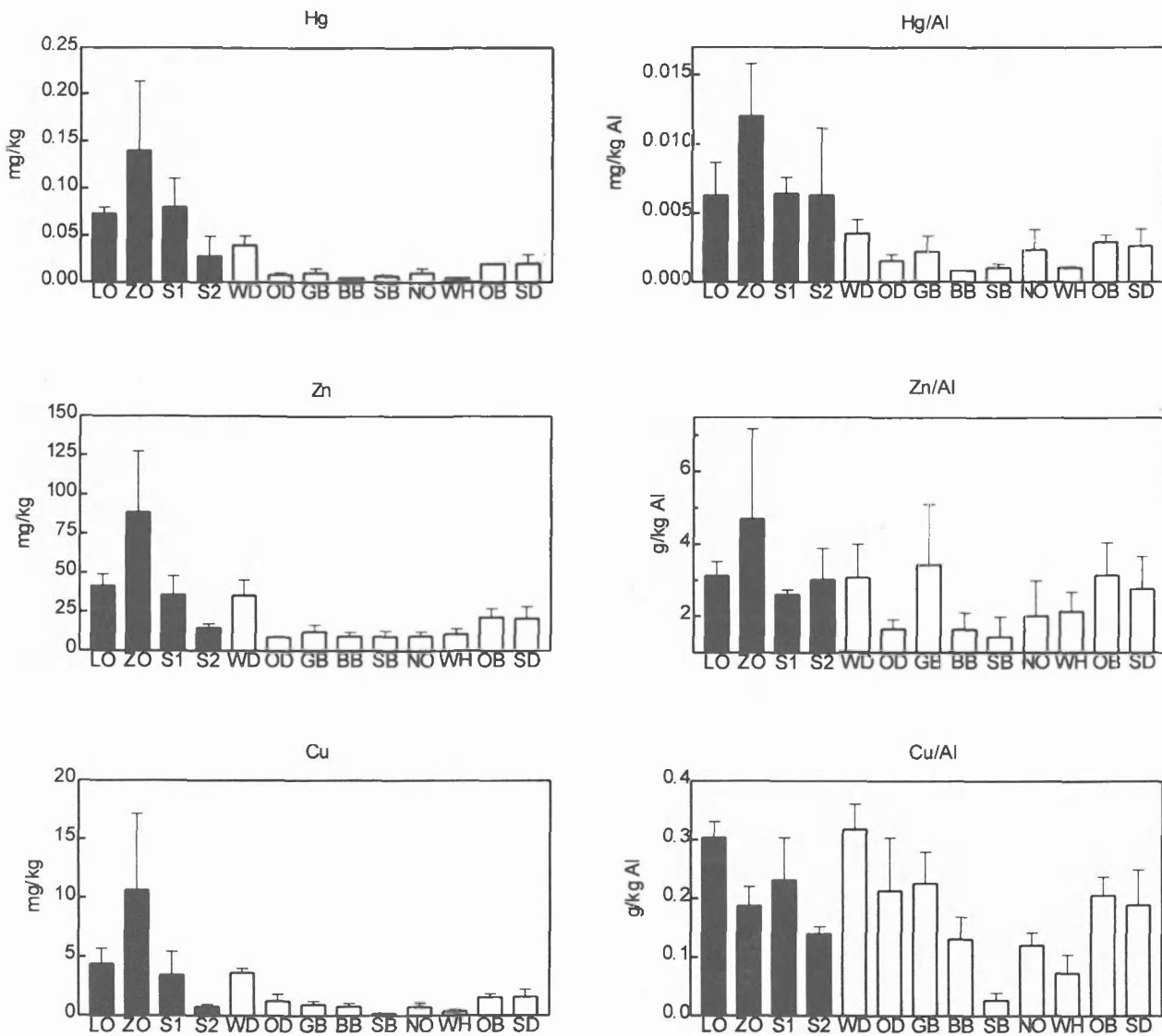


Fig. 4. Concentraties aan zware metalen en genormaliseerde zware metalen 1993-1995 (gemiddelden en standaardafwijkingen)

In dit laatste geval vertoonden de loswallen (uitgenomen Zeebrugge S2) en het station Westdiep voor alle zware metalen duidelijk hogere gehalten. De genormaliseerde waarden bleken echter wel van de afstand tot de kust af te hangen, zodat er geen echte tegenspraak met de vorige vaststelling is.

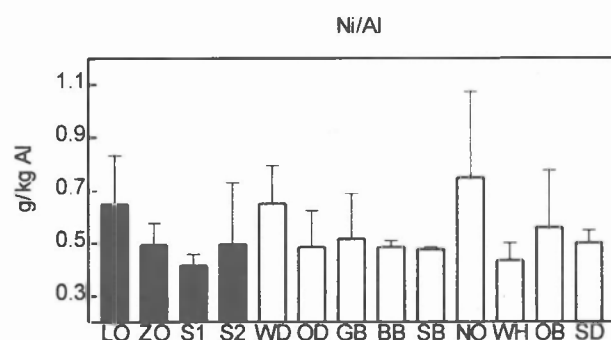
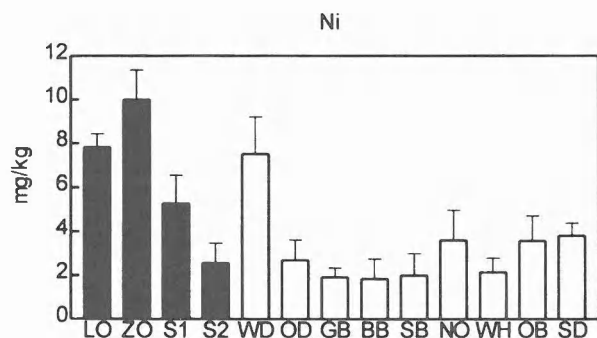
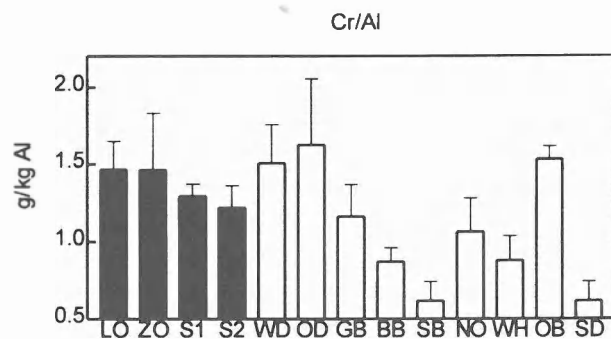
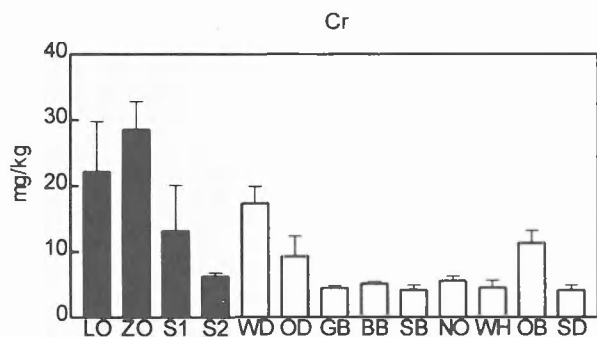
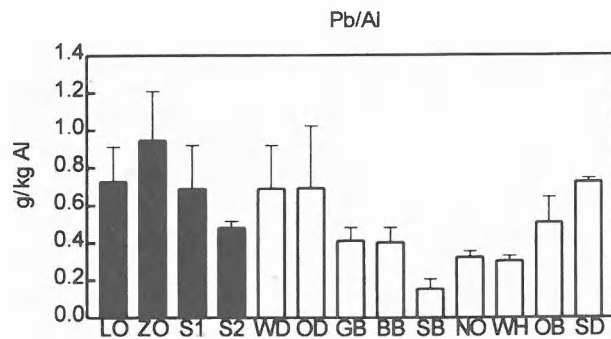
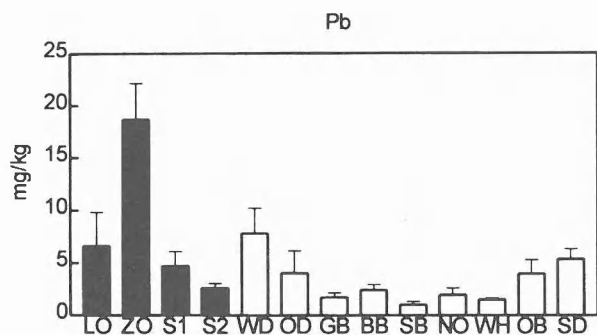


Fig. 4. Vervolg

LO: Loswal Oostende

ZO: Zeebrugge Oost

S1: Loswal Zeebrugge S1

S2: Loswal Zeebrugge S2

WD: Westdiep

OD: Oost Dyck

GB: Grotebank

BB: Bligh bank

SB: Scharrebank

NO: Noord

WH: Westhinder

OB: Oostendebank

SD: Steendiep

Met uitzondering van nikkel werden significante correlaties tussen de concentraties en de afstand tot de kust genoteerd (fig. 5). De contaminatie met zware metalen bleek aldus gemiddeld het hoogst dicht bij de kust te zijn en daalde naar zee toe. Dit verschijnsel werd ook op andere plaatsen in de Noordzee vastgesteld (Rowlatt en Lovell, 1994; Rowlatt en Davies, 1995), alhoewel in bepaalde gebieden (o.m. Doggerbank) toch verhoogde concentraties werden vastgesteld (Everaarts en Fischer, 1992). Analoge onderzoeken door Van Alsenoy et al. (1993) in hetzelfde gebied van het Belgisch Continentaal Plat in 1987-1988 uitgevoerd, gaven vergelijkbare waarden.

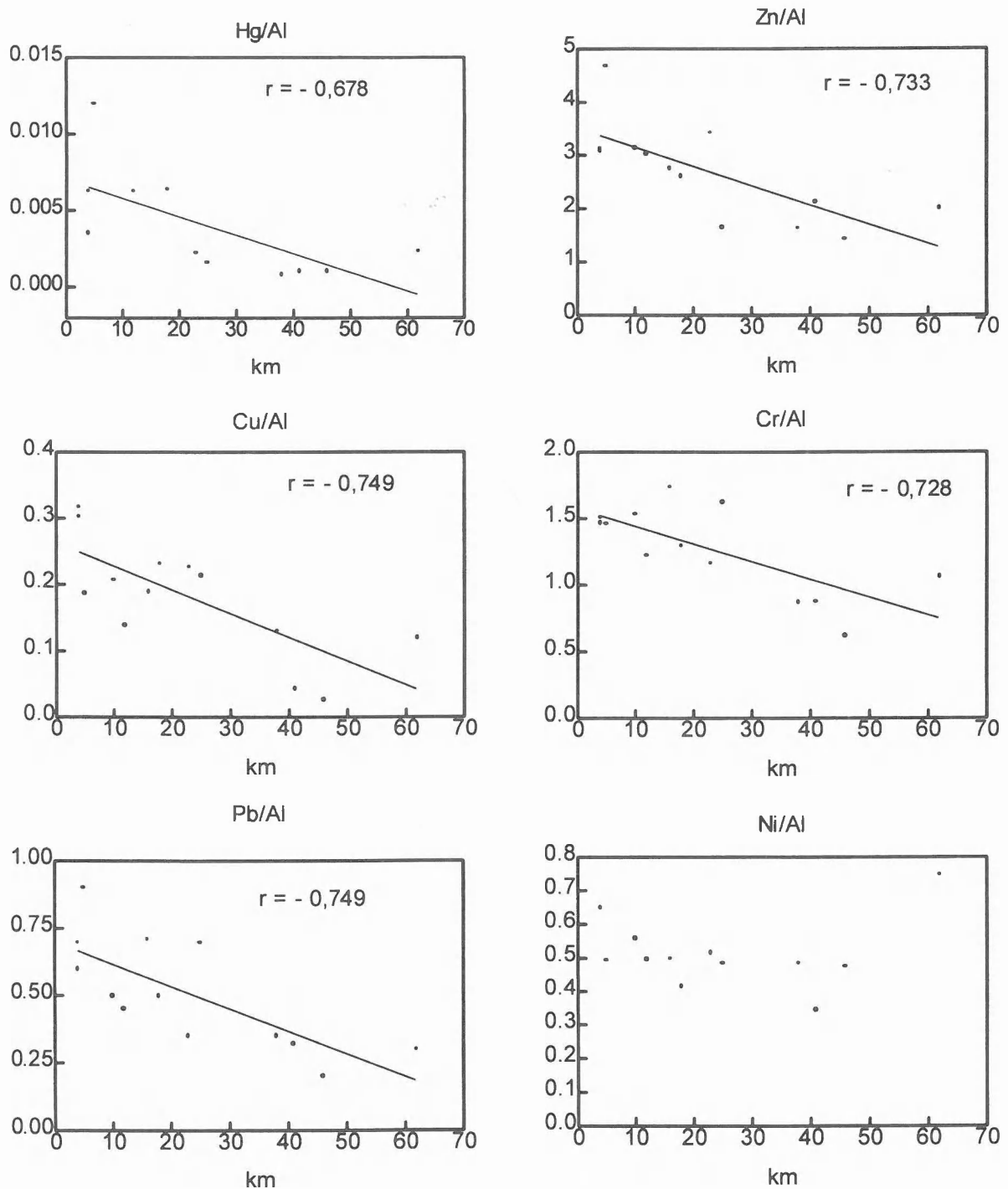


Fig. 5. Correlatie tussen het gehalte aan genormaliseerde metalen en de afstand tot de kust

De hogere totale gehalten in drie op de vier loswallen komen goed overeen met de resultaten van de analyses van zware metalen in diverse bodemorganismen. Strandschelp (*Spisula subtruncata*) en anemoon (*Sagartia troglodytes*) bevatten ca tweemaal meer lood in de loswallen (samen beschouwd) dan in de andere stations. Chroom gaf eveneens tweemaal hogere waarden in strandschelp en zwemkrab (*Liocarcinus holsatus*) (Vyncke et al., 1995).

### 3.3. Verrijkingsfactoren

In opdracht van de Commissie van het Verdrag van Parijs ter voorkoming van de verontreiniging van de zee werden door een werkgroep een reeks voorlopige achtergrond- of referentieconcentraties voor diverse gebieden voorgesteld (Anon., 1997). Dit zijn concentraties van de pre-industriële periode en worden meestal uit sediment afkomstig van boringen bekomen. Door de actuele genormaliseerde concentraties te delen door de genormaliseerde achtergrondconcentraties worden verrijkingsfactoren ("enrichment factors") bekomen). In tabel 8 worden deze referentiewaarden voor de Noordzee en de berekende

Tabel 8. Verrijkingsfactoren voor zware metalen in sediment

Metaal/Al	Achtergrond concentratie (ppm/%)	Min.-max.	Mediaan
Kwik	0.004	2.08-29.93	7.33
Cadmium	0.016	-	-
Lood	3.12	0.49-3.03	1.87
Zink	14.5	0.98-3.24	1.94
Chroom	10.18	0.61-1.59	1.23
Nikkel	4.79	0.87-1.56	1.03
Koper	3.61	0.33-0.88	0.59

verrijkingsfactoren vermeld. Deze gegevens dienen met de nodige voorzichtigheid te worden geïnterpreteerd, daar zandige bodems afwijkingen kunnen geven (Anon., 1997). Zij geven evenwel een algemeen beeld van de toename in concentraties van zware metalen. Vooral de verrijking met kwik bleek sterk te zijn (x 7), gevolgd door lood en zink (ca. 2x). De stijging van chroom was matig (23 %) en voor nikkel en koper werden geen markante wijzigingen genoteerd. Voor koper lag de verrijkingsfactor zelfs beneden de referentiewaarde. Van Alsenoy et al. (1993) kwamen tot dezelfde conclusie alhoewel zij ijzer als normalisator gebruikten. In diverse andere kustgebieden van de Noordzee werden eveneens concentratieverhogingen vastgesteld (NSTF, 1993b).

### 3.4. Ecotoxicologische beoordeling

In opdracht van de Commissie van Parijs heeft een werkgroep een reeks ecotoxicologische beoordelingscriteria (EAC - Ecotoxicological Assessment Criteria) o.m. voor sediment opgesteld (Anon., 1997b). Hierbij wordt de laagste bekende concentratie waarbij nadelige effecten werden vastgesteld ("NOEC - No observed effect concentration") als maatstaf genomen (bovenste grens) en wordt een veiligheidscoëfficiënt van 10 toegepast (onderste grens). Tabel 9 geeft deze EAC weer. Op geen enkel station werd de bovenste grens overschreden. Voor de onderste grens was dit het geval op vijf stations. Er valt hierbij te onderstrepen dat drie stations hiervan baggerloswallen zijn. Deze gebieden verdienen dan ook verder een bijzondere aandacht.

Tabel 9. Overschrijding van de laagste EAC (a)

	EAC	LO	ZO	S1	WD	SD
Kwik	0.05-0.5	+	+	+		
Zink	50-500		+			
Koper	5-50		+			
Lood	5-50	+	+		+	+
Chroom	10-100	+	+	+	+	
Nikkel	5-50	+	+		+	

(a) EAC : "Ecotoxicological assessment criterium" (mg/kg droog gewicht)

### 4. CONCLUSIES

In de periode 1979-1995 bleek een algemene dalende trend bij kwik, lood, zink, koper, chroom, nikkel en aluminium voor te komen. Dit was vooral het geval in de loswallen voor baggerspecie, die in het buitenestuarium van de Schelde gelegen zijn. De gemiddelde daling per jaar bedroeg 3 tot 5 %. Gezien dit ook in andere gebieden van de Noordzee werd waargenomen wijst dit op een vermindering van de toevoer van contaminanten en zou een aanduiding zijn dat de diverse maatregelen die vooral op internationaal niveau (Verdrag van Parijs, Europese Unie) getroffen werden om deze inputs te verminderen, hun invloed doen gelden.

Geografisch gezien bleken de concentraties aan zware metalen, na normalisatie t.o.v. aluminium, met de afstand tot de kust af te nemen. Ook hier vertoonden de meeste loswallen de hoogste waarden.

Vergeleken met achtergrondwaarden bleken vooral kwik, lood en zink in de loop der tijden aangerijkt te zijn.

Bij toepassing van ecotoxicologische beoordelingscriteria werden de NOEC ("No observed effect concentration") nergens overschreden. Op vijf stations, waarvan drie loswallen, lagen de concentraties echter boven de voorgestelde laagste toxiciteitsgrens (met ingebouwde veiligheidscoëfficiënt van 10), en verdienen dan ook verder gevolgd te worden.



## **Bibliografie**

Anon. (1997) : Report of the OSPAR/ICES Workshop on the overall evaluation and update of background/reference concentrations for nutrients and for contaminants in sea water, biota and sediment. Presented at the Environmental Assessment and Monitoring Committee of the Oslo and Paris Conventions, April 1997.

Anon. (1997b) : Report of the third OSPAR Workshop on ecotoxicological assessment criteria. Presented at the Environmental Assessment and Monitoring Committee of the Oslo and Paris Conventions, April 1997.

Bostrom, K., Burman, B., Ponter, C., Brandlof, S en Alm, B. (1978) : Geochemistry, mineralogy, and origin of the sediments in the Gulf of Bothnia. *Finnish Marine Research* **224**, 8-36.

Din, Z. (1992) : Use of aluminium to normalize heavy-metal data from estuarine and coastal sediments of Straits of Melaka. *Marine Pollution Bulletin* **24**, 484-491.

Everaarts, J. en Boere, J. (1989) : Cadmium in seawater, marine sediment and the benthic invertebrate *Arenicola marina* (Annelida, Polychaeta); an experimental approach. In : *Proceedings 21st EMBS, Gdansk, Polen*, p. 559-574.

Everaarts, J. en Fischer, C. (1992) : The distribution of heavy metals (Cu, Zn, Cd, Pb) in the fine fraction of surface sediments of the North Sea. *Netherlands Journal of Sea Research* **29**, 323-331.

ICES (1994) : Guidelines for the use of sediments in marine monitoring in the context of Oslo and Paris Commissions programmes. In : *Report of the ICES Advisory Committee on the Marine Environment, 1993*. ICES Cooperative Research Report N° 198, International Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen, p. 45-57.

ICES (1984b) : Report of the Advisory Committee on the Marine Environment, 1994. ICES Cooperative Research Report N° 204. International Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen, p. 28.

Loring, D. (1991) : Normalization of heavy metal data from estuarine and coastal sediments. *ICES Journal of Marine Science* **48**, 101-115.

NSTF (1993) : North Sea Task Force : North Sea Quality Status Report 1993. Oslo and Paris Commissions, Londen, 132 pp.

NSTF (1993b) : North Sea Task Force : North Sea Quality Status Report 1993, Subregion 4 - North Sea. Oslo and Paris Commissions, Londen. 193 pp.

Paris Commission (1992) : Data report on riverine and direct inputs of contaminants to the waters of the Paris Convention in 1990. *Monitoring and Assessment, Part B*, p. 110-143. Paris Commission, Londen.

Phelps, H. en Warner, K. (1990) : Estuarine sediment bioassay with oyster pediveliger larvae (*Crassostea gigas*). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **44**, 197-204.

Rowlatt, S. and Lovell, D. (1994) : Lead, zinc and chromium in sediments around England and Wales. *Marine Pollution Bulletin* **28**, 324-329.

Rowlatt, S. en Davies, I. (Ed.) (1995) : Results of the 1990/1991 baseline study of contaminants in North Sea sediments. ICES Cooperative Research Report N° 208. International Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen. 193 pp.

Rowlatt, S. (1996) : NSTF baseline survey of sediments. In : Proceedings of the Scientific Symposium on the North Sea Quality Status Report 1993, Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen, 346 p.

Salomons, W., Bayne, B., Duursma, E. en Förstner, U. (1988) : Pollution of the North Sea. An assessment. Springer Verlag, Berlin, 687 p.

Samant, H., Doe, K. en Vaidya, O. (1990) : An integrated chemical and biological study of the bioavailability of metals in sediments from two contaminated harbours in New Brunswick, Canada. *Science of the total Environment* **96**, 253-268.

Skei, J. (1992) : A review of assessment and remediation strategies for hot spot sediments. *Hydrobiologia* **235/236**, 629-938.

Van Alsenoy, V., Bernard, P. en Van Grieken, R. (1993) : Elemental concentrations and heavy metal pollution in sediments and suspended matter from the Belgian North Sea and the Scheldt estuary. *The Science of the Total Environment* **133**, 153-181.

Vyncke, W., Cooreman, K., Hillewaert, H., Vanhee, W., Roose, P., Declerck, D., Guns, M., Van Hoeyweghen, P. (1995) : In : Invloed van baggerspecielossingen op het leefmilieu in de Zuidelijke Noordzee. Proceedings van de Studiedag van 2 maart 1994, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap en Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu, Brussel.

Vyncke, W., Cooreman, K., Hillewaert, H., Vanhee, W., Roose, P., Declerck, D., Guns, M., Van Hoeyweghen, P. (1995b) : In : Biologische monitoring van de lossingen van gebaggerd materiaal voor de Belgische kust (1992-1994). Rapport BAG/2. Rijksstation voor Zeevisserij, Oostende.

Windom, H., Schropp, S., Calder, F., Ryan, J., Smith, R Jr., Burney, L., Lewis, F. en Rawlinson, C. (1989) : Natural trace metal concentrations in estuarine and coastal marine sediments of the southeastern U.S. *Environmental Science and Technology* **23**, 314-320.



