

Rechten voorbehouden

Van interne verslagen zijn nadruk of aanhalingen
slechts toegestaan met uitdrukkelijke toestemming
van het NIOZ.

Sulfaat in water en sediment van de Waddenzee

door

J.H. Vosjan en C.F. Beke



NEDERLANDS INSTITUUT VOOR ONDERZOEK DER ZEE

PUBLICATIES EN VERSLAGEN

nummer 1971-11

Sulfaat in water en sediment van de Waddenzee

door

J.H. Vosjan en C.F. Beke

(Intern verslag)

aan

het NIOZ te Texel

NEDERLANDS INSTITUUT VOOR ONDERZOEK DER ZEE

PUBLICATIES EN VERSLAGEN

nummer 1971-11

Sulfaat in water en sediment van de Waddenzee

door

J.H. Vosjan en C.F. Beke

(intern verslag)

Inhoud

I. Samenvatting	1
II. Inleiding	2
III. Materiaal en methoden	3
IV. Resultaten en discussie	5
V. Literatuur	8

I. Samenvatting

Voor de sulfaat/chloriniteit verhouding in het Waddenzeewater geldt de volgende vergelijking:

$$\text{SO}_4 \text{ g/kg} = 0.1349 \text{ Cl}\% + 0.0462$$

De sulfaat/chloriniteit verhouding in het Waddenzeesediment wisselt sterk onder invloed van bacteriële activiteit.

Een methode is aangegeven om te berekenen hoeveel organische stof is gemineraliseerd door sulfaatreducereers in een wadsediment.

II. Inleiding

De Waddenzee is een estuarium, dat als val werkt voor gesuspendeerd materiaal, hetgeen uit de Noordzee naar binnen is

getransporteerd (POSTMA 1954). Hierdoor en ook door primaire productie in dit gebied is het sediment rijk aan organisch materiaal. De saliniteit in de Waddenzee varieert tussen 16 en 31 ‰ (POSTMA, 1954). Met de wisseling van de saliniteit resp. chloriniteit zullen de meeste opgeloste bestanddelen in het zeewater fluctueren. Zeewater van een saliniteit van 35 ‰ bevat bij voorbeeld 19.353 g chloride, 10.76 g natrium en 2.712 g sulfaat per kg. (CULKIN, 1965). De sulfaat/chloriniteit verhouding van open zeewater is constant, 0.1395-0.1405. Plaatselijk kan door bevriezing, verdunning of indamping deze verhouding iets veranderen (CULKIN, 1965). Componenten van zeewater, die deelnemen aan biochemische processen zullen in verhouding tot de chloriniteit sterk fluctueren. Sulfaat speelt biochemisch een rol, doch door zijn grote overmaat in zeewater wordt de sulfaat/chloride verhouding in zeewater in het algemeen nauwelijks beïnvloed, echter in gebieden waar een grote hoeveelheid organisch materiaal aanwezig is en de toevoer van zuurstof niet voldoende is om deze hoeveelheid te oxyderen, treedt een oxydatie op met sulfaat door sulfaatreducerende bacterien. Sulfaatreducerende bacterien worden in grote hoeveelheid aangetroffen in anaerobe fjorden, trenches, in diepere lagen van de Zwarte Zee en in het anaerobe sediment van diverse wateren. In de Zwarte Zee is de toename van H_2S gecorreleerd met de afname van sulfaat, waarmee aangetoond is, dat de sulfide uit het sulfaat komt en niet uit het zwavel van rottende organische stof (REDFIELD, KETCHUM & RICHARDS, 1963).

De bedoeling van dit onderzoek was om de sulfaat/chloride verhouding op diverse plaatsen in de Waddenzee en in het interstitiele water van het Waddenzeesediment te bepalen. Gezien de zwarte kleur van het sediment treedt hierin een intensieve sulfaatreductie op.

III. Materiaal en methoden

Over de gehele Waddenzee verspreid werden oppervlaktewatermonsters genomen (fig. 1). Hiervan werden door Rommets en Manuels zie intern rapport No. 1971-12 met een inductief gekoppelde salinometer, de saliniteit bepaald (COX, 1966; TIJSSSEN, 1970). Saliniteit, S ‰, is een uitdrukking voor het gehalte aan opgeloste zouten in zeewater. Zij is gelijk aan het gewicht in grammen, in vacuum, van de vaste stoffen verkregen uit 1 kg zeewater als de stoffen gedroogd zijn tot constant gewicht bij 480 °C, de organische stof volledig is geoxydeerd, bromide, en jodide vervangen zijn door equivalente hoeveelheden chloride en carbonaten omgezet zijn in oxiden (STRICKLAND & PARSONS 1968). De door ons via de salinometer gemeten saliniteiten werden omgerekend in chloriniteit, Cl ‰, door de saliniteit te delen door 1.80655 (COX, 1966). De grootste fout zit in de laagste saliniteiten, boven de 15 ‰ S is de deviatie in de chloriniteit 0.002 ‰ (COX, 1966). Het sulfaatgehalte werd turbidimetrisch bepaald, waarvoor hieronder een voorschrift gegeven wordt. Rekening houdend met het verschil in soortelijk gewicht van de diverse monsters, werd via interpolatie met behulp van tabellen (COX, 1965) het sulfaatgehalte per kg zeewater berekend. Voor de diverse monsterpunten in het Waddenzee water werd

$$\frac{\text{SO}_4 \text{ g/kg}}{\text{Cl } \text{‰}} \text{ berekend.}$$

Op enkele plaatsen werd wadsediment gemonsterd met een holle pijp, uit de boorkern werd op diverse diepten een plak sediment gesneden. Dit sediment werd met enig aqua dest. minstens 1 uur geschud en vervolgens werd nadat het sediment bezonken was in de bovenstaande vloeistof weer het sulfaat gehalte bepaald en ook het chloride gehalte

per liter (chlorositeit) door middel van de Mohr-titratie. Nu werd zonder omrekening voor het s.g. de SO_4/Cl verhouding berekend.

Sulfaatbepaling, gewijzigd naar Berglund and Sorbo, 1960.

Reagentia: gelatine, BaCl_2 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, HCl , NaCl , aqua dest.

Oplossingen:

- A. Vroeg 8 ml gec. HCl toe aan 200 ml verzadigde NaCl oplossing.
- B. Los 3 g gelatine op in 200 ml aqua dest., filtreer en spoel na met aqua dest. tot een volume van 560 ml.

80 ml van oplossing A wordt toegevoegd aan oplossing B en hierin wordt 6 mg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ opgelost. Onder roeren op een magnetische roerder wordt ineens 4 g in een mortier fijnverdeeld BaCl_2 toegevoegd. Zo worden BaSO_4 partikeltjes gevormd, die in de de gelatine oplossing niet uitzakken. De extinctie van dit reagens tegen water gemeten in een 1 cm cuvet bij 420 μ is ± 0.300 .

Bepaling:

In reageerbuizen werden met een micropipet (Eppendorf) 10 à 400 μ l monster (in afhankelijkheid van de concentratie), 5 ml 0.2 N HCl gebracht en 8 ml reagens met een zuigpipet.

Op een whirlmix schudden, en daarna de extinctie meten tegen blanco bij 420 μ . Het gevormde neerslag bezinkt niet binnen drie uur.

Fig. 2 geeft een ijklijn die tot een extinctie van ± 0.3 rechtlijnig is.

Uit een in 10-voud uitgevoerde analyse van een watermonster bleek de variatiecoefficient 1% te zijn (variatiecoefficient is de standaarddeviatie in % van de gemiddelde waarde). Gravimetrische sulfaatbepalingen kunnen accurater: variatiecoefficient 0.14% (MORRIS & RILEY 1966), doch zijn voor routinehandelingen veel te arbeidsintensief.

IV. Resultaten en discussie

In tabellen zijn de chloride en sulfaatgehalten per kg voor de diverse monsterpunten in verschillende maanden weergegeven. Ook zijn in de tabellen de SO_4/Cl verhouding van ieder punt opgenomen. In een grafiek fig. 3 is het sulfaatgehalte uitgezet tegen het chloridegehalte. De berekende regressielijn voldoet aan de volgende vergelijking:

$$\text{SO}_4 \text{ g/kg} = 0.1349 \text{ Cl } \text{‰} + 0.0462$$

met een correlatiecoëfficiënt van 0.99.

Voor het water in de Waddenzee geldt dus een menging van zeewater met zoetwater, dat een gehalte van ongeveer 46 mg SO_4 per liter bevat. Omdat monsterpunten in het zoete water vaak een afwijking in de sulfaat/chloriniteit verhouding vertoonden is voor de punten met een chloriniteit groter dan 2 ‰ het gemiddelde van de SO_4/Cl verhoudingen berekend met de standaarddeviatie:

$$\text{SO}_4/\text{Cl} = 0.1385 \pm 0.0063$$

De monster punten 69, 70, 71, 72 in het IJsselmeer en ook enkele in het Eems-Dollar gebied bijv. 67, 68, 76, 77, 78, 79 en 80 hebben een duidelijk hogere sulfaat/chloriniteit ratio, terwijl de punten 62 en 63 een veel lagere sulfaat/chloriniteit ratio hebben dan we op grond van de regressie lijn zouden verwachten. Bij de punten 62 en 63 was geen sulfaat aanwezig in het water, dat sterk vervuild was en onaangenaam rook.

Op grond van de regressielijn zou zeewater met een chloriniteit van 19‰ een SO_4/Cl verhouding van 0.1373 hebben, terwijl op grond van literatuur gegevens (zie inleiding) een verhouding van 0.1400 verwacht mocht worden. Onze waarde ligt 2% lager. Omdat de turbidimetrische bepaling niet zo nauwkeurig is, durven we hieruit niet concluderen,

dat we een verbruik van SO_4 in het Waddenzeewater hebben aangetoond, temeer, omdat de variatie coëfficiënt van de SO_4/Cl verhouding voor de punten met een chloriniteit hoger dan 2‰ al 4.5‰ is. Verbruik of productie van sulfaat is op een overeenkomstige manier wel aan te tonnen in het interstitiele water van het wadsediment.

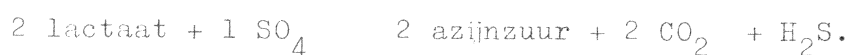
Voor de kust van Texel in de buurt van punt 2, werden wadmonsters genomen en in het sediment de SO_4/Cl verhouding bepaald, de chloriniteit komt in dit gebied niet beneden 10‰. We nemen aan dat het interstitiele water in het sediment ook nooit beneden 10‰ komt. Van een drietal kernen is in fig. 4 de relatie SO_4/Cl op verschillende diepte uitgezet. Duidelijk zijn verschuivingen in de verhouding te zien. Een mooi voorbeeld is de derde grafiek, van een kern met ongestoord wad uit de buurt van een mosselbank. Tot ongeveer 5 cm diepte neem de SO_4/Cl verhouding toe en vervolgens sterk af met een minimum op 25-30 cm. Deze verandering is te wijten aan een verandering in de SO_4 -concentratie. In het anaerobe deel vindt sulfaatreductie plaats de gevormde sulfiden diffunderen o.a. naar boven en worden door bijvoorbeeld Thiobacilli met zuurstof tot sulfaat geoxideerd. Door diffusie of insluiting zou de SO_4/Cl verhouding constant blijven, echter vindt zowel productie als consumptie plaats in de resp. aerobe en anaerobe delen van het sediment. Het is niet duidelijk waarom de waarde beneden de 30 cm weer toeneemt, misschien door transport van zeewater (kwel) van onderaf door het sediment.

Uit deze bepalingen blijkt, dat op eenvoudige wijze kan worden aangetoond, dat er in een marien sediment activiteit van sulfaat-reduceerders en sulfideoxydeerders bestaat. De intensiteit van deze processen kunnen we echter op deze wijze niet bepalen. Uit de toevoersnelheid van sulfaat (diffusiesnelheid, percolatie,

sedimentatiesnelheid) en het verval in concentratie in een bepaalde boorkern kan berekend worden hoe intensief bv. sulfaatreductie is. Ook met radioactief gelabeld sulfaat is, zoals men met radioactief koolstof de primaire-productie snelheid bepaald, de sulfaatreductie-snelheid te meten.

Uit de SO_4/Cl verhouding op verschillende diepte in het sediment kan men wel berekenen hoeveel sulfaat gereduceerd is en hoeveel organisch materiaal verademd, gemineraliseerd is door sulfaatreducerders. Stel dat op ons monsterpunt de chloriniteit van het zeewater 15‰ Cl is, dan is per kg interstitieel water 2.0677 g SO_4 aanwezig. Kijken we naar de derde grafiek van fig. 4 dan zien we over een kolom van 27.5 cm een daling in de SO_4/Cl ratio van 0.1380 naar 0.060. Het chloride gehalte blijft constant, daarom is uit oppervlak verhoudingen uit de grafiek de hoeveelheid verdwenen sulfaat te berekenen. Over de kolom van ongeveer 30 cm blijkt $32/154 \times 2.07 = 0.4$ g/l SO_4 verdwenen te zijn. Als we het watergehalte van het sediment op 1/3 stellen dan blijkt dat per $3 \times 33 \text{ cm}^2 = 100 \text{ cm}^2$, 0.4 g SO_4 gereduceerd is, d.i. 40 g SO_4 per $\text{m}^2 = 42 \text{ mM SO}_4/\text{m}^2$. In de bovenste 8 cm zit meer sulfaat dan men in zeewater zou verwachten, er is dus sulfaat geproduceerd, uit het naar boven diffunderende sulfide. Het oppervlak van deze overmaat sulfaat is ongeveer 10% van het oppervlak van het verdwenen sulfaat. Per m^2 verdween ongeveer 40 mM SO_4 dus op dit ene monsterpunt is ongeveer 4 mM SO_4^{--} per m^2 geproduceerd in het aerobe laagje.

Sulfaat reduceerders gebruiken eindproducten van fermentatie, zoals bv. lactaat. Hiervoor geldt de volgende vergelijking:



Lactaat is bv. afkomstig uit cellulose resten, per glucose wordt via

de Embden-Meyerhof pathway 2 lactaat gevormd. We zouden zo kunnen stellen dat per verbruikt M sulfaat, 1 M koolhydraat van glucose niveau is verademd tot azijnzuur en CO_2 in een modder kolom.

We vonden per m^2 wad 40 mM sulfaat verbruik dit k.o.m. 40 mM glucose d.w.z. ongeveer 3 g C. De primaire productie op een dergelijk wad in de Waddenzee bedraagt naar gegevens van Cadée ruim 100 g C m^{-2} . In welke tijdseenheid het verbruik van 3 g C m^{-2} geschied is nog niet bekend, doch op grond van dit enkele gegeven nemen we aan, dat de hoeveelheid organisch materiaal gemineraliseerd door sulfaatreduceerders enkele procenten bedraagt van de hoeveelheid ter plaatse geproduceerde organische stof.

V. Literatuur

- BERGLUND, F. & B. SÖRBO, 1960. Turbidimetric analysis of inorganic sulfate in serum, plasma and urine. *Scandinav. J. Clin. and Lab. Investigation* 12: 147-153.
- COX, R.A., 1965. The physical properties of sea water. In: Riley, J.P. & G. Skirrow: *Chemical oceanography* 1, 73-120.
- COX, R.A. c.s., 1966. *International Oceanographic Tables*. National Institute of Oceanograph of Great Britain and Unesco. p. 118.
- CULKIN, F., 1965. The major constituents of sea water. In: Riley, J.P. & G. Skirrow: *Chemical Oceanography* 1, 121-161.
- MORRIS, A.W. & J.P. RILEY, 1966. The bromide/chlorinity and sulphate/chlorinity ratio in sea water. *Deep-sea Research* 13, 699-705.

- POSTMA, H., 1954. Hydrography of the Dutch Wadden Sea. Arch. Néerl. Zool 10, 405-511.
- REDFIELD, A.C., B.H. KETCHUM & F.A. RICHARDS, 1963. The influence of organisms on the composition of sea-water. In: Hill, M.N.: The Sea 11, 26-77.
- STRICKLAND, J.D., & T.R. PARSONS, 1968. A practical handbook of seawater analysis. Fisheries Res. Board of Canada, Ottawa Bulletin 167, p. 311.
- TIJSSSEN, S.B., 1970. Instructie voor de bepaling van het zoutgehalte van zeewater met een inductief gekoppelde salinometer. Nederlands Instituut voor onderzoek der zee publicaties en verslagen nummer 1970-6 p. 13.

Tabel I

stat. nr. en plaats	6 april '70			11-15 mei '70		
	Cl	SO ₄	$\frac{\text{SO}_4}{\text{Cl}}$	Cl	SO ₄	$\frac{\text{SO}_4}{\text{Cl}}$
	‰	g/kg		‰	g/kg	
1 Wrakboei	15,63	2,158	0,1381	15,81	2,221	0,1405
2 T 3						
3 T 9						
4 T-B	13,03	1,834	0,1409	14,75	1,932	0,1310
5 SO-D	12,74	1,823	0,1431	13,04	1,824	0,1399
6 M 21	11,94	1,676	0,1404	5,70	0,868	0,1523
7 O 1	7,19	1,078	0,1500	3,76	0,574	0,1528
8 D-J	11,96	1,751	0,1464			
9 D 20						
10 D-AD	8,04	1,237	0,1539	9,38	1,346	0,1436
11 BO 19						
12 BO 29	9,53	1,386	0,1454	9,80	1,395	0,1422
13 BS 29						
14 BS 15	12,51	1,788	0,1430			
15 BS 8						
16 BS 1	14,69	2,019	0,1374			
17 Vlieree	15,89	2,175	0,1369			
18 VL-SG	15,70	2,186	0,1392			
19 SG 9	16,05	2,251	0,1402			
20 O-R						
21 NB-O	15,78	2,132	0,1442			
22 O 26						
23 O 32	15,97	2,345	0,1468			
24 BG 11						
25 WG/BG	16,87	2,341	0,1388			
26 WG/KB						
27 VH/DG	16,82	2,389	0,1420	17,44	2,404	0,1379
28 DG 7						
29 DG 14	15,77	2,175	0,1379			

Tabel I (vervolg)

stat. nr. en plaats	6 april '70			11-15 mei '70		
	Cl	SO ₄	SO ₄ Cl	Cl	SO ₄	SO ₄ Cl
	‰	g/kg		‰	g/kg	
30 DG/KG						
31 Holwerd	16,30	2,259	0,1386	16,31	2,088	0,1280
32 wantij						
32 WG/SG						
33 PR/WR	16,44	2,341	0,1424	16,06	2,221	0,1384
34 PR/SG						
35 GS 2						
36 0 4	15,19	2,084	0,1372	14,70	1,999	0,1360
37 0 14						
38 EB/LW						
39 Horn Wad	14,11	2,087	0,1479			
40 SP 12						
41 Zol/SP						
42 Zol/RG	15,99	2,316	0,1448			
43 Zol/VN				14,73	1,998	0,1356
44 Zol/19	15,67	1,988	0,1269			
45 Zol/34	15,01	2,047	0,1364	12,95	1,786	0,1379
46 E-R				14,56	1,999	0,1374
47 A 5						
48 Q-Alte Ems	13,57	1,984	0,1462	13,27	1,805	0,1360
49 DG 2	12,17	1,722	0,1415	12,24	1,702	0,1391
50 V						
51 BW 10						
52 BW 18	5,64	0,773	0,1370	7,76	1,097	0,1414
53 Delfzijl voor de haven						
54 PS 1	6,73	0,944	0,1403	8,75	1,197	0,1368
55 MZ S 1						
56 EE						
57 11						
58 17						
59 23						
60 A						
61 B						
62 B" Westerwoldse A voor de Sluis						

Tabel I (vervolg)

stat. nr. en plaats	6 april '70			11-15 mei '70		
	Cl	SO ₄	SO ₄ Cl	Cl	SO ₄	SO ₄ Cl
	‰	g/kg		‰	g/kg	
63 Westerwoldse A achter Sluis						
64 LC						
65 LH						
66 LK						
67 LN						
68 56						
69 WV 6						
70 Breezanddijk						
71 VF 1						
72 Stavoren	0,24	0,096	0,4000			
73 buiten Harlingen binnen						
74 VO 7				16,69	2,433	0,1459
75 VO 35				16,77	2,331	0,1391
76 Km Paal 12 $\frac{1}{2}$						
77 Km " 9						
78 Leer Eems						
79 Leer Leda						
80 Leda Brug						
81 Oude Eemskanaal (Delfzijl binnen)						

Tabel II

stat.	22-26 juni '70			22-24 juli '70			2-6 nov. '70		
nr.	Cl	SO ₄	$\frac{SO_4}{Cl}$	Cl	SO ₄	$\frac{SO_4}{Cl}$	Cl	SO ₄	$\frac{SO_4}{Cl}$
	‰	g/kg		‰	g/kg		‰	g/kg	
1	17,07	2,325	0,1309	16,77	2,360	0,1406			
4	16,13	2,215	0,1373	15,46	2,157	0,1395	16,47	2,303	0,1357
5	16,04	2,329	0,1542				16,40	2,333	0,1423
6	16,38	2,211	0,1350	13,84	1,878	0,1357	16,34	2,436	0,1491
7	13,35	1,955	0,1464	10,12	1,366	0,1350	16,00	2,324	0,1453
8	16,21	2,296	0,1410	13,97	1,934	0,1385	15,20	2,224	0,1463
10	15,17	2,199	0,1450	10,88	1,526	0,1402	12,97	1,862	0,1436
11				9,46	1,197	0,1266			
12	16,67	2,428	0,1456				11,72	1,638	0,1397
13				15,02	2,064	0,1373	12,77	1,843	0,1443
14	17,65	2,513	0,1424				14,24	1,961	0,1377
16	17,62	2,603	0,1421	16,54	2,266	0,1370	15,59	2,156	0,1383
17	17,67	2,513	0,1422						
18	17,67	2,513	0,1422	16,73	2,238	0,1337	17,33	2,499	0,1442
19	17,86	2,638	0,1472	16,64	2,266	0,1362	17,18	2,443	0,1422
21	17,82	2,407	0,1358	12,44	2,326	0,1870	15,56	2,194	0,1410
22							16,69	2,313	0,1386
23	17,71	2,408	0,1441	15,33	2,204	0,1438			
25	17,59	2,570	0,1461	16,86	2,275	0,1349			
27	17,77	2,513	0,1414	16,18	2,192	0,1355	16,29	2,295	0,1409
29	17,85	2,408	0,1349	15,63	2,298	0,1470	14,63	2,093	0,1430
31	17,82	2,398	0,1346	14,99	2,300	0,1534	13,60	1,992	0,1465
33	17,44	2,431	0,1394	16,31	2,258	0,1384	15,01	2,157	0,1437
36	17,31	2,432	0,1405	16,17	2,145	0,1326	15,98	2,343	0,1466
39	17,18	2,432	0,1416	15,99	2,179	0,1367	16,68	2,435	0,1460
42				16,21	2,249	0,1387	16,36	2,323	0,1420
43	16,69	2,243	0,1344						
44				13,76	1,878	0,1365			
45	16,22	2,395	0,1483	16,36	2,267	0,1386	16,14	2,240	0,1388
46	15,72	2,279	0,1450	16,33	2,164	0,1325	15,67	2,294	0,1464

Tabel II (vervolg)

stat. nr.	22-26 juni '70			22-24 juli '70			2-6 nov. '70		
	Cl	SO ₄	$\frac{SO_4}{Cl}$	Cl	SO ₄	$\frac{SO_4}{Cl}$	Cl	SO ₄	$\frac{SO_4}{Cl}$
	‰	g/kg		‰	g/kg		‰	g/kg	
48	15,27	2,199	0,1440	15,81	2,090	0,1322			
49	14,35	2,134	0,1917				13,40	2,006	0,1497
52	12,27	1,742	0,1420				8,89	1,344	0,1512
53				11,24	1,468	0,1306			
54	11,23	1,563	0,1391	9,90	1,376	0,1389	7,00	1,018	0,1454
69				0,24	0,058	0,2388	0,21	0,067	0,3198
70							0,21	0,067	0,3190
71							0,26	0,120	0,4623
72				0,24	0,058	0,2388			

Tabel III

stat.	11 dec. '70			18-22 Jan. '71			22-25 Febr. '71		
nr.	Cl	SO ₄	$\frac{SO_4}{Cl}$	Cl	SO ₄	$\frac{SO_4}{Cl}$	Cl	SO ₄	$\frac{SO_4}{Cl}$
	‰	g/kg		‰	g/kg		‰	g/kg	
1	16,96	2,453	0,1446	16,03	2,136	0,1332	15,96	2,165	0,1357
4	14,54	2,060	0,1417	15,26	2,051	0,1334	14,32	1,962	0,1370
5	12,44	1,731	0,1391	14,92	2,029	0,1360	14,10	1,896	0,1345
6	14,98	2,116	0,1413	15,99	2,202	0,1377	14,53	1,867	0,1285
7	9,91	1,338	0,1350	12,06	1,669	0,1383	10,15	1,347	0,1327
8	12,55	1,761	0,1403	14,69	1,994	0,1357	12,93	1,852	0,1432
9							12,17	1,712	0,1407
10	9,73	1,352	0,1390	13,33	1,705	0,1279	12,78	1,478	0,1371
11							8,74	1,264	0,1446
12	8,60	1,187	0,1380	10,21	1,419	0,1347	9,06	1,263	0,1394
13	12,21	1,657	0,1341	14,88	2,004	0,1330	9,86	1,338	0,1357
14	14,87	2,068	0,1391	15,99	2,127	0,1330	13,05	1,842	0,1412
16	16,13	2,290	0,1420	17,14	2,214	0,1292	15,73	2,099	0,1335
17	16,83	2,386	0,1418	17,51	2,213	0,1263	16,44	2,295	0,1396
18	16,40	2,347	0,1431	17,02	2,268	0,1333	16,73	2,294	0,1371
19	16,30	2,387	0,1464	16,26	2,271	0,1396	16,58	2,229	0,1344
20							15,32	2,138	0,1396
21	14,95	2,068	0,1383	15,94	2,136	0,1340	14,51	1,971	0,1358
22							14,08	1,896	0,1347
23	16,26	2,290	0,1408	16,48	2,211	0,1342	13,31	1,946	0,1462
24							16,68	2,285	0,1370
25	17,19	2,404	0,1398	17,13	2,336	0,1363	17,16	2,377	0,1385
26							17,06	2,377	0,1394
27	17,16	2,423	0,1412	17,13	2,271	0,1326	16,67	2,294	0,1376
28							15,58	2,297	0,1475
29	16,12	2,211	0,1372	16,86	2,230	0,1323	14,70	2,102	0,1430
30							14,54	1,999	0,1375
31	15,88	2,193	0,1381	16,62	2,328	0,1401	14,45	1,961	0,1357

Tabel III (vervolg)

stat. nr.	11 dec. '70			18-22 jan. '71			22-25 febr. '71		
	Cl	SO ₄	$\frac{SO_4}{Cl}$	Cl	SO ₄	$\frac{SO_4}{Cl}$	Cl	SO ₄	$\frac{SO_4}{Cl}$
	‰	g/kg		‰	g/kg		‰	g/kg	
33	16,45	2,308	0,1403	17,31	2,306	0,1332	16,30	2,248	0,1379
34	16,43	2,308	0,1405				15,42	2,364	0,1533
36				16,74	2,240	0,1338	15,06	2,092	0,1389
37							13,17	1,833	0,1391
38	14,75	2,313	0,1568				15,26	2,289	0,1500
39				14,31	1,946	0,1360	15,27	2,035	0,1332
40							16,27	2,286	0,1405
41				16,46	2,251	0,1368	16,50	2,285	0,1385
42	16,12	2,258	0,1401						
43				16,29	2,184	0,1341	16,19	2,183	0,1348
45	15,93	2,251	0,1413	16,13	2,232	0,1384	16,63	2,322	0,1397
46	15,83	2,212	0,1397	16,10	2,184	0,1357	15,08	2,110	0,1400
47							14,75	1,989	0,1348
48							13,94	1,906	0,1367
49	13,43	1,866	0,1389				13,42	1,823	0,1358
51							11,57	1,600	0,1383
52	9,83	1,372	0,1396	10,25	1,419	0,1384	10,21	1,450	0,1420
54				7,63	1,050	0,1337	8,97	1,245	0,1388
55	8,26	1,167	0,1413				7,05	0,972	0,1379
56							6,04	0,859	0,1422
57							5,86	0,878	0,1498
58							5,19	0,745	0,1435
59							4,03	0,555	0,1376
64							4,89	0,764	0,1563
66							1,46	0,230	0,1575
68							0,142	0,058	0,4085
69	0,24	0,100	0,4167	0,39	0,143	0,3672	0,36	0,115	0,3194
70							0,26	0,058	0,2231
71	0,26	0,080	0,3076	0,35	0,079	0,2257	0,27	0,086	0,3150
76							0,145	0,039	0,2690
81							1,17	0,202	0,1727

Tabel IV

stat. nr.	17-20 mei '71			7-11 juni '71			19-23 juli '71		
	Cl	SO ₄	SO ₄ Cl	Cl	SO ₄	SO ₄ Cl	Cl	SO ₄	SO ₄ Cl
	‰	g/kg		‰	g/kg		‰	g/kg	
1	17,30	2,320	0,1341	17,11	2,414	0,1411	16,59	2,426	9,1462
3	17,53	2,460	0,1430	17,35	2,433	0,1402			
4	17,70	2,300	0,1300	17,52	2,478	0,1414	16,71	2,275	0,1481
5	17,68	2,366	0,1339	17,43	2,348	0,1347	17,23	2,335	0,1355
6	17,35	2,273	0,1310	16,32	2,342	0,1435	15,83	2,184	0,1380
7	14,00	1,831	0,1308	16,31	2,295	0,1407	14,98	1,979	0,1321
8	17,55	2,367	0,1350	17,21	2,490	0,1447	17,51	2,507	0,1432
9	18,18	2,308	0,1269	16,72	2,341	0,1400	17,51	2,404	0,1373
10	17,14	2,383	0,1332	17,06	2,396	0,1404	17,44	2,367	0,1357
11	17,64	2,338	0,1326	17,57	2,413	0,1373	17,18	2,405	0,1400
12	17,85	2,394	0,1341	17,90	2,497	0,1395	17,40	2,376	0,1365
13	17,95	2,403	0,1333	18,13	2,426	0,1338	18,23	2,524	0,1384
14	17,99	2,365	0,1315	18,17	2,571	0,1415	18,22	2,505	0,1320
15	18,00	2,403	0,1335	18,15	2,543	0,1401	18,24	2,514	0,1378
16	18,01	2,412	0,1339	18,19	2,543	0,1400	18,31	2,486	0,1358
17	18,11	2,371	0,1309	18,14	2,543	0,1402	18,28	2,712	0,1483
18	18,08	2,402	0,1329	18,17	2,561	0,1410	18,34	2,477	0,1351
19	18,11	2,430	0,1342	18,18	2,543	0,1400	18,30	2,843	0,1553
20	18,00	2,374	0,1319	18,14	2,562	0,1412	18,31	2,711	0,1481
21	17,81	2,319	0,1302	17,94	2,590	0,1444	18,33	2,514	0,1371
22	17,71	2,319	0,1309	17,89	2,544	0,1422	18,34	2,523	0,1376
23	17,66	2,319	0,1313	17,91	2,449	0,1370	18,42	2,505	0,1360
24	18,80	2,347	0,1318	17,88	2,544	0,1423	18,29	2,475	0,1352
25	17,88	2,319	0,1300	17,94	2,544	0,1418	18,28	2,533	0,1386
26	17,84	2,377	0,1326	17,98	2,497	0,1396	18,24	2,496	0,1368
27	17,80	2,375	0,1334	17,88	2,544	0,1423	18,24	2,457	0,1347
28	17,77	2,478	0,1406	17,87	2,534	0,1418	18,28	2,250	0,1231
29	17,74	2,423	0,1366	17,89	2,525	0,1411	18,36	2,513	0,1369
30	17,60	2,413	0,1371	17,90	2,638	0,1471	18,53	2,758	0,1488
31	17,42	2,413	0,1574	17,62	2,573	0,1460	18,69	2,607	0,1395
32							18,31	2,504	0,1378

Tabel IV (vervolg)

stat. nr.	17-20 mei '71			7-11 juni '71			19-23 juli '71		
	Cl	SO ₄	SO ₄	Cl	SO ₄	SO ₄	Cl	SO ₄	SO ₄
			Cl			Cl			Cl
	‰	g/kg		‰	g/kg		‰	g/kg	
33	17,12	2,320	0,1355	17,29	2,594	0,1400			
34	17,76	2,312	0,1380	16,99	2,434	0,1433	18,42	2,533	0,1375
36	16,71	2,275	0,1361	16,73	2,369	0,1416	18,22	2,515	0,1380
37	15,28	2,035	0,1332	16,25	2,319	0,1427	17,42	2,431	0,1396
38	15,91	2,118	0,1331	16,59	2,441	0,1471	17,24	2,507	0,1454
39	16,26	2,173	0,1336	16,96	2,434	0,1435	16,35	2,414	0,1476
40	16,55	2,238	0,1352	16,93	2,397	0,1416	18,20	2,515	0,1382
41				16,92	2,491	0,1472	18,14	2,468	0,1361
43	16,44	2,229	0,1356	16,83	2,341	0,1391	18,19	2,515	0,1383
44	16,36	2,126	0,1300						
45	16,02	2,089	0,1304	16,50	2,391	0,1450	18,24	2,439	0,1337
46	16,13	2,107	0,1306	16,29	2,390	0,1467	17,08	2,312	0,1354
47	15,93	2,042	0,1282	16,25	2,314	0,1424	16,71	2,256	0,1350
48	15,61	1,999	0,1281	15,74	2,212	0,1406	16,58	2,229	0,1344
49	14,83	1,913	0,1290	14,81	2,130	0,1438	15,31	2,334	0,1524
50				13,76	2,001	0,1454	15,01	2,064	0,1375
51	13,21	1,740	0,1317						
52	12,06	1,637	0,1357	17,99	1,806	0,1004	12,99	1,663	0,1280
53				1,65	0,278	0,1700	1,47	0,182	0,1238
54	12,16	1,589	0,1307	12,54	1,758	0,1758	13,59	1,832	0,1348
55	10,58	1,392	0,1316	11,78	2,073	0,1760	12,59	1,617	0,1284
56	10,12	1,337	0,1309	11,39	1,704	0,1496	11,20	1,496	0,1336
57	8,89	1,166	0,1312	10,69	1,791	0,1675	11,66	1,496	0,1283
58	8,56	1,142	0,1333	10,45	1,609	0,1540	10,80	1,421	0,1316
59	8,26	1,112	0,1346	9,58	1,424	0,1487	10,51	1,384	0,1317
60							10,41	1,346	0,1293
61							5,41	0,706	0,1305
63							0,25	0,030	0,1200
64	7,66	0,999	0,1304	9,56	1,376	0,1440	9,79	1,357	0,1386
66	2,59	0,306	0,1181	4,72	0,678	0,1436	7,00	0,933	0,1333
67	0,57	0,096	0,1700	1,18	0,269	0,2280	2,87	0,393	0,1369

Tabel IV (vervolg)

stat.	17-20 mei '71			7-11 juni '71			19-23 juli '71		
nr.	Cl	SO ₄	SO ₄ Cl	Cl	SO ₄	SO ₄ Cl	Cl	SO ₄	SO ₄ Cl
	‰	g/kg	‰	‰	g/kg		‰	g/kg	
68	0,22	0,039	0,1800	0,58	0,144	0,2500	0,94	0,182	0,1936
69	0,32	0,019	0,0600	0,44	0,153	0,3478	0,35	0,136	0,3886
70	0,34	0,048	0,1412				0,31	0,115	0,3710
71	0,33	0,058	0,1757	0,44	0,192	0,4364	0,31	0,115	0,3710
73	1,38	0,029	0,0210	4,10	0,583	0,1422			
76	0,17	0,019	0,1118	0,22	0,144	0,6545	0,30	0,087	0,2900
77							0,18	0,048	0,2667
81	1,99	0,048	0,0241						

Tabel V

stat. nr.	23-27 aug. '71			27-5 sept. - 1-10 '71		
	Cl	SO ₄	SO ₄ Cl	Cl	SO ₄	SO ₄ Cl
	‰	g/kg		‰	g/kg	
1	17,35	2,348	0,1353	17,38	2,398	0,1380
3	16,94	2,256	0,1332	17,18	2,399	0,1396
4				17,20	2,368	0,1376
5	16,52	2,191	0,1326	17,43	2,398	0,1376
6				15,57	2,100	0,1349
7				15,04	2,053	0,1365
8	16,67	2,153	0,1292	17,53	2,429	0,1386
9	16,31	2,201	0,1364	17,38	2,419	0,1392
10	16,08	2,107	0,1310	17,31	2,408	0,1391
11	15,67	2,053	0,1310	17,16	2,283	0,1330
12	15,02	1,893	0,1260	16,74	2,337	0,1400
13	16,59	2,163	0,1304	17,75	2,460	0,1386
14	16,94	2,171	0,1282	17,37	2,438	0,1404
15	17,90	2,292	0,1281	17,94	2,449	0,1365
16	17,54	2,264	0,1291	18,01	2,552	0,1417
17	17,79	2,347	0,1320	18,05	2,510	0,1390
18	17,45	2,207	0,1270	17,95	2,511	0,1399
19	17,48	2,338	0,1338	17,90	2,406	0,1344
20	17,27	2,345	0,1358	17,85	2,397	0,1343
21	17,17	2,280	0,1328	17,91	2,490	0,1390
22	17,35	2,264	0,1305	17,96	2,428	0,1352
23	17,43	2,348	0,1348	17,90	2,448	0,1368
24	17,45	2,291	0,1313	17,98	2,437	0,1356
25	17,55	2,348	0,1338	17,99	2,396	0,1332
26	17,50	2,311	0,1321	17,99	2,436	0,1354
27	17,49	2,338	0,1337	17,95	2,459	0,1370
28	17,40	2,273	0,1306	17,37	2,396	0,1380
29	17,28	2,339	0,1354	17,89	2,396	0,1339
30	16,83	2,348	0,1395	17,60	2,356	0,1340
31	17,50	2,432	0,1399	17,76	2,397	0,1350
32	17,59	2,471	0,1405	17,85	2,438	0,1365

Tabel V. (vervolg)

stat. nr.	23-27 aug. '71			27-5 sept. - 1-10 '71		
	Cl	SO ₄	SO ₄ Cl	Cl	SO ₄	SO ₄ Cl
	%o	g/kg		%o	g/kg	
36	17,04	2,360	0,1385	17,64	2,355	0,1335
37	17,17	2,367	0,1378	17,33	2,284	0,1318
38	17,44	2,423	0,1390	16,94	2,243	0,1324
39	17,60	2,498	0,1920	16,60	2,233	0,1345
40	17,62	2,433	0,1380	17,24	2,301	0,1335
41				17,33	2,316	0,1336
42	17,65	2,441	0,1383			
43	17,61	2,489	0,1413	17,21	2,284	0,1327
45	17,38	2,489	0,1432	17,13	2,284	0,1333
46	17,41	2,407	0,1383	17,31	2,336	0,1349
47	17,17	2,443	0,1423	17,15	2,305	0,1344
48	17,11	2,425	0,1417	16,87	2,243	0,1330
49	16,81	2,387	0,1420	16,43	2,183	0,1329
50	15,63	2,071	0,1325	15,01	2,008	0,1338
52	13,55	1,880	0,1388	14,47	1,947	0,1346
53	1,16	0,211	0,1820	2,14	0,309	0,1444
54	14,05	1,933	0,1376	13,53	1,803	0,1333
55	11,66	1,723	0,1480	14,84	1,789	0,1205
56	12,10	1,665	0,1380	11,60	1,634	0,1417
57	11,36	1,629	0,1434	12,43	1,627	0,1309
58	10,86	1,573	0,1449	12,24	1,679	0,1372
59	9,85	1,423	0,1445	11,91	1,565	0,1314
60				9,24	1,233	0,1334
62				0,71	0,0	0,0
63				0,55	0,0	0,0
64	10,70	1,545	0,1444	6,00	0,820	0,1366
66	5,45	0,756	0,1400	1,13	0,179	0,1585
67	1,99	0,312	0,1568	0,49	0,048	0,0999
68	0,65	0,148	0,2300			
69	0,31	0,129	0,4161	0,36	0,096	0,2667
70	0,32	0,129	0,4031	0,32	0,104	0,3250

Tabel V (vervolg)

stat. nr.	23-27 aug. '71			27-5 sept. - 1-10 '71		
	Cl	SO ₄	$\frac{SO_4}{Cl}$	Cl	SO ₄	$\frac{SO_4}{Cl}$
	‰	g/kg		‰	g/kg	
71	0,56	0,158	0,2821	0,47	0,115	0,2450
73	1,83	0,283	0,1546	1,27	0,256	0,2013
78	0,23	0,086	0,3740			
79	0,26	0,091	0,3500			
80	0,22	0,091	0,4136			

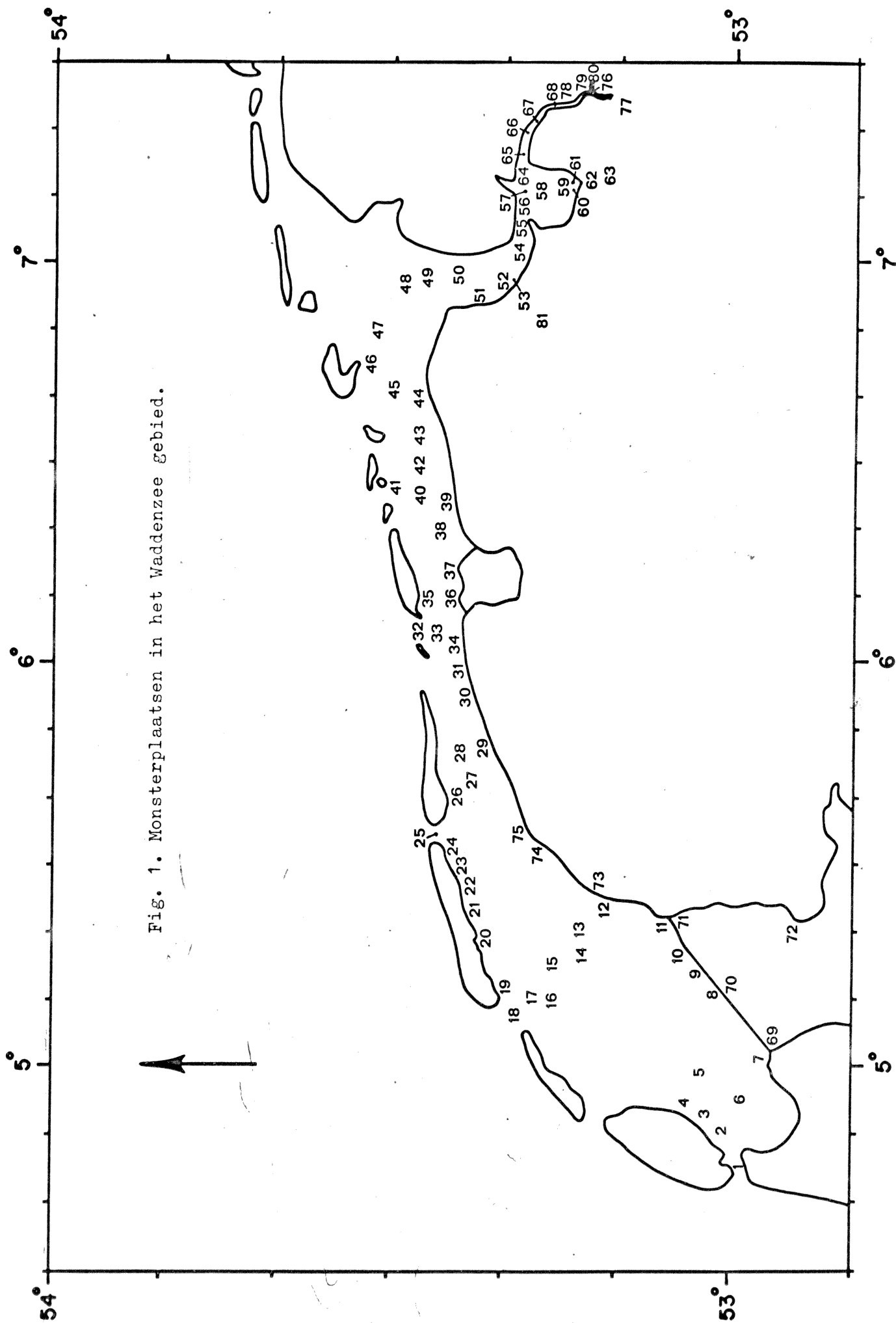


Fig. 1. Monsterplaatsen in het Waddenzee gebied.

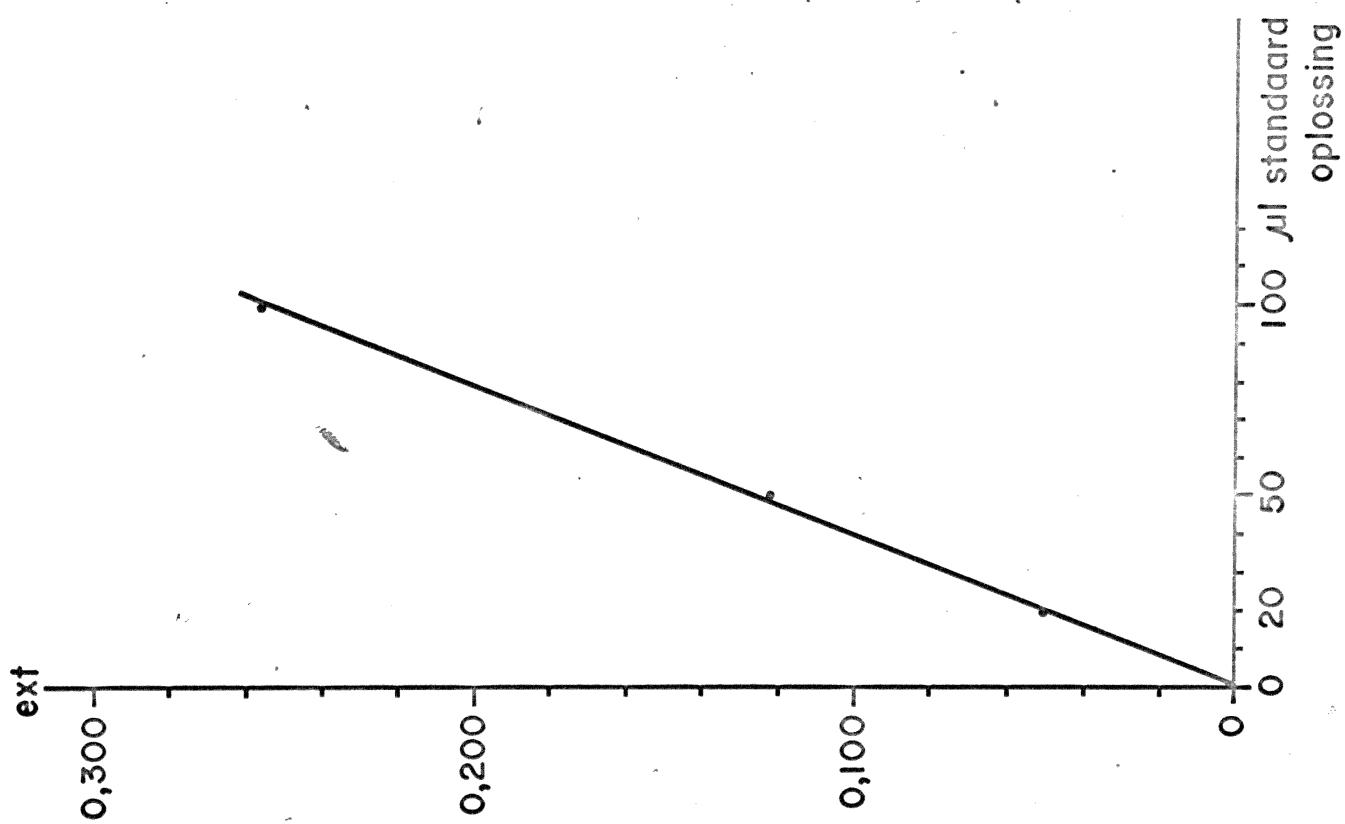


Fig. 2. IJklijn van een standaard sulfaatoplossing.

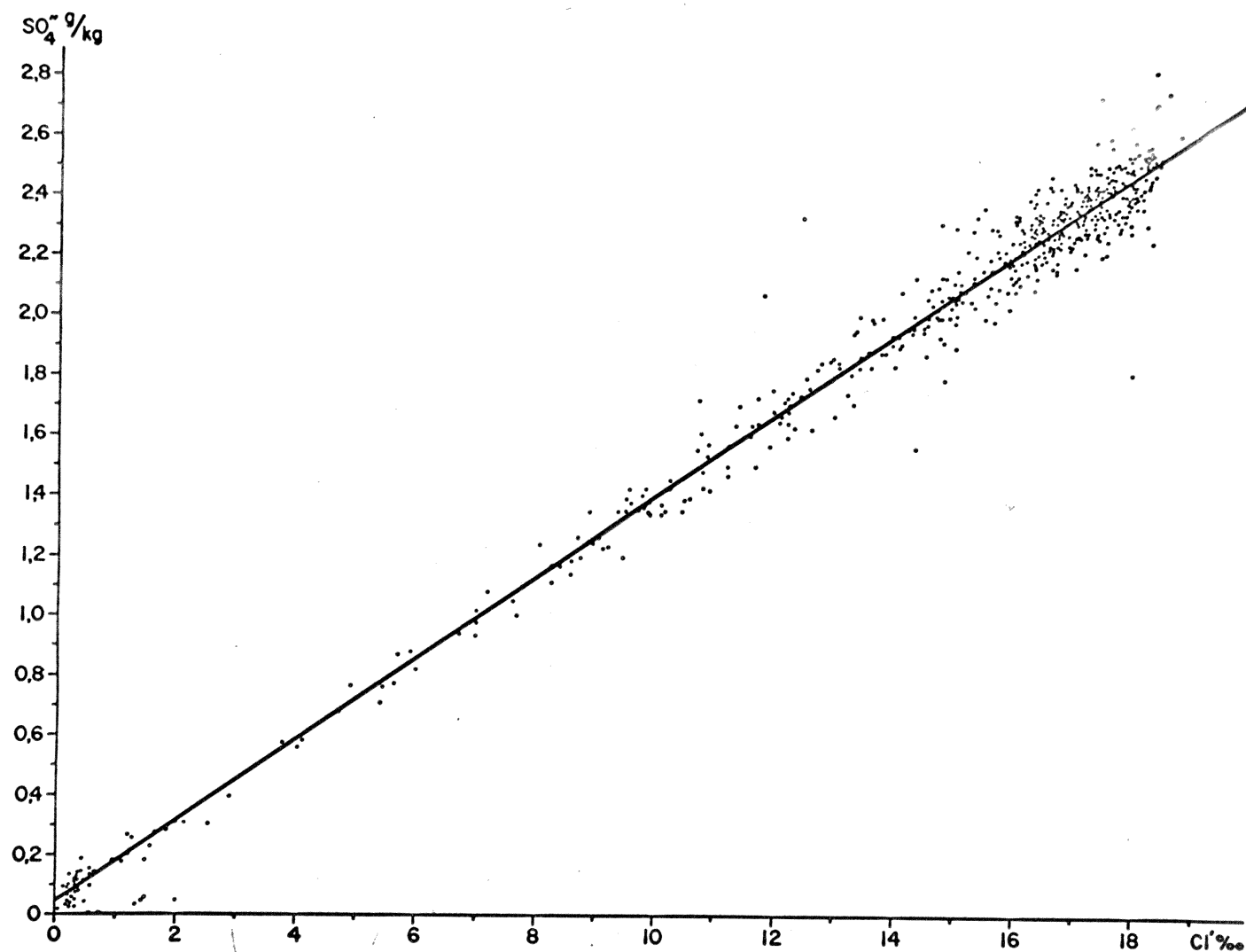


Fig. 3. Relatie tussen sulfaat en chloride gehalte
gehalte van het Waddenzeewater.

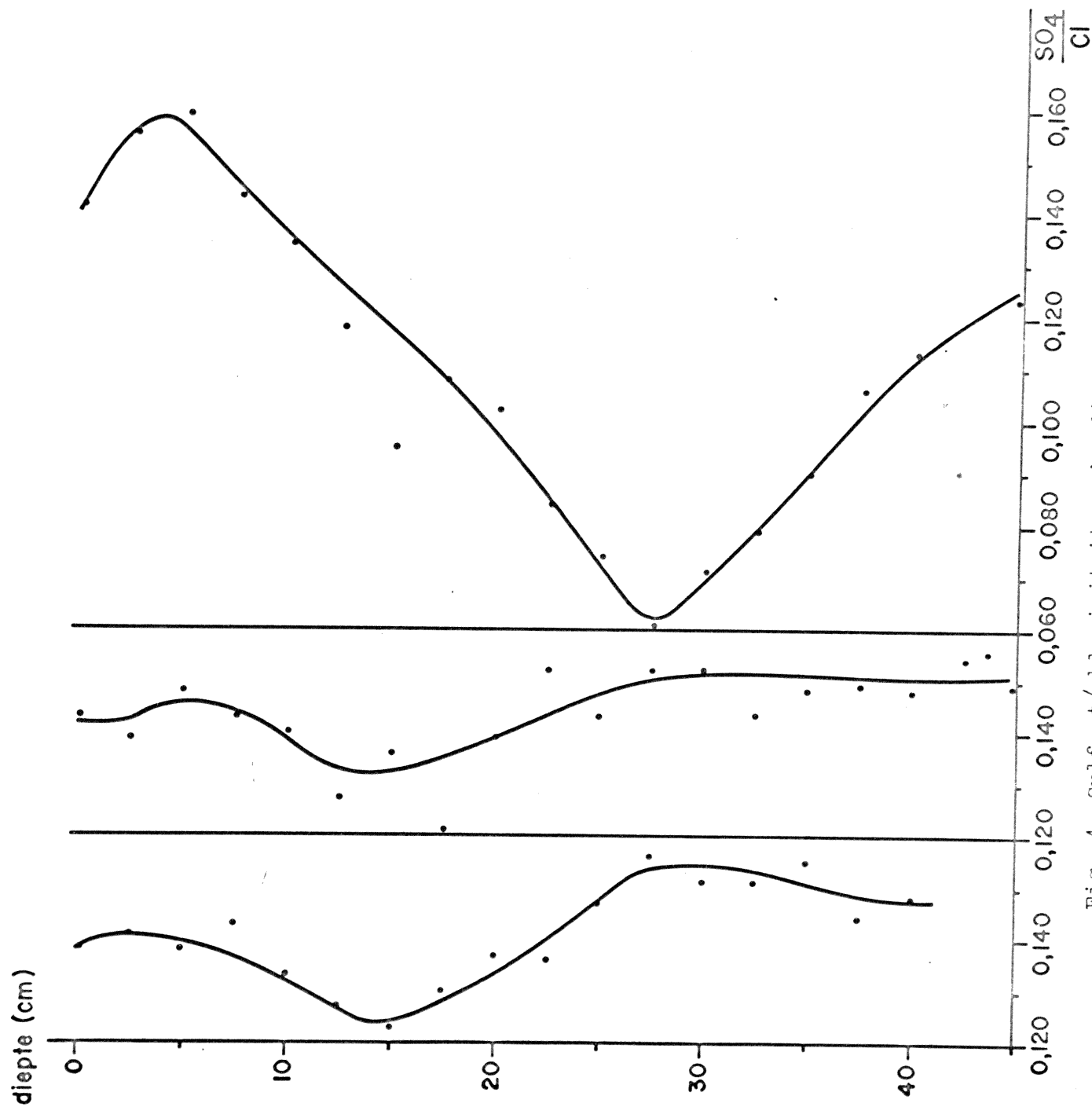


Fig. 4. Sulfaat/chloriniteit verhouding op verschillende diepte in enkele sediment monsters.