

notitie

GWAO-90.13032

aan : G.Berger, G.J. Zwolsman, R. van Zoest
 van : B. van Eck en D. van Maldegem
 datum : 12 maart 1990
 onderwerp : datering schorren Westerschelde

1. Inleiding.

In opdracht van DGW/Directie Zeeland is door het NIOZ de sedimentatiesnelheid bepaald met behulp van radioactieve ouderdomstechnieken (Cs-134/137 en Pb-210) van enkele schorgebieden (Emanuelschor, Konijnenschor, Saeftinghe-oost) uit het oostelijk deel van de Westerschelde. In de gedateerde cores zijn naast een aantal algemene kenmerken (organisch koolstof, carbonaat, korrelgrootte verdeling) een groot aantal hoofd- en spoorelementen (met name zware metalen) en PCBs, PAKs en HCB bepaald. De resultaten van het dateringsonderzoek zijn neergelegd in een intern NIOZ rapport (lit. 1). Het doel van het onderzoek was een historische beschrijving van de belasting van de Westerschelde met microverontreinigingen.

Op grond van het interne NIOZ rapport kwamen enkele specifieke vragen naar voren. Daarnaast is er de algemene vraag die altijd in dit soort studies aan de orde is. Deze vraag luidt: zijn er naast de resultaten van de radioactieve ouderdomsdatering zelf noch andere gegevens voorhanden die deze resultaten kunnen bevestigen (of weerleggen). Veelal zijn dit sedimentologische/geomorfologische gegevens. In onderhavige notitie wordt ingegaan op deze algemene en meer specifieke vragen.

De resultaten, neergelegd in de NIOZ publicatie en onderhavige notitie, zullen worden gebruikt voor het schrijven van een publicatie met als voorlopige werktitel: G. Berger and G.T.M. van Eck. Sedimentation and mixing rates in two salt marshes from the Scheldt estuary as determined by ^{134/137}Cs and ²¹⁰Pb. De publicatie zal worden aangeboden aan "Marine Chemistry" tegelijkertijd met twee andere artikelen (lit. 2 en 3) welke het gedrag beschrijven van respectievelijk de zware metalen en organische microverontreinigingen in de gedateerde cores.

In de onderhavige notitie zullen achtereenvolgens de volgende onderwerpen aan de orde komen: inleiding brakwaterintergetijden gebieden, bemonstering, bodemkundige beschrijving cores K en E, veranderingen in de verhouding fluviatiel/marien slib in de tijd op K en E, schatting van de sedimentatiesnelheid uit sedimentologische/geomorfologische gegevens, relatie tussen overstromingsfrequentie en sedimentatiesnelheid, en tenslotte de invloed van baggeractiviteiten op de gemeten sedimentatiesnelheid.

2. Brakwaterintergetijden gebieden (samenvatting lit. 4)

Schorren ontwikkelen zich doorgaans in een smalle gordel voor beschutte kusten waar het water kalmer stroomt en fijn materiaal tot bezinking kan komen. Naarmate de afzetting vordert ontstaan er slikken. Bij een bepaalde hoogte wordt plantengroei mogelijk. Meestal raken betrekkelijk grote oppervlakten dan ineens geheel begroeid. De kritische hoogte hangt af van het

B. VAN ECK & D. VAN MALDEGEM 1990

31 januari 1986

2

plaatselijke eb- en vloedritme. Door de uitslijpende werking van het bij eb terugstromende water ontstaan er vervolgens kreken. De schorvegetatie weerstaat de erosie echter waardoor de kreken langzamerhand vaak steile oeverwanden krijgen. Achter de kreken ontstaan kommen. De kommen worden via de uiteinden van de kreken met water gevoed. De stroomsnelheid is hier zo gering dat klei wordt afgezet. De kommen, zeker die met een zwak ontwikkeld krekensysteem, blijven hierdoor vaak erg nat en hebben daardoor meestal een slechte afwatering. Bij vloed treedt het water buiten de kreekoevers. De kommen en lage oeverwallen verdwijnen dan onder water. Langs de oeverwallen wordt zand afgezet. Oeverwallen zijn hierdoor in het algemeen meer gerijpt dan de komgronden. Bij eb vallen de grote onbegroeide zand- en slikplaten droog. De kreken staan dan leeg. Naar verloop van tijd wordt het hoogste gedeelte van het schor nog maar af en toe overspoeld en wordt dit schorgedeelte door het regenwater zo goed als ontzilt.

Over de hydrologie van de schorren is verder overigens weinig bekend. Oenema (lit. 5) constateert voor de Oosterschelde schorgebieden dat de grondwaterstand er vrij constant is maar dat de afwatering snel is omdat bij overspoeling het niveau binnen 1 dag 10 cm was gedaald. Mogelijke oorzaken hiervan zijn laterale waterstroming, de wateropname door planten, evapotranspiratie en drainage via de wortelkanalen gedurende de ebfase. Dit laatste wordt de meest plausibele verklaring gevonden. Na het gereedkomen van de Oosterscheldekering en het daardoor veranderende getij nam het grondwaterniveau in de winter niet veel af. In de zomer daarna daarentegen daalde het niveau 10 tot 40 cm. Er kan kortom een snelle aanpassing plaatsvinden van de grondwaterstand.

Wattel (lit. 6) concludeerde op grond van het waterstandsonderzoek in het Markiezaat dat voor de tot stand koming van de Markiezaatskade (dus met getij) het grondwaterniveau min of meer constant was. Uit het geheel kan als hypothese gedestilleerd worden dat schorgebieden vermoedelijk een vrij constant grondwaterpeil hebben. Hierop wijzen onze gegevens ook.

Saeftinghe, gelegen in oost Zeeuws Vlaanderen is een uitgestrekt brakwaterintergetijden gebied. De dijken die Saeftinghe aan de zuidzijde begrenzen stammen uit ca. 1900. Het is van grote culturele en natuur-historische waarde door zijn uitgestrektheid (ca 3000 ha) zowel als door de langdurige ongestoorde ontwikkeling die het heeft kunnen ondergaan. Saeftinghe kenmerkt zich in het algemeen als een ongerept geheel van uitgestrekte schorren doorsneden door talrijke diepe kreken met stijle oevers. Het bodemrelief oeverwal-kom bedraagt enkele cm op de jongste tot ca 1.5 m op de oudste delen van het schor. De oudste schorren zijn ca 1.5 m hoger dan de jongste platen.

Belangrijk in de ontwikkeling van Saeftinghe zijn geweest de vestiging van het Engels slijkgras (Spartina anglica) rond 1933 en de veranderingen in aard en intensiteit van de beweiding. In 1937 is verder de Rijksdam aangelegd en in 1966 de "gasdam", waardoor een deel van Saeftinghe verloren is gegaan.

De periode 1935-1957 wordt (vanuit vegetatie oogpunt) gekenmerkt door de laterale groei van Saeftinghe als gevolg van aanslibbing tegen het bestaande schor. In het oostelijk deel is deze aanslibbing veel minder geweest. In de periode 1957-1971 is er veel minder sprake van laterale uitbreiding via aanslibbing dan in de periode ervoor met uitzondering van het gebied ten westen van de plaats waar de rijksdam een knik maakt en de NW randen van de schorplaten. Sinds 1957 wordt de ontwikkeling vooral gekenmerkt door een sterke opslibbing van het hele gebied.

3. Bemonstering

Op 7-9-1987 en 8-9-1987 zijn op drie plaatsen Saeftinghe oost, Konijnenschor beide op het land van Saeftinghe en Emanuelpolder (zie Fig. 1; in de rest van deze notitie verder S, K en E genoemd) in duplo met een PVC pijp van 6 cm diameter cores gestoken van ongeveer 0.75, 0.95 en 0.85 m. In juli 1988 zijn op K en E nogmaals cores gestoken van ongeveer 85 cm lang voor het onderzoek aan organische microverontreinigingen. Op 18-11-1988 en 2-12-1988 zijn de bodemkundige beschrijvingen gemaakt van respectievelijk E en K.

Op Saeftinghe ligt het monsterpunt S in onbeweid gebied met droge kommen en oeverwallen en K in onbeweid gebied met natte tot droge kommen. Dit alles volgens de vegetatie kaart van 1972 (lit. 4).

De eerst genomen monsters zijn diepgevroren, een van de twee monsters per locatie is vervolgens vervoerd naar het NIOZ en daar in secties gesneden, die vervolgens gedroogd zijn bij 60 °C. Hierbij is tevens het watergehalte bepaald. Daarna zijn submonsters van diverse secties gebruikt voor de radioactieve ouderdomsdatering op Texel, voor de bepaling van de koolstofisotopen C-12 en C-13 bij de RUG, voor de bepaling van enkele algemene kenmerken (organisch koolstof, carbonaat, korrelgrootte verdeling) bij DGW Middelburg en de hoofd- en spoorelementen bij de RUU.

De monsters voor de bepaling van de organische microverontreinigingen zijn genomen met plastic buizen die ervoor met heet water waren schoongemaakt. De cores zijn op het lab ingevroren, vervolgens licht ontdooid en in secties gesneden. De secties zijn vervolgens nat gezeefd over 63µm volgens de methode van Klamer et al (lit. 7). Enkele monsters werden verdeeld in <20, 20-63 en >63µm. De gezeefde monsters zijn gevriesdroogd en gehomogeniseerd. De gewichten <63 en >63µm werden bepaald. Een submonster werd geanalyseerd op organisch koolstof bij DGW Middelburg.

4. Beschrijving cores (lit. 8)

Alleen K en E zijn bodemkundig beschreven. S ligt op + 2.6 m NAP (opname 1979). In het algemeen kunnen K en E als volgt gekarakteriseerd worden (zie ook Tabel 1).

De E core was niet gelaagd. De core bevatte geen schelpen en veen. De locatie is voor 100% bedekt met vegetatie, waarvan 85% strandkweek en 15% zeeaster. De locatie ligt op NAP +2.70 in de onmiddellijke omgeving van een middelgrote kreek op de overgang van oeverwal en kom. Verdere kenmerken staan in Tabel 1.

De K core is niet gelaagd met uitzondering van 67-125 cm, die zandlaagjes bevatte. De core bevat geen schelpen en veen. De locatie is voor 50% met vegetatie bedekt waarvan 40% aster, 50% spartina en 10% lamsoor. De locatie ligt op +3.0 NAP (opname 1988). Verdere kenmerken staan in Tabel 1.

Fig. 2 geeft voor Emanuelpolder het percentage <16µm, organisch koolstof, carbonaat en zwavel gehalte. Het percentage <16µm verloopt volgens het in Tabel 1 beschreven lutumgehalte (fractie <2µm). Dit is vrij constant over de diepte, helemaal onderin neemt het af door de bijmenging van wat grover materiaal. Het organisch koolstof gehalte neemt volgens verwachting af met de diepte door de afbraak ervan. Vlak onder het oppervlak is het hoger door de invloed van de vegetatie. De vegetatie heeft een belangrijke invloed op het gemeten koolstof gehalte. Oenema (lit. 5) berekende voor de schorgebieden in de Oosterschelde dat ongeveer 1/3 van het koolstof gehalte afkomstig is van de vegetatie. Onderin neemt het af door de bijmenging van wat grover materiaal. Het carbonaat gehalte wordt volgens verwachting bepaald door de invloed van de processen die in de bodem verantwoordelijk zijn voor de afbraak van

31 januari 1986

4

het organisch materiaal, op het pH, CO₂-alkaliteit systeem van het poriënwater. Dit zijn oxidatie, denitrificatie, sulfaatreductie en methaanvorming. Hierdoor neemt het carbonaat gehalte eerst af (door de oxidatie van organisch materiaal en pyriet) en vervolgens weer toe (door de alkaliteit productie tijdens sulfaatreductie). De verlaging van het carbonaat gehalte rond 40cm is niet duidelijk. Het zwavelgehalte wordt ook in sterke mate door de hiervoor genoemde processen bepaald. Vooral de sulfaat reductie doet het zwavel gehalte in de diepte oplopen door de vorming van FeS verbindingen. De afname van het S gehalte bovenin wordt vermoedelijk veroorzaakt door de oxidatie van pyriet. Deze reactie is mede verantwoordelijk voor de afname van het carbonaat gehalte.

Fig. 2 geeft ook voor Konijnenschor het percentage <16µm, organisch koolstof, carbonaat en zwavel gehalte. <16µm varieert wat met de diepte omdat in K zandlensjes aanwezig zijn. Het neemt onderin af door de bijmenging met wat grover materiaal. Organisch koolstof neemt met de diepte af door afbraak.

Tabel 1 Enkele bodemkundige kenmerken E en K

Emanuelsschor

<u>sectie</u> <u>(cm)</u>	<u>kleur</u>	<u>rieping</u>	<u>lutum</u> <u>(%)</u>	<u>aantal wortels</u> <u>per 100 cm²</u>
0-6	bruinig met 2-10% roest- vlekken	bijna	17-25	10-50
6-30	bruinig geoxideerd	bijna	17-25	0-10
30-62	grijs met 10% roestvlekken gereduceerd	bijna	17-25	0-10 met dode wortels
62-87	grijs/zwart gevlekt gereduceerd	half	17-25	0-10 met dode wortels
>87	grijs/zwart gereduceerd	half	12-17	geen

Konijnenschor

<u>sectie</u> <u>(cm)</u>	<u>kleur</u>	<u>rieping</u>	<u>lutum</u> <u>(%)</u>	<u>aantal wortels</u> <u>per 100 cm²</u>
0-5	grijs/bruin geoxideerd niet	bijna	12-17	0-10
5-17	grijs/bruin geoxideerd	half	12-17	10-50
17-30	bruin met 20% roestvlekken gereduceerd	half	12-17	10-50 veel dode wortels
30-67	grijs/zwart gevlekt gereduceerd	half	17-25	0-10 met dode wortels
67-76	grijs/zwart gevlekt gereduceerd	half	0-2/ 17-25	0-10 10% zandlensjes
76-125	grijs gereduceerd	half	0-2/ 17-25	geen wortels 50% zand- en 50% lutumlensjes van 1cm

Onderin neemt het af doordat grover materiaal wordt bijgemengd. Vlak onder het oppervlak is het door de vegetatie invloed weer wat hoger. Carbonaat neemt eerst weer af en vervolgens weer toe om dezelfde redenen als in E. Ook het zwavel profiel heeft hetzelfde verloop als in E. De reden hiervoor is ook weer hetzelfde als in E.

Het materiaal afgezet in E is wat fijner dan in K. Het organische koolstofgehalte is hierdoor ook wat hoger. De afbraak van het organische materiaal en daardoor ook de diagenese processen zijn in E wat intensiever dan in K.

Het materiaal dat is afgezet in K en E is fijner dan de samenstelling van het zwevend materiaal in de geul. E heeft volgens de veldopname 17-25% lutum (<2 μm) en 80 tot 90% <16 μm , K 12-17% lutum en 70 tot 80% <16 μm . Het zwevend materiaal in de geul heeft op drooggewicht basis 40 tot 50% <16 μm en 30 tot 40% <2 μm . Gezien deze cijfers is de lutum veldopname misschien te laag.

5. Veranderingen in de verhouding fluviatiel/marien slib in de tijd op E en K ($\delta^{13}\text{C}$ onderzoek)

Een van de problemen bij de interpretatie van de gemeten gehalten aan organische microverontreinigingen en zware metalen in de cores zou kunnen worden veroorzaakt door een verandering in de tijd van de verhouding fluviatiel/marien materiaal in het aangevoerde zwevend materiaal dat sedimenteert op E en K. Hierdoor zouden de gehalten in de diepte (tijd) (kunnen) veranderen zonder dat de oorzaak ervan een verandering in de belasting is. Daarom is door de RUG (Mook) van E en K de $\delta^{13}\text{C}$ bepaald in een geselecteerd aantal monsters. De resultaten zijn vermeld in Fig. 3. In de figuur zijn ook de $\delta^{13}\text{C}$ waarden vermeld voor K zoals die bepaald zijn in het onderzoek dat door van Maldegem is uitgevoerd (lit. 9). De $\delta^{13}\text{C}$ waarden van S zijn door ons niet bepaald, wel voor enkele monster door van Maldegem. De resultaten hiervan en ook die van K uit Fig. 3 zijn vermeld in Tabel 2.

Tabel 2 $\delta^{13}\text{C}$ en organisch koolstof gehalten van enkele monsters uit K en S.

K diepte cm	$\delta^{13}\text{C}$	%C	S	diepte cm	$\delta^{13}\text{C}$	%C
4-6	-23.10	3.3		4-6	-25.50	4.6
15-18	-24.76	3.2		15-18	-25.99	4.3
25-28	-24.70	3.0		25-28	-25.72	3.7
35-38	-23.65	2.7		35-38	-23.78	2.4

De algemene conclusie op grond van de gemeten $\delta^{13}\text{C}$ in lit. 9 dat de schor monsters relatief een (veel) hoger percentage marien slib hebben dan de bodem of het zwevend materiaal in de geul ter plaatse, wordt in eerste instantie ook bevestigd door Fig. 3. Nemen we bijvoorbeeld voor zoet een $\delta^{13}\text{C}$ van -27.5 (range voor zoet -27 tot -31 uit Laane et al, zie lit. 10) en voor zout van -22.5 (range van -21 tot -24 ook uit lit. 10; lit. 10 laat overigens ook zien dat $\delta^{13}\text{C}$ van zout verandert in de loop van het jaar onder invloed van de temperatuur) dan heeft K met een $\delta^{13}\text{C}$ van -23 10% fluviatiel en E met -25.5 60% fluviatiel materiaal. De bodem ter plaatse heeft ca 75% fluviatiel (zie lit. 9). (voor K en E zijn te berekenen 77% en 72%. Verschillen in gehalten microverontreinigingen tussen deze plaatsen zijn dus niet met verschillen in percentage fluviatiel materiaal in het aangevoerde materiaal te verklaren). Lit. 9 geeft voor K 35% en voor S 56% fluviatiel materiaal.

Als verklaring voor het lagere gehalte fluviatiel materiaal wordt in lit. 9 genoemd dat de afzetting van het slib in de schorgebieden voornamelijk tot

31 januari 1986

6

stand komt bij stormen waardoor meer mariener materiaal wordt afgezet dan in de geulbodem ter plaatse.

Een andere niet minder plausibele verklaring is te halen uit het verloop van de $\delta^{13}\text{C}$ met de diepte zoals E die laat zien. De lage $\delta^{13}\text{C}$ onderin het sediment kan alleen verklaard worden uit het feit dat hier C4 planten (zoals rietsoorten en zeegrassen) in hoge mate de $\delta^{13}\text{C}$ bepalen. Gaan we uit van 80% fluviatueel slib dan is de $\delta^{13}\text{C}$ ter plaatse met een $\delta^{13}\text{C}$ voor zoet van -27.5 en voor zout van -22.5 -26.5. Als we aannemen dat ook in de Westerschelde net als in de Oosterschelde ruwweg 1/3 (zie verderop) van het koolstof van de schor vegetatie afkomstig is dan is met een $\delta^{13}\text{C}$ van -17 voor de vegetatie een $\delta^{13}\text{C}$ te berekenen van ongeveer -23 ($1/3 \cdot -17 + 2/3 \cdot -26.5$) wat overeenkomt met de metingen.

De afname van de $\delta^{13}\text{C}$ met de diepte in K komt vermoedelijk van afbraak van organisch materiaal. Zowel afbraak van marien als van C4 planten kan de verandering in de $\delta^{13}\text{C}$ verklaren. De variatie met de diepte in de cores zou kunnen komen door variatie in het aandeel plantenmateriaal in de geanalyseerde submonsters. Vermoedelijk zijn de monsters wat $\delta^{13}\text{C}$ betreft zeer inhomogeen.

Het is concluderend niet eenvoudig vast te stellen wat nu de juiste verklaring is voor de gemeten $\delta^{13}\text{C}$ in K en E. De tweede verklaring dat de $\delta^{13}\text{C}$ van C4 planten een belangrijke rol speelt, lijkt de meest plausibele. In ieder geval kan geconcludeerd worden dat niet vastgesteld kan worden of in de loop van de tijd de verhouding fluviatueel/marien slib in de schorgebieden is gewijzigd. Is de lage $\delta^{13}\text{C}$ van rietsoorten afkomstig dan is er vroeger in E inderdaad meer fluviatueel slib afgezet, omdat riet alleen groeit bij lagere zoutgehalten. $\delta^{13}\text{C}$ levert tevens geen oplossing voor het geconstateerde verschil in gehalte niveau's van organische microverontreinigingen tussen K en E (K ruwweg tweemaal zo hoog als E). Het is daarbij overigens de vraag of de hier gepresenteerde $\delta^{13}\text{C}$ waarden wel representatief geacht mogen worden voor de fractie $<63\mu\text{m}$ die is gebruikt om de org. micro's in te bepalen. Dit omdat plantenmateriaal, dat vermoedelijk vaak $>63\mu\text{m}$ is, vermoedelijk een belangrijke rol speelt in de bepaalde $\delta^{13}\text{C}$. Een bepaling die mogelijkerwijs zinvol zou kunnen zijn, is de bepaling van $\delta^{13}\text{C}$ in de fractie $<63\mu\text{m}$. Dat er flinke verschillen kunnen voorkomen in $\delta^{13}\text{C}$ leert recent onderzoek dat laat zien dat de ratio $\delta^{13}\text{C} <75\mu\text{m} / \delta^{13}\text{C} <53\mu\text{m}$ 1.4 is.

6. Schatting sedimentatiesnelheden uit geomorfologische/sedimentologische gegevens

Met Cs-134/137 en Pb-210 werden sedimentatiesnelheden berekend voor K van 1.3 cm per jaar voor de periode voor 1963 op grond van Pb-210 en van 1.7 cm per jaar voor de periode 1963 tot heden op grond van Cs-137. Voor S werden snelheden berekend op grond van Pb-210 van 0.71 cm per jaar voor de bovenste 30 cm (43 jaar 1945-1988) en van 3.0 cm per jaar voor 33 tot 75 cm (1930-1945). Voor S werd op grond van Cs-137 een snelheid berekend van 1 cm per jaar voor de periode 1963-1988. Voor E werd een snelheid berekend van 0.87 cm per jaar voor de hele periode (1895-1988) zowel op grond van Cs-137 als Pb-210. De zelfde grootte orde van sedimentatiesnelheden is door Oenema gemeten in de Oosterschelde (zie lit. 5). Compactie kan voor een deel verantwoordelijk zijn voor de afname van de sedimentatiesnelheid in K met de diepte (zie lit. 5). De vraag is of de radioactieve ouderdomsdaterring ondersteunt kan worden met sedimentatiesnelheden berekend op ander wijze. Dit kan met name voor K omdat er vrij veel bekend is over Saeftinghe.

Een globale berekening van de sedimentatiesnelheid kan allereerst gedaan

31 januari 1986

7

worden uit de constatering uit opnamen (zie lit. 11) dat de afgelopen 100 jaar per jaar gemiddeld 0.4 miljoen ton slib is afgezet op het land van Saeftinghe. De ca 0.4 miljoen ton slib is overigens ongeveer 50% van het totale slibtransport ter hoogte van Saeftinghe. Het slibtransport bestaat hier voor ongeveer 50% uit fluviatiel en voor 50% uit marien materiaal (lit. 9). Uit dit gegeven valt met een oppervlak van Saeftinghe van 3000 ha, een watergehalte van 50% en een dichtheid van 2 g/cm³ een sedimentatiesnelheid te berekenen van 1.37 cm per jaar. Dit is goed in overeenstemming met de radio-actieve datering.

De vraag kan daarbij gesteld worden of de geconstateerde 0.41 miljoen ton onderbouwd kan worden. Dit kan op de volgende manier. Als al het slib sedimenteert dat met het water wordt aangevoerd dan levert dit de volgende sedimentatie op. Sedimentatie = vloedvolume * overstromingsfrequentie * sediment concentratie. Het vloedvolume naar het land van Saeftinghe is 15 miljoen m³, de frequentie 720 per jaar en het gehalte 50 mg/l. De sedimentatie is dan ongeveer 0.5 miljoen ton. Dit is redelijk in overeenstemming met de geconstateerde sedimentatie van 0.41 miljoen ton als we de onzekerheid in de slibconcentratie in acht nemen en ons realiseren dat de schorvegetatie vrijwel 100% van het slib uit het water verwijderd (zie lit. 5).

Een tweede berekening van de sedimentatiesnelheid kan met de volgende gegevens. Het niveau van zandig worden van een core uit een schorgebied wordt door Oenema (lit. 5) verklaard als het bereiken van het niveau van de vroegere zandplaat waarop de schorvorming is begonnen. Is bekend in welk jaar dit is geweest dan kan de sedimentatiesnelheid berekend worden. Dit kan gedaan worden voor het K dat ontstaan is begin jaren dertig door de aanplant van Spartina anglica. Het niveau van grover worden ligt op 80 cm. Dit geeft dan een gemiddelde sedimentatie over 58 jaar van 80 cm of te wel 1.38 cm per jaar, uitstekend in overeenstemming met de globaal berekende sedimentatiesnelheid en de snelheden bepaald via de datering van 1.3 en 1.7 cm per jaar. Een derde methode om de snelheid uit andere gegevens te bepalen is de bepaling van de sedimentatiesnelheid uit veranderingen in de komberging van het land van Saeftinghe die te bepalen is uit lodingen. Hiervoor is de ontwikkeling van het Land van Saeftinghe vanaf 1930 gereconstrueerd aan de hand van kombergingsgrafieken voor 5 niveau's (-1 tot 0, 0 tot 1, 1 tot 2, 2 tot 3 en 3 tot 4 m +NAP) en drie perioden (1930-1949, 1949-1970 en 1970-1980). De resultaten zijn in onderstaande Tabel 3. vermeld.

Tabel 3. Oppervlakte veranderingen Saeftinghe 1930-1980

niveau	oppervlakteveranderingen in ha en in % per 20 jaar							
+NAP	1931-1949		1949-1970		1970-1980		totaal	
-1-0	200	7%	-37	-1%	50	2%	213	6%
0-1	63	2%	312	9%	150	8%	525	15%
1-2	300	9%	587	16%	175	10%	1062	30%
2-3	325	11%	850	23%	275	16%	1450	42%
3-4	-100	-3%	200	5%	152	10%	250	7%
totaal	788		1912		800		3500	
snelheid								
(cm/jaar)	1.6		3.3		3.0		2.6	

Met de berekende verandering van 3500 ha over 50 jaar valt met een oppervlakte van 2700 ha een gemiddelde sedimentatiesnelheid van 2.6 cm per jaar te

31 januari 1986

8

berekenen. De snelheid over de eerste periode is 1.6 cm per jaar, over de tweede periode 3.3 en over de vierde periode 3 cm per jaar. De gemeten snelheden met radioactieve ouderdomsbepaling op K en S zijn lager. Oorzaken hiervoor zijn moeilijk te geven, vermoedelijk komen lokaal verschillen in sedimentatiesnelheid voor.

Geconcludeerd kan worden dat voor K de via datering bepaalde snelheden goed overeenkomen met sedimentatiesnelheden die uit andere gegevens vallen te berekenen.

7. Relatie overspoelingsfrequentie sedimentatiesnelheid

De drie bemonsteringspunten K, S en E liggen op respectievelijk NAP +3.0, 2.6 en 2.7m. Men verwacht in het algemeen dat in schorgebieden de sedimentatiesnelheid afneemt van het lage naar het hoge schor vanwege de afname bij toename van de hoogteligging van de overstromingsfrequentie, vloedperiode en gemiddelde waterdiepte tijdens de overspoeling. Een lineaire relatie tussen hoogteligging van K, S en E en sedimentatiesnelheid blijkt er echter niet te zijn zoals Tabel 4 laat zien, eerder lijkt een omgekeerde relatie het geval. Ook door Oenema in de Oosterschelde (lit.5) is geconstateerd dat de sedimentatiesnelheid grotendeels onafhankelijk is van de overstromingsfrequentie.

Tabel 4. Relatie hoogteligging en sedimentatiesnelheid

locatie	hoogteligging +NAP	sedimentatiesnelheid	
		Cs-137	Pb-210
K	3.0	1.7	1.3
S	2.6	1.0	0.7 en 3.0
E	2.7	0.9	0.9

Als redenen worden in lit. 5 vermeld de geleidelijke toename van het getij in de tijd, wat ook geldt voor de Westerschelde (zie lit. 11 en Fig. 4 welke laten zien dat ook in de Westerschelde het getij is gestegen), en de hypothese dat de aanslibbing grotendeels plaatsvindt tijdens stormen. Ook bedacht moet worden dat de netto sedimentatie het resultaat is van bruto sedimentatie en erosie. Deze laatste term zal bij een hogere overstromingsfrequentie vermoedelijk ook hoger zijn.

Een belangrijk aspect echter waarmee in Tabel 4 geen rekening is gehouden is het verval tussen de geul en de plaat onder invloed van de bodemwrijving. Dit betekent dat de gemeten hoogteliggingen niet direct in Fig. 5, de overstromingsfrequentie tabel, kunnen worden geplot. Berekend kan worden (zie Bijlage 1) dat het verval voor K 20 cm is en voor S 60 cm. Beide krijgen dan een gecorrigeerde NAP hoogte van 3.2 m en beide een overstromingsfrequentie van 20 maal per jaar oftewel één overstroming bij ieder goed ontwikkeld springtij. Het verval rond S is vermoedelijk nog groter geweest dan berekend, zeker na 1950, door de ontwikkeling van het schorgebied voor dit punt.

Fig. 5 laat daarbij verder zien dat rond 3 m +NAP de hoogte ligging heel kritisch is. Een kleine verhoging van de hoogteligging rond +3 m NAP kan al een forse verlaging van de overstromingsfrequentie betekenen en vermoedelijk daarmee in dit gebied van hoogteliggingen van de sedimentatiesnelheid. In het gebied duidelijk lager dan NAP + 3 m is het vermoedelijk wel zo dat de sedimentatiesnelheid vrij constant blijft over een groot traject van hoogteliggingen.

De sterke verlaging van de sedimentatie op S is dus vermoedelijk te verklaren uit het ver naar achteren liggen van dit punt. De invloed van het gemiddeld

te berekenen verval is hierdoor al groot. De invloed van het verval voor S is vermoedelijk groter dan gemiddeld door de ontwikkeling van het schor ervoor. Hierdoor en met name doordat op S de kritische hoogteliggingsbarrière rond 3 m NAP werd overschreven, is de sedimentatie op S lager dan op K ondanks de lagere hoogteligging en is de sedimentatiesnelheid rond 1945 op S sterk afgenomen. Vergelijking van K en S met E is veel moeilijker omdat Saeftinghe en Emanuelschor vermoedelijk niet direct te vergelijken zijn.

Een faktor tenslotte die ook nog van belang is in de relatie tussen sedimentatiesnelheid en overstromingsfrequentie, zeker als wordt aangenomen dat stormen een belangrijke faktor vormen in de uiteindelijke netto sedimentatie, is de toename van het voorkomen van zware stormen met hoge waterstanden na 1950. In onderstaande Tabel 5 is de toename weergegeven.

Tabel 5 Overzicht stormfrequenties 1880-1980

periode	frequentie per jaar
1880-1930	0.4
1930-1950	0.4
1950-1970	0.7
1970-1980	1.2

8. Invloed baggeractiviteiten op de sedimentatiesnelheden

Een belangrijke vraag is of de forse baggeractiviteiten in het oostelijke deel van de Westerschelde invloed hebben c.q. hebben gehad op de gemeten afzetting van slib in het land van Saeftinghe. Om hier zicht op te krijgen zijn de gegevens uit Tabel 3 grafisch uitgezet in Fig. 6. Daarnaast zijn in de grafiek vermeld de storthoeveelheden voor de twee stortplaatsen nabij het land van Saeftinghe namelijk Boei 63 en de Schaar van de Noord.

Fig. 6 laat inderdaad een relatie zien tussen de baggeractiviteiten en de ontwikkeling van het land van Saeftinghe bepaald uit lodingen. Uit de grafiek zijn zowel voor de baggeractiviteiten als verandering van de komberging vier perioden af te lezen en wel de periode voor 1950, 1950 tot 1970, 1970 tot 1980 en na 1980. Van de eerste naar de tweede periode nam de sedimentatie toe, vervolgens nam deze weer af en na 1980 vermoedelijk (zie storthoeveelheden) weer toe. De figuur laat ook een trendbreuk zien na 1950 in de ontwikkeling van Saeftinghe. De ontwikkeling geldt overigens vooral voor het gebied boven NAP. Voor het gebied lager dan NAP is de ontwikkeling enigszins omgekeerd omdat de sedimentatie veel minder in de geulgebieden plaatsvindt dan op de begroeide schorren. De trendbreuk rondom 1950 vindt zijn oorzaak in de de scheepvaartontwikkelingen in het Antwerps havengebiedm welke de baggeractiviteiten in die tijd sterk deden toenemen.

Vrijwel dezelfde perioden kunnen aangewezen worden in Fig. 7 waarin de radioactieve ouderdomsbepaling voor K gebaseerd op Pb-210 is vermeld. Uit de grafiek volgt dat er voor K drie perioden zijn en wel 55-70, 70-78 en na 78. In eerst periode is de sedimentatie bepaald met Pb-210 hoger, in de tweede lager en in de derde weer hoger dan gemiddeld. Ook dit klopt met Fig. 6.

Uit de overeenkomst in Fig. 6 en Fig. 7 van perioden van toe- of afname van sedimentatie van slib kan dus inderdaad geconcludeerd worden dat de baggeractiviteiten ter hoogte van Saeftinghe invloed hebben (gehad) op de snelheid van afzetting van slib in het land van Saeftinghe.

31 januari 1986

10

Tenslotte is in Tabel 6. een overzicht gegeven van de op diverse wijze berekende sedimentatiesnelheden.

Tabel 6. Overzicht bepaalde sedimentatiesnelheden

locatie	sedimentatiesnelheid	
	Cs-137 1963-heden	Pb-210
K	1.7	1.3 (1930-1963)
S	1.0	3.0 (1930-1945) 0.7 (1945-1988)
E	0.9	0.9 (1895-1988)
Saeftinghe	1.4 cm/jaar op grond slib sedimentatie 0.4 miljoen ton per jaar	
	1.4 cm/jaar voor K op grond zandig worden core.	
	1.6 cm/jaar 1931-1949 op grond verandering komberging	
	3.3 cm/jaar 1949-1970 op grond verandering komberging	
	3.0 cm/jaar 1970-1980 op grond verandering komberging	
	2.6 cm/jaar 1930-1980 op grond verandering komberging	

9. Literatuur

1. G.W. Berger en D. Eisma. Datering van sedimenten in de Westerschelde met behulp van de isotopen ^{134}Cs , ^{137}Cs en ^{210}Pb . NIOZ rapport 1988-2. Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, Den Burg, Texel, 1988.
2. J.J.G. Zwolsman and G.T.M. van Eck. Historical input, postdepositional mobility and retention of major and trace elements in two dated sediment cores from the Scheldt estuary (S.W. Netherlands).
3. R. van Zoest and G.T.M. van Eck. Historical input and behaviour of hexachlorobenzene, polychlorinated biphenyls and polycyclic aromatic hydrocarbons in two dated sediment cores from the Scheldt estuary.
4. J. Leemans en B. Verspaandonk, 1980. Saeftinghe vegetatiekaart 1:10000. Stichting Het Zeeuwse Landschap, Heinkenszand.
5. O. Oenema, 1988. Early diagenesis in recent fine-grained sediments in the Eastern Scheldt. Proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht. Hoofdstuk 2 Accretion rates in salt marshes in the Eastern Scheldt en Hoofdstuk 8 Pyrite accumulation in salt marshes in the Eastern Scheldt.
6. G. Wattel, 1989. De grondwaterstandsveranderingen in het Markiezaat. Notitie GWWS 89.473.
7. J.C. Klamer, W.J.M. Hegeman and F. Smedes, 1990. Comparison of grain size correction procedures for organic micropollutants and heavy metals in marine sediments. *Hydrobiologia* (in press).
8. C. Joosse, C. Sierveld en B. Boer, 1989. Bodemkundige beschrijving van enkele sediment cores uit de schorgebieden in het oostelijke deel van de Westerschelde.
9. D.C. van Maldegen, 1989. Verhouding marien/fluviatiel slib Scheldesestuarium medio 1987-1988. Notitie GWAO-89.1287.
10. R.W.P.M. Laane, E. Turkstra and W.G. Mook, 1989. Stable carbon isotope composition of pelagic and benthic organic matter in the North Sea and adjacent estuaries. *Netherlands Journal of Sea Research* (in press).
11. Werkgroep Waterbeheer Westerschelde, 1989. Beleidsplan Westerschelde deelrapport 3 Slibhuishouding en Bodemkwaliteit.

Bijlage 1 Berekening verval over het land van Saeftinghe

Het gemiddelde verval over het land van Saeftinghe kan als volgt berekend worden.

De berging beneden NAP +2.5 bedraagt ca. 20 miljoen m³ en het vloedvolume ca 15 miljoen m³. Het verschil (ca 5 miljoen m³) geeft de interne weerstand van het gebied tegen het binnendringen en overspoelen van het water. Dit geeft met een oppervlak van 2700 ha van Saeftinghe een verval van

$5 \cdot 10^6 / 27 \cdot 10^6 = 0.72$ m of gemiddeld 36 cm voor Saeftinghe als geheel. Het verval in de geulen zal minder zijn en op de schorren groter. De verhouding tussen geul en schor is te benaderen met:

verval in m = $L \cdot v^2 / C^2 \cdot h$ met L = breedte stroomgebied in m, v = stroomsnelheid in m/s, C² = constante (Chezy getal) in m/s² en h = waterdiepte in m.

L is ongeveer 2730 m als we uitgaan van een afstand langs de Westerschelde ter hoogte van Saeftinghe van 10 km en een oppervlak van Saeftinghe van 2730 ha, v is ongeveer 1 m/s, C² is 50 voor gladde oppervlakten als geulen en 25 voor begroeide oppervlakten als schorren. Hieruit volgt dat het energieverlies boven schorren vier maal groter is dan boven geulen of met andere woorden dat de bijdrage aan het verval over Saeftinghe van schorgebieden vier maal zo groot is als van de geulen. Als we verder aannemen dat de helft van Saeftinghe geul is en de andere helft schorgebied en dat het verval over Saeftinghe als geheel 0.72 m bedraagt (zie hiervoor) dat is met de volgende vergelijking te berekenen door welk verval van geul en schorgebieden dit totale verval tot stand komt:

$0.72 = 0.5 \cdot 1 \cdot \text{verval} + 0.5 \cdot 4 \cdot \text{verval}$ of te wel $v = 0.29$ m of te wel het verval over de geulen bedraagt 0.29 m en over de schorgebieden $4 \cdot 0.29 = 1.16$ m.

Het verval op een bepaalde plaats in het land van Saeftinghe is nu ook te berekenen. Hierbij moet bedacht worden dat het verval op een bepaalde plaats deels tot stand komt via een verval door de geulen en deels via een verval door de schorgebieden omdat het water in het algemeen op een plaats komt via de geul en vervolgens het schor. Voor het verval op een plaats in Saeftinghe is nu te schrijven: verval = (lengte geul/2730) * 0.29 + (lengte schor/2730) * 1.16.

Voor K is lengte geul 0 en lengte schor 500 m, voor S is lengte geul 2000 m en lengte schor 1000 m. Het verval voor K is dan 20 cm en voor S 60 cm.

Saeftinghe

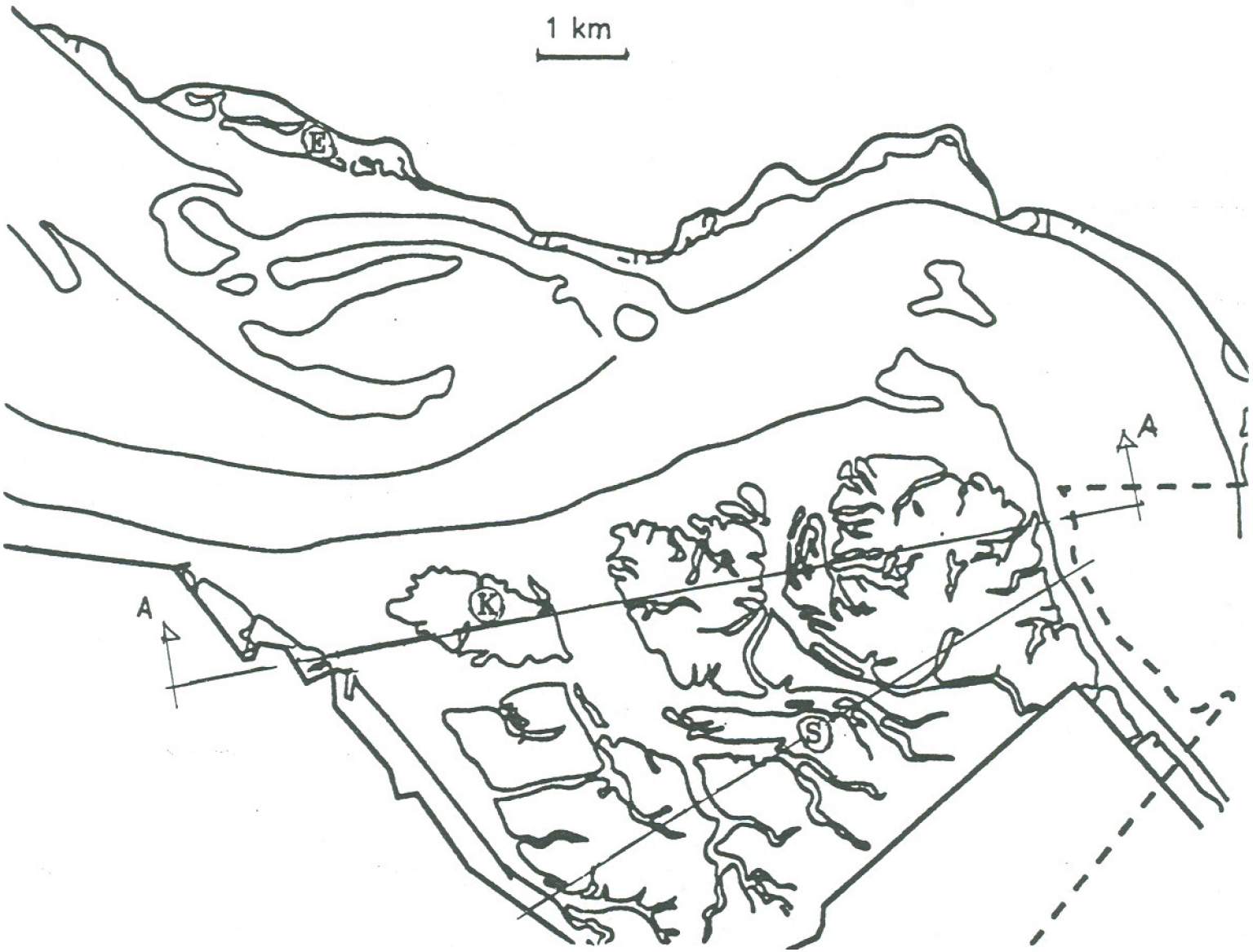


Fig. 1. Bemonsteringslocaties Westerschelde.

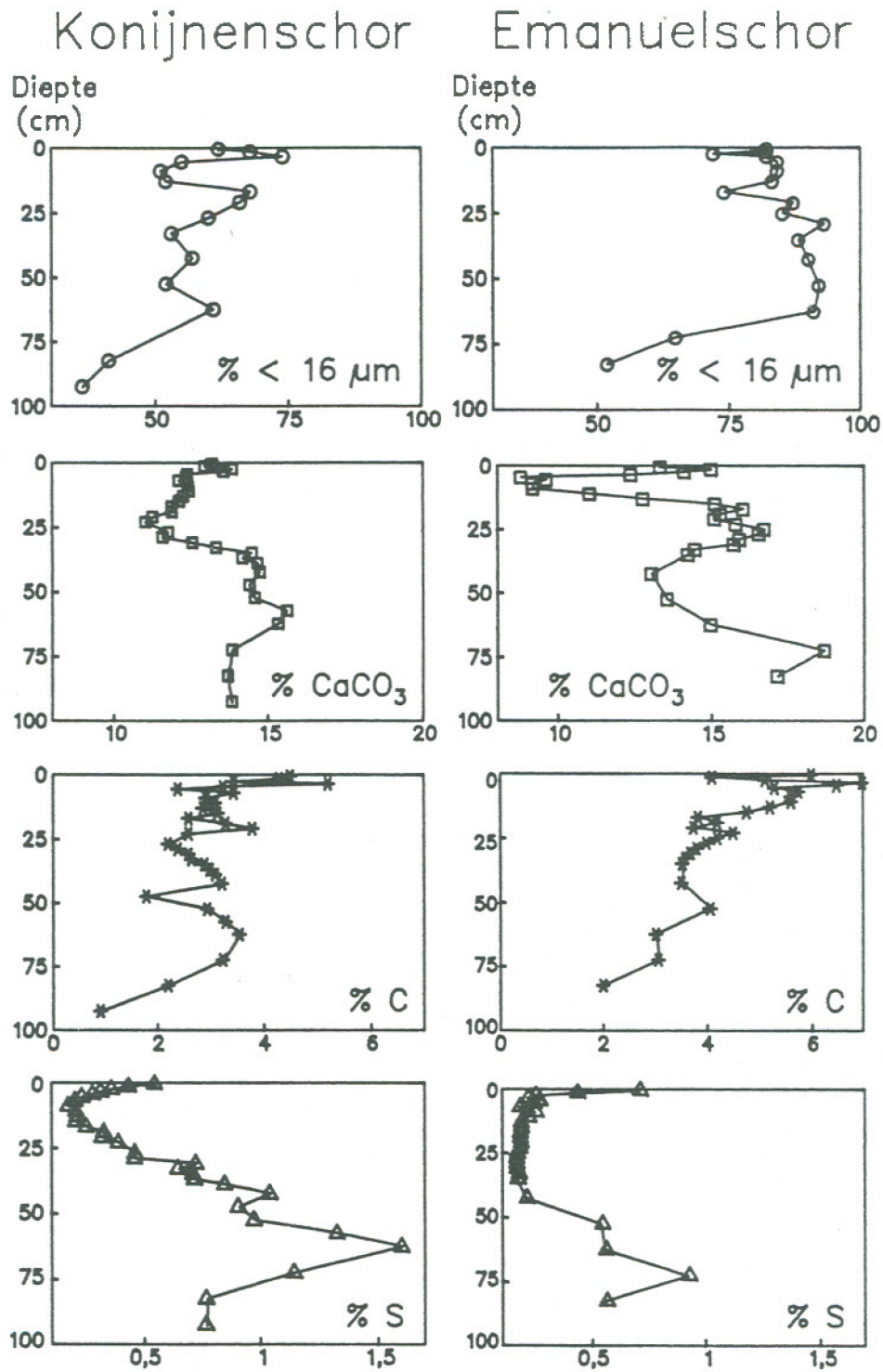


Fig. 2. Korrelgrootte ($\% < 16 \mu\text{m}</math>), organisch koolstof gehalte ($\% \text{C}</math>), carbonaatgehalte ($\% \text{CaCO}_3</math>) en zwavelgehalte ($\% \text{S}</math>) Konijnenschor en Emanuelshor als functie van de diepte.$$$$

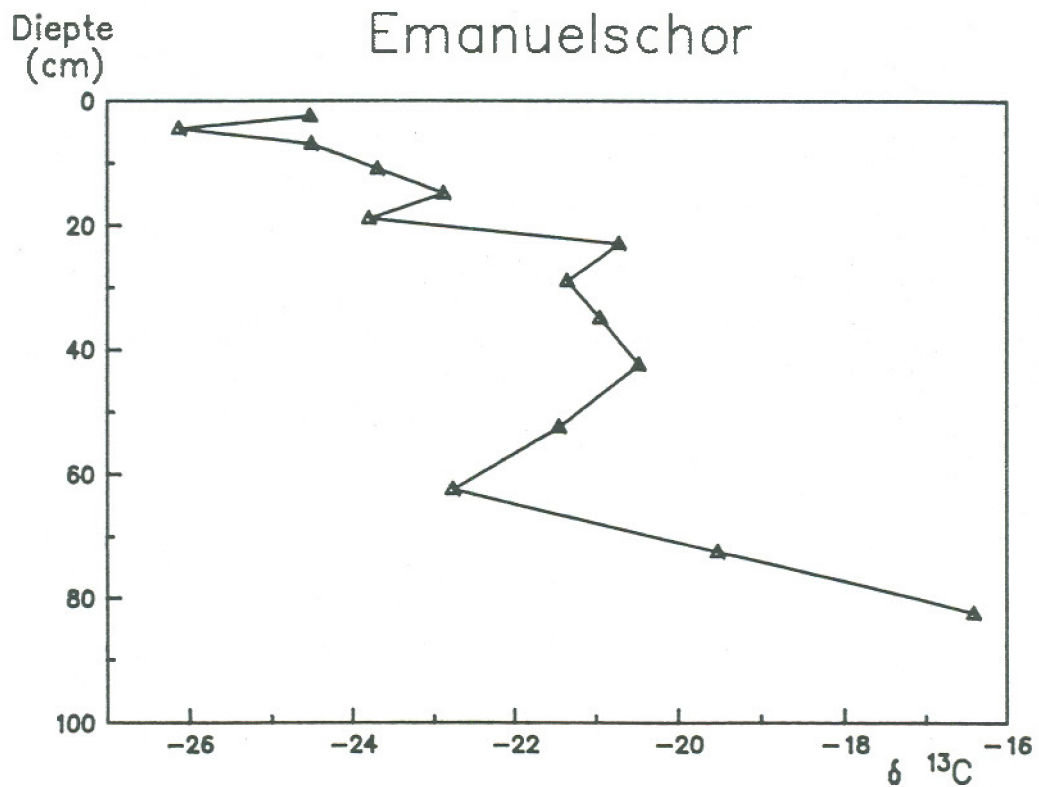
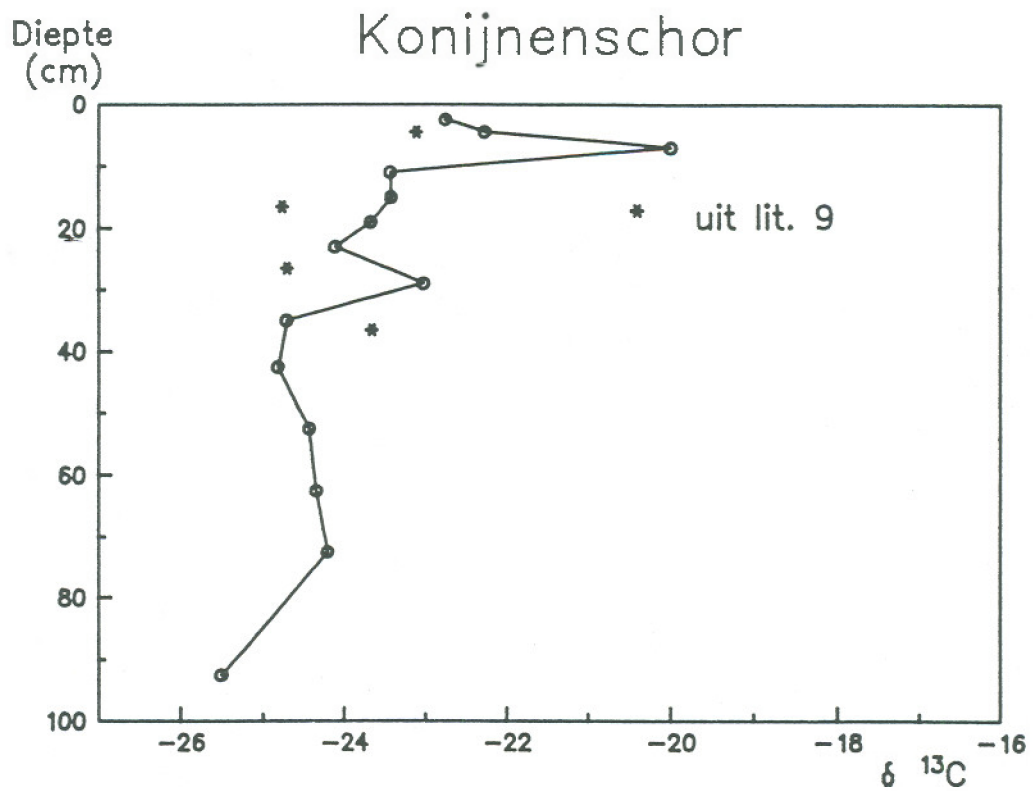


Fig. 3. $\delta^{13}\text{C}$ Konijnschor en Emanuelschor als functie van de diepte

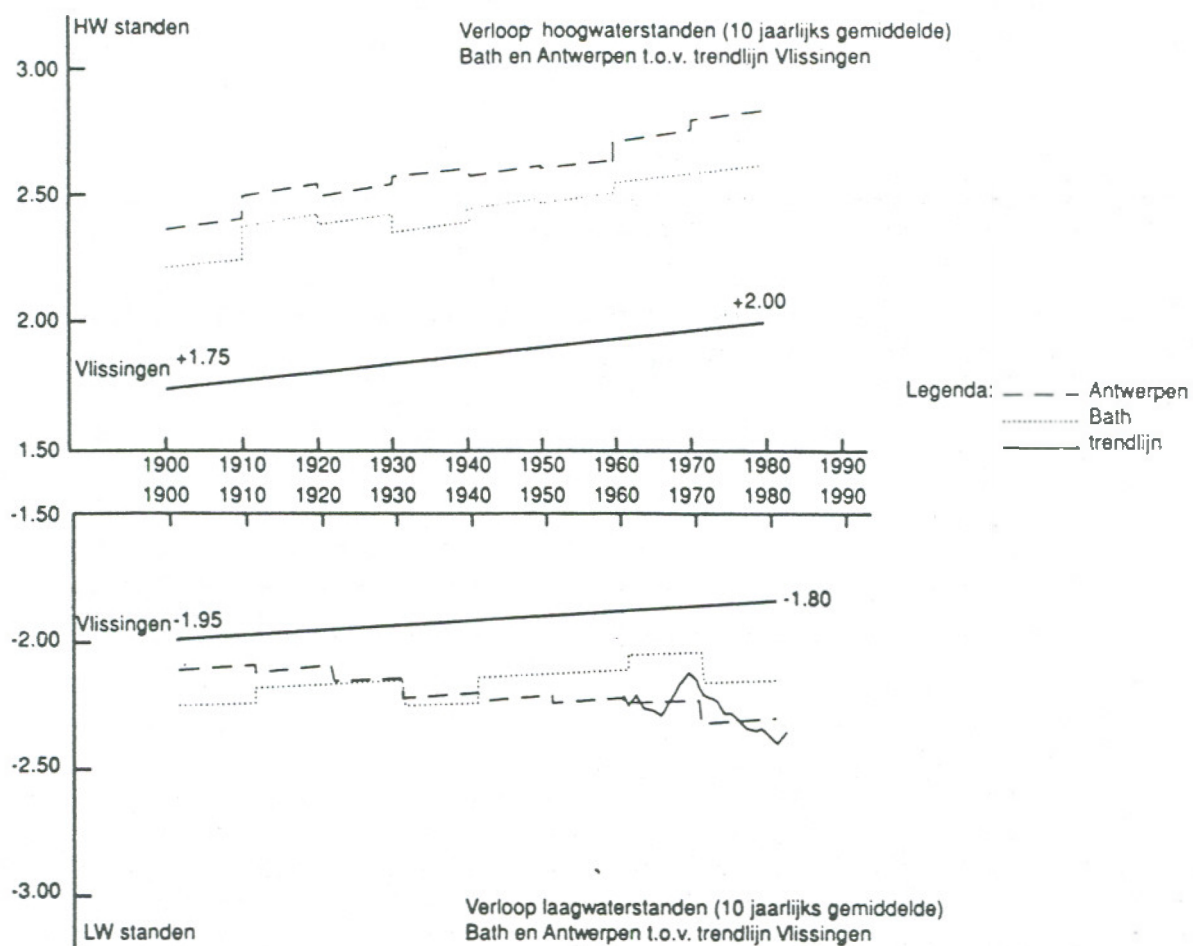


Fig. 4. De ontwikkeling van de gemiddelde hoog- en laagwaterstanden te Bath en Antwerpen periode 1900-1980 t.o.v. trendlijn Vlissingen.

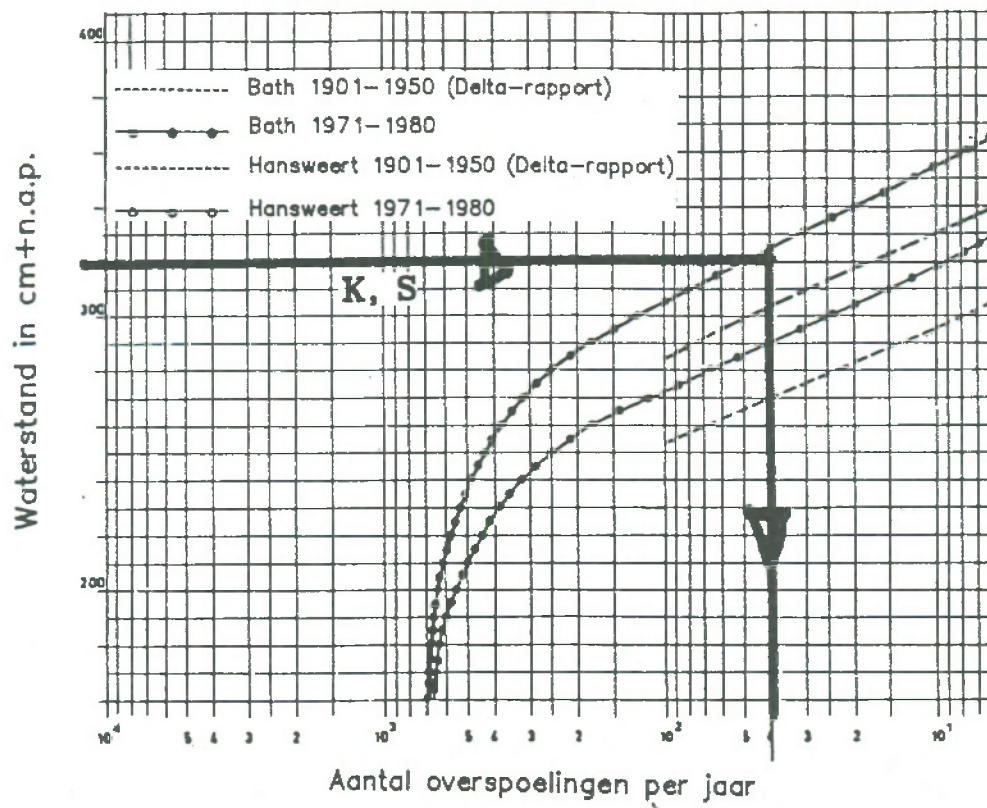


Fig. 5. Overspoelingsfrequentie grafiek Westerschelde

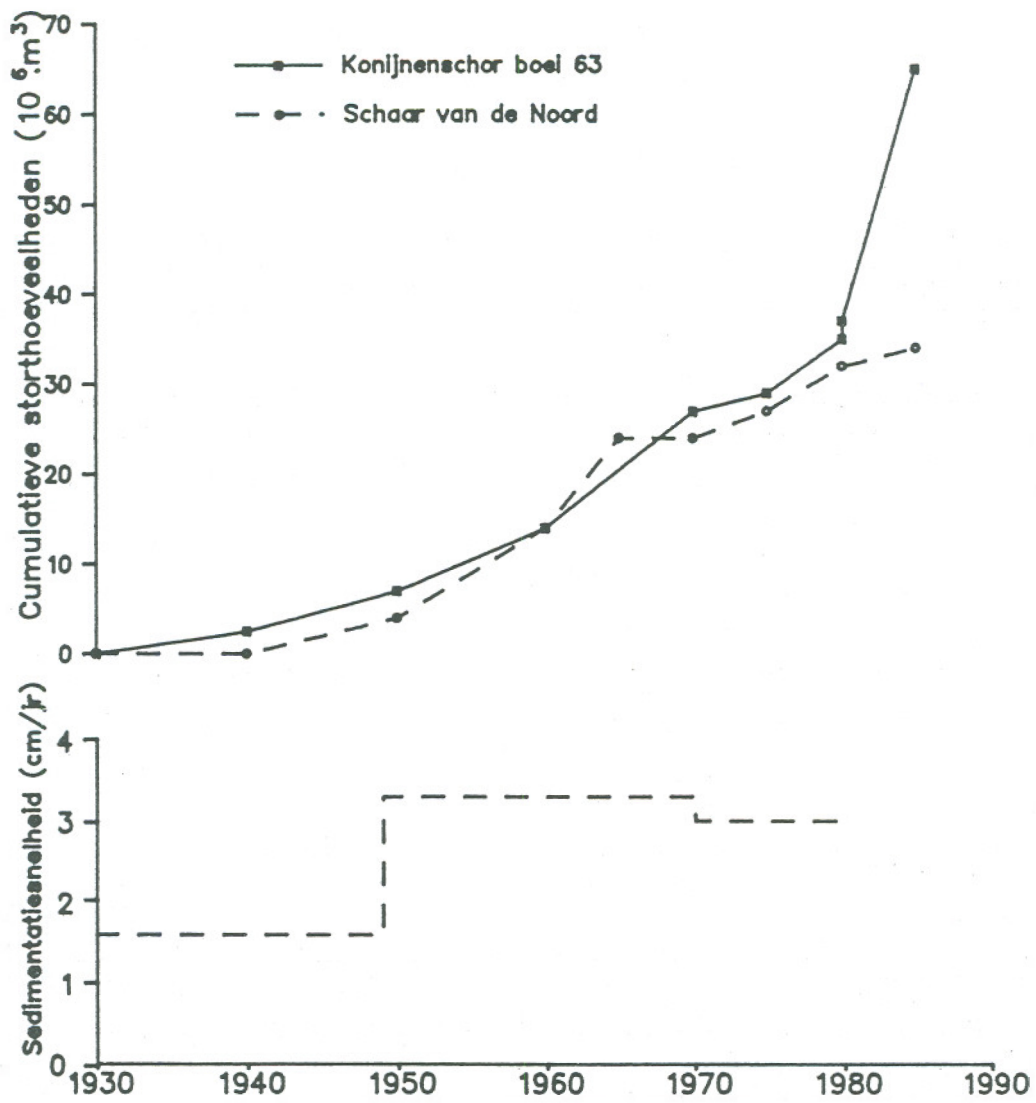


Fig. 6. Sedimentatiesnelheid Saeftinghe en storkhoeveelheden nabij Saeftinghe in de periode 1930–1990.

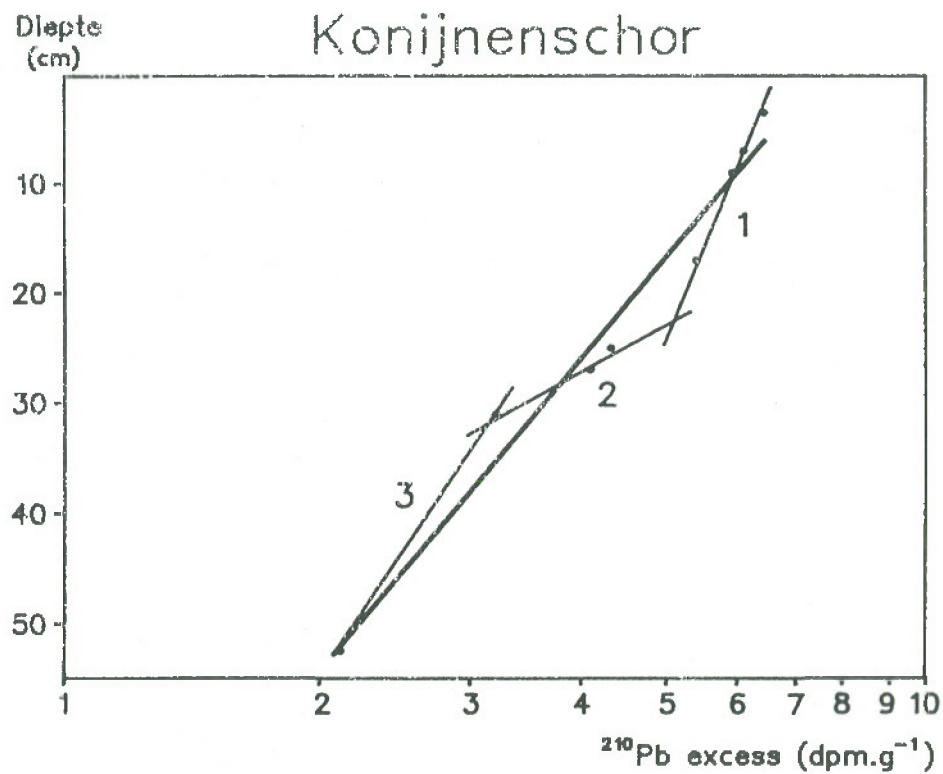


Fig. 7

^{210}Pb ouderdomsbepaling K. — Sedimentatiesnelheid 1950–1988 (1.3 cm/jr.)
 1 = periode 1978–1988, 2 = periode 1970–1978, 3 = periode 1955–1970