

Dit stagerapport is vervaardigd in opdracht van Rijkswaterstaat Directie Zeeland, o.l.v. drs.  
C. Storm en dr. P.G.E.F. Augustinus.

Rapport GEOPRO 1991.021

RELATIE ZANDBALANS WESTERSCHELDE  
MET DE MORFOLOGIE VAN DE  
EB-GETIJDEDELTA EN KUST

L.A. Uit den Bogaard

Overname van gegevens uit dit rapport uitsluitend na toestemming van de onderzoeksleider.

# INHOUDSOPGAVE

Lijst van figuren . . . . .	.iii
Lijst van bijlagen . . . . .	v
Voorwoord . . . . .	1
<b>1 Eb-getijdedelta's: ontstaan, morfologie en processen . . . . .</b>	<b>2</b>
1.1 Inleiding . . . . .	2
1.2 Kustlangtransport . . . . .	3
1.3 Asymmetrie van het getij . . . . .	4
1.4 Kustparallelle getijstromingen . . . . .	4
1.5 Relatie getijprisma en golfwerking . . . . .	5
1.6 Zandtransportrichtingen . . . . .	8
<b>2 Waterbeweging en morfologie Westerschelde monding . . . . .</b>	<b>10</b>
2.1 Getijbeweging . . . . .	10
2.2 Sedimenttransportrichtingen . . . . .	12
<b>3 Zandbudget estuarium en eb-getijdedelta . . . . .</b>	<b>14</b>
3.1 Inleiding . . . . .	14
3.2 periode 1823 - 1878 - 1931 - 1952 . . . . .	14
3.2.1 Kuberingsgegevens . . . . .	14
3.2.2 Bespreking kuberingen . . . . .	15
3.2.3 Beschouwingen naar aanleiding van hydrografische kaarten (1804 - 1931) . . . . .	17
Algemene ontwikkelingen (17); Oppervlakte en inhoudsbereke- ningen (18)	
3.3 De periode 1965 - 1990 . . . . .	24
3.3.1 Inleiding . . . . .	24
3.3.2 Kuberingsgegevens . . . . .	24
<b>4 Conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek . . . . .</b>	<b>26</b>
<b>LITERATUUR . . . . .</b>	<b>27</b>
Referenties . . . . .	27
Aanbevolen . . . . .	29

## Lijst van figuren

Figuur 1	Morfologisch model van eb-getijde delta's aan een barrière kust. De pijlen geven de dominante richting van de getijstroomen aan (Sha, 1990). . . . .	2
Figuur 2	Golfrefractiepatroon rond de Merrimack River eb-getijde delta. Het kustlangtransport aan de lijkzijde van het zeegat is omgedraaid. De golfperiode is 10 sec (Hubbard in: Boothroyd, 1985). . . . .	3
Figuur 3	Getijstroom tijd-snelheidsdiagram (Hayes, 1980). . . . .	4
Figuur 4	Offset geometrie van zeegaten aan de nederlandse kust (Sha, 1990). . . . .	5
Figuur 5	Model voor het ontstaan van offset zeegaten langs de Nederlandse kust (naar Edelman, 1961 in: Sha, 1990). . . . .	5
Figuur 6	Grote lijnen van morfologie ebscharen en banken eb-getijdedelta als functie van getijstroomen en golfval (Van den Berg, 1987). . . . .	6
Figuur 7	Relatie getijprisma en volume eb-getijde delta voor zeegaten aan een zandige kust (Walton and Adams, 1976). . . . .	7
Figuur 8	Zandtransportrichtingen op de eb-getijde delta van Chatman Harbor, Massachusetts (Hine, 1975 in Boothroyd, 1985). . . . .	8
Figuur 9	Zandtransportmodel eb-getijdedelta Texels Zeegat. Gebaseerd op bodemvormen, sedimentaire structuren, geomorfologie en stromingsmetingen (Sha, 1990). . . . .	9
Figuur 10	Schematisch stroombeeld zeegat zonder faseverschil in het getij binnen en buitengaats (I) en bij een faseverschil van $\frac{1}{4}\lambda$ (II). De getijgolf loopt van links naar rechts. . . . .	10
Figuur 11	Deel van de eb-getijdedelta van de Westerschelde met de ligging van enkele geulen en platen (de Looft, 1986). . . . .	11
Figuur 12	Oppervlakten per dieptezone in 6 jaren tussen 1804 en 1931. . . . .	19
Figuur 13	Cumulatieve oppervlakte per dieptezone in 6 jaren (de afstand tussen de gemeten jaren is constant ondanks het tijdsverschil). . . . .	19
Figuur 14	Kombergingsgrafieken eb-getijdedelta Westerschelde berekend volgens de methode Boon en Byrne, (1981). Kombergingsgrafieken van het estuarium staan in bijlage P. . . . .	21
Figuur 15	Cumulatieve accumulatie eb-getijdedelta volgens van Veen en berekend uit gemeten oppervlakten. . . . .	23

Tabel 1	Zandbalans Westerschelde t.o.v. NAP tussen 1878 en 1931. . . . .	14
Tabel 2	Gemiddeld laagwaterpeil t.o.v. NAP volgens van Veen (1943) en geëxtrapoleerd uit zeespiegelstijging (zie tekst). . . . .	18
Tabel 3	Oppervlakten (km <sup>2</sup> ) per dieptezone (in m t.o.v. gemiddeld laagwater). . . . .	18
Tabel 4	Cumulatieve oppervlakte (km <sup>2</sup> ) beneden aangegeven dieptelijn (t.o.v. gem. LW.). . . . .	18
Tabel 5	Inhoud berekend uit gemeten oppervlakten en hieruit afgeleide volume veranderingen. . . . .	22
Tabel 6	Gecorrigeerde inhoud berekend volgens aangegeven methode (zie tekst) en hieruit afgeleide zandvolume veranderingen. . . . .	22



## Lijst van bijlagen

- Bijlage A Totale erosie en accumulatie in het estuarium per 2.5 meter dieptezone per 5 jaar (1965 - 1990).
- Bijlage B Totale erosie en accumulatie op de eb-getijdedelta per 2.5 meter dieptezone per 5 jaar (1970 - 1985).
- Bijlage C Erosie en accumulatie estuarium Westerschelde per 5 jaar per vak (1 - 8, indeling Van den Berg et al., 1991) per 2.5 meter dieptezone.
- Bijlage D Erosie en accumulatie per 5 jaar per vak, mond Westerschelde per 5 jaar per vak (9 - 10, 501 - 517 indeling Van den Berg et al., 1991) per 2.5 meter dieptezone.
- Bijlage E Totale erosie en accumulatie per 5 jaar voor de buitendelta en het estuarium van de Westerschelde tussen 1965 en 1990.
- Bijlage F Erosie en accumulatie estuarium en deel eb-getijdedelta Westerschelde per vak (1 - 10, indeling Van den Berg et al., 1991) per 5 jaar.
- Bijlage G Cumulatieve netto en natuurlijke sedimentatie en bagger en stortgegevens van het estuarium en de eb-getijdedelta van de Westerschelde tussen 1965 en 1990.
- Bijlage H Cumulatieve netto en natuurlijke sedimentatie in het estuarium en op de eb-getijdedelta tussen 1823 en 1985 volgens Van Veen (1949), Haring (1955) en De Looff (1977; 1983; 1986).
- Bijlage I Vergelijking van de resultaten van verschillende kuberingen van de eb-getijdedelta tussen 1823 en 1990 alsmede van het estuarium tussen 1960 en 1990.
- Bijlage J Vakindelingen van de eb-getijdedelta en het estuarium van de Westerschelde van Van Veen, = Kleinjan, Haring, De Looff en Van den Berg.
- Bijlage K Erosie en accumulatie estuarium per vak (I - IX indeling De Looff) per 5 jaar tussen 1965 en 1990 met behulp van schematisatie van Van den Berg.
- Bijlage L Vergelijking schematisaties Van den Berg en De Looff per vak (I - IX indeling De Looff) van de periode 1971 tot 1980 en 1980 tot 1985.
- Bijlage M Dieptelijnkaarten van de eb-getijdedelta in 1804, 1823, 1841, 1863, 1894 en 1931.
- Bijlage N Dieptezonekaarten van de eb-getijdedelta in 1804, 1823, 1841, 1863, 1894 en 1931.
- Bijlage O Kaarten van de eb-getijdedelta met 1 dieptelijn uit de jaren 1804, 1823, 1841, 1863, 1894 en 1931. Er zijn kaarten met de 2.5, 5, 8 en 20 meter beneden gemiddeld laagwaterlijn.
- Bijlage P Absolute en relatieve kombergingsgrafieken van het estuarium en de eb-getijdedelta op basis van de gegevens van Van den Berg et al., (1991).
- Bijlage Q Vergelijking erosie en accumulatie estuarium en eb-getijdedelta per diepte zone van 2.5 meter tussen 1970 en 1985.
- Bijlage R Stromingsbeeld op de eb-getijdedelta van de Westerschelde tijdens 6 getijfasen.

## Voorwoord

Naar aanleiding van vragen van de afdeling NWL van Rijkswaterstaat, Directie Zeeland en het project Oost-West werd een inventariserend onderzoek opgezet naar de relatie tussen het estuarium en de eb-getijdedelta van de Westerschelde. De aandacht ging hierbij uit naar de zandhuishouding en eventuele effecten van zandwinning in het estuarium op de eb-getijdedelta. Op verzoek van Rijkswaterstaat is in het eerste hoofdstuk de algemene problematiek van eb-getijdedelta's besproken. Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van de processen die op eb-getijdedelta's kunnen voorkomen. Een aantal van deze processen gelden niet voor de eb-getijdedelta van de Westerschelde. Hoofdstuk 2 en 3 beschrijven wel specifiek de Westerschelde.

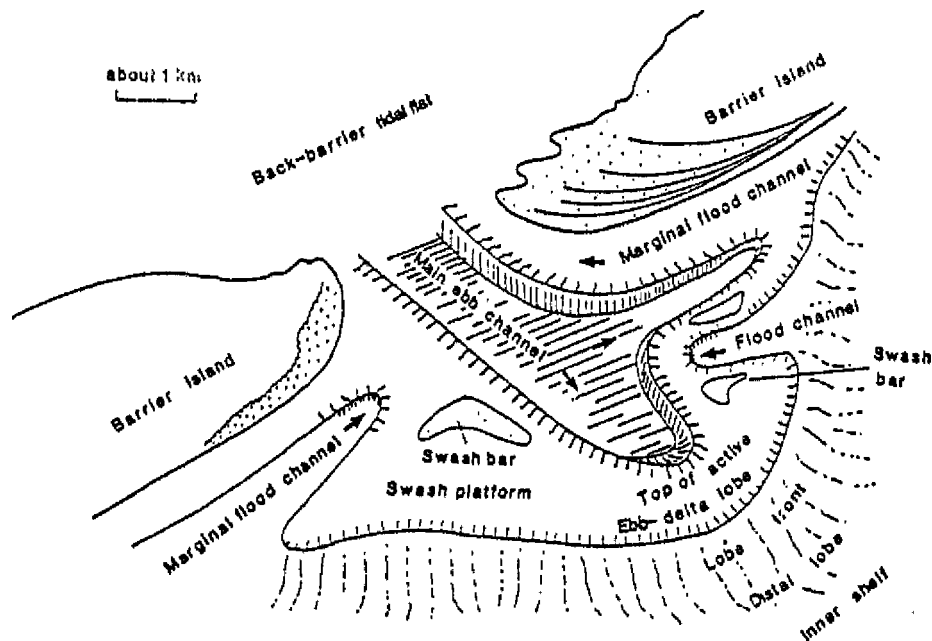
Het onderzoek werd uitgevoerd in de vorm van een stage van drie maanden. De auteur is student fysische geografie aan de Rijksuniversiteit Utrecht, deze stage vormde zijn laatste studieonderdeel.

De auteur wil iedereen waarmee hij heeft samengewerkt bij de Directie Zeeland en de Dienst Getijde Wateren, afdeling Middelburg bedanken voor de prettige samenwerking. Ook de stagebegeleiders bij Rijkswaterstaat en de Rijksuniversiteit Utrecht, drs C. Storm en dr. P.G.E.F. Augustinus worden bedankt voor hun begeleiding.

# 1 Eb-getijdedelta's: ontstaan, morfologie en processen

## 1.1 Inleiding

Een eb-getijde delta omvat het sediment dat zeewaarts van de mond van een estuarium voornamelijk door eb getijstroomen in de vorm van grote lobben is afgezet en door golven beïnvloed (Hayes, 1969 in: Hayes, 1980) is. Het materiaal van een eb-getijdedelta heeft grotere gemiddelde korrelgrootten dan andere afzettingen in een zeegatsequentie. Op basis van een groot aantal studies van eb-getijdedelta's in de Verenigde Staten stelt Hayes (1980) een algemeen morfologisch eb-getijdedelta model voor (figuur 1).



Figuur 1 Morfologisch model van eb-getijde delta's aan een barrière kust. De pijlen geven de dominante richting van de getijstroomen aan (Sha, 1990).

Een eb-getijde delta bestaat onder andere uit de volgende kenmerkende morfologische eenheden (Hayes, 1980; Sha, 1990):

- Een hoofd-ebgeul waarin de ebstrooming gewoonlijk dominant is over de vloedstromen.
- Zeewaarts van de hoofdgeul ligt een drempel die ontstaan is als gevolg van de afname van de transportcapaciteit van het water.
- De hoofd-ebgeul wordt geflankeerd door grote ondiepe delen (SWASH PLATFORMS) waar de vloed dominant is.
- Op de SWASH PLATFORMS liggen langs de ebgeul lineaire zandbanken, de CHANNEL-MARGIN LINEAR BARS. Dit zijn oeverwal-achtige afzettingen, die evenals de drempel aan het einde van de ebgeul ontstaan door afname van de transportcapaciteit van het water dat uit de ebgeul stroomt.
- Brekende golven en de resulterende stromingen (SWASH) vormen asymmetrische banken (SWASH BARS). Ze liggen op de vlakke ondiepe delen van de eb-getijdedelta aan weerszijden van het zeegat.

- De rand van de eb-getijdedelta, het distale gedeelte, bestaat uit een relatief steile zeewaarts helling: de **TERMINAL LOBE**.
- Op de **SWASH PLATFORMS** liggen de vloedgeulen. Vloedgeulen komen meer voor dan ebgeulen, zijn ondieper en liggen meestal meer parallel aan de kust terwijl de ebgeul loodrecht op de kust staat. Een oorzaak hiervoor is dat tijdens vloed het water van alle zijden richting het bekken stroomt als bij een trechter. Tijdens eb wordt het water recht uit het bekken richting zee 'gespoten'. Golven (SWASH) werken in dezelfde richting als de vloed-getijddestromingen en dragen zo bij aan een vloed gedomineerde morfologie.

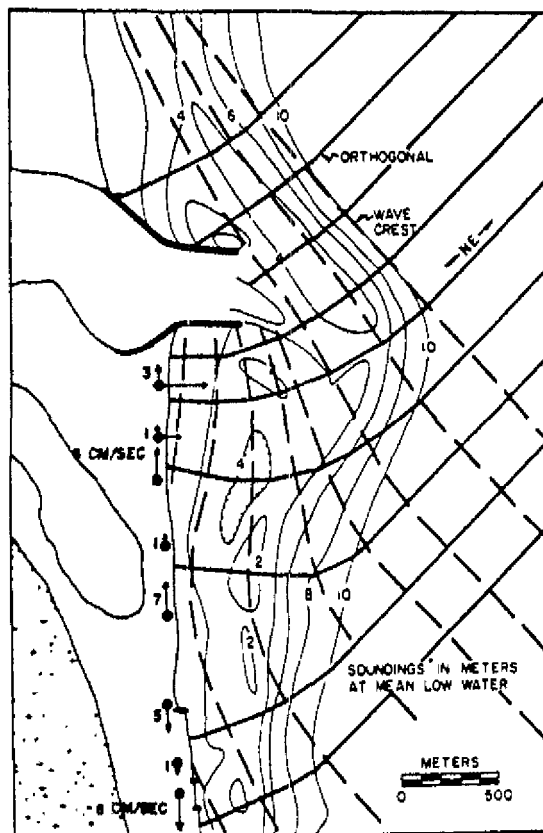
Vele processen dragen bij aan het ontstaan, evolutie en morfologie van een eb-getijdedelta. De belangrijkste processen, voornamelijk die processen die van belang zijn voor de zandhuishouding worden in dit hoofdstuk beschreven.

## 1.2 Kustlangtransport

Het grootste deel van het zand waaruit een eb-getijdedelta is opgebouwd wordt aangevoerd via kustlangtransport en niet vanuit het estuarium (Boothroyd, 1985; Walton and Adams, 1976). Sediment wordt kustlangs getransporteerd onder invloed van schuin invallende golven of resulterende getijde stroming. Het kustlangtransport van sediment wordt onderbroken door de eb-stroom vanuit het zeegat. Hierdoor wordt het zand op de eb-getijdedelta afgezet. De eb-getijdedelta van de Westerschelde

Ook kan het voorkomen dat golven die de eb-getijdedelta naderen door de eb-stroom en de eb-getijdedelta zelf afgebogen worden, hetgeen een omkering van de sedimenttransportrichting langs de kust aan de lizijde van de eb-getijdedelta kan veroorzaken. Hierdoor wordt dan van twee zijden sediment richting eb-getijdedelta aangevoerd. Een voorbeeld hiervan is te zien in figuur 2.

Een andere bron van sediment voor een eb-getijdedelta kan de shelf zijn. Hierbij wordt dan door golfwerking zand aangevoerd. Deze aanvoer van zand zal ongeveer gelijk zijn aan de aanvoer van zand naar een strand zonder een eb-getijdedelta. Als een belangrijk deel van een eb-getijdedelta uit materiaal van de shelf bestaat, zal dit echter waarschijnlijk indirect, via kustlangs transport aangevoerd zijn.



Figuur 2 Golfrefractiepatroon rond de Merrimack River eb-getijde delta. Het kustlangtransport aan de lizijde van het zeegat is omgedraaid. De golfperiode is 10 sec (Hubbard in: Boothroyd, 1985).

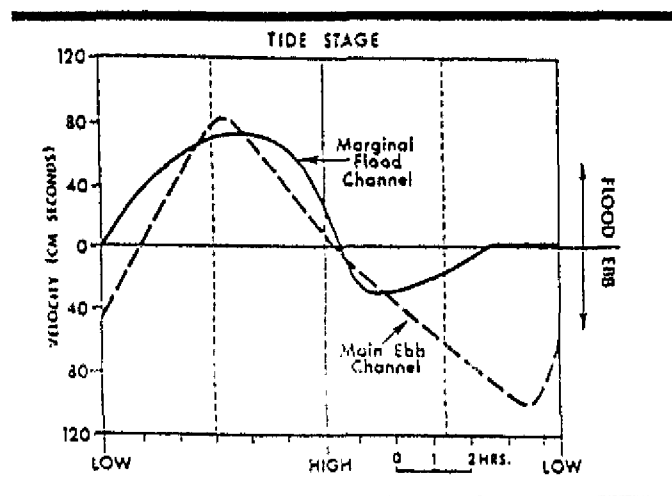
Voor zover bekend worden momenteel geen grote hoeveelheden zand kustlangs in de richting de eb-getijdedelta van de Westerschelde getransporteerd.

### 1.3 Asymmetrie van het getij

De morfologie van de eb-getijdedelta is het resultaat van de interactie tussen getijstromen en golven. Vaak zijn de getijstromingen asymmetrisch.

Tijd-snelheid asymmetrie van de getijstromen houdt in dat de maximale eb- en vloedgetijstromen niet halverwege hoog- en laagwater optreden. Een voorbeeld is te zien in figuur 3, in de vloedgeul treden de maximale stroomsnelheden op na halftij, de ebsnelheden zijn laag. In de ebgeul treden de maximale stroomsnelheden op rond laagwater

(Hayes 1980). Dit betekent dat tijdens laag water sterke ebstromen nog door de geul naar buiten gaan, terwijl als het water begint te stijgen vloedstromen de weg van de minste weerstand zoeken en langs de randen van de eb-getijdedelta naar de mond toe stromen. Dit is een mogelijke oorzaak van de ruimtelijke scheiding tussen vloed- en eb-stromen en geulen zoals weergegeven in figuur 1. In de Westerschelde valt de maximale stroom, de vloedstroom dicht bij hoogwater en de maximale ebstroom na halftij.



Figuur 3 Getijstroom tijd-snelheidsdiagram (Hayes, 1980).

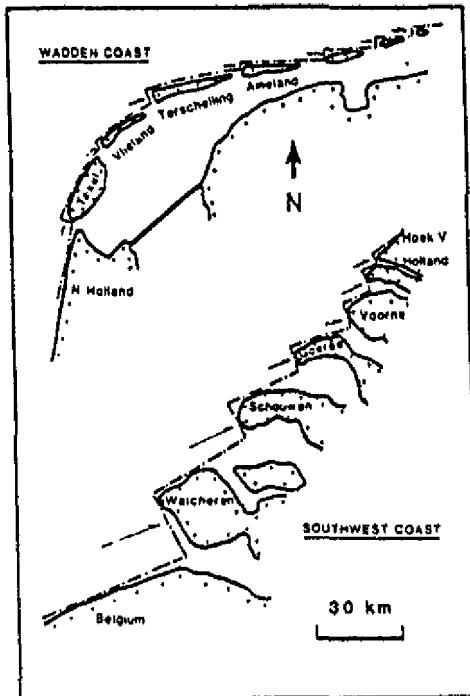
### 1.4 Kustparallele getijstromingen

Nabij een zeegat vindt interactie plaats tussen de getijbeweging die kustparallel gericht is en de getijbeweging door het zeegat welke in principe loodrecht op de kust staat. Van groot belang voor deze interacties is een eventueel faseverschil tussen deze getijstromen en de richting van de getijgolf langs de kust.

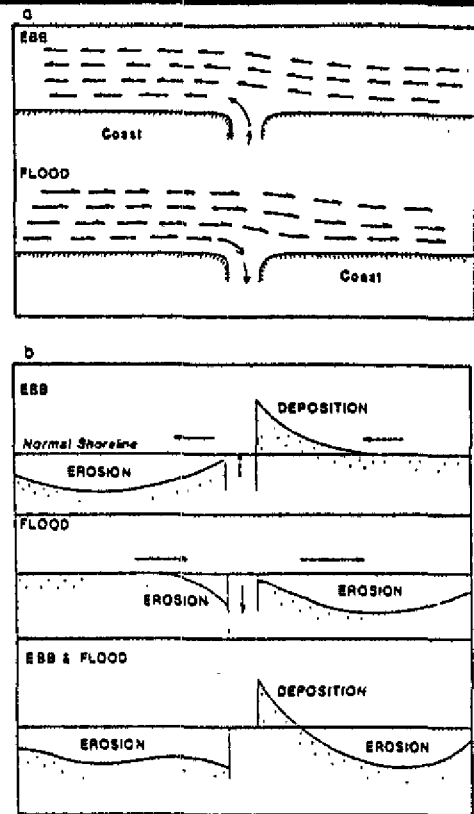
In figuur 10 zijn stroombeelden geschetst voor een denkbeeldig symmetrisch, voor twee situaties (Van den Berg, 1987):

- I - Geen faseverschil. Indien er geen faseverschil is tussen de kustparallele getijstroom buitengaats en de getijstroom loodrecht op de kust door het zeegat, buigt de in- en uitgaande stroming naar links (getijgolf in open zee van links naar rechts).
- II - Bij een faseverschil van een kwart getijperiode is er geen voorkeursrichting naar links of naar rechts. Tijdens vloed treedt versnelling op als het water het zeegat in stroomt en treedt vertraging op als het water tijdens eb naar buiten stroomt. Als gevolg hiervan ligt de ebstroom op het centrale deel van de eb-getijdedelta terwijl de vloedstromen meer aan de rand langs de kust liggen. Dit is een belangrijke oorzaak voor de ruimtelijke verdeling van eb- en vloedscharen op een eb-getijdedelta. Deze vloedscharen liggen als het ware

ingesloten tussen het land en het centrale deel van de delta en hebben daardoor een relatief stabiele ligging in vergelijking tot de ebgeulen die in het centrale deel van de ebdelta vrij kunnen bewegen (Van den Berg, 1987).



Figuur 4 Offset geometrie van zeegaten aan de Nederlandse kust (Sha, 1990).



Figuur 5 Model voor het ontstaan van offset zeegaten langs de Nederlandse kust (naar Edelman in: Sha, 1990)

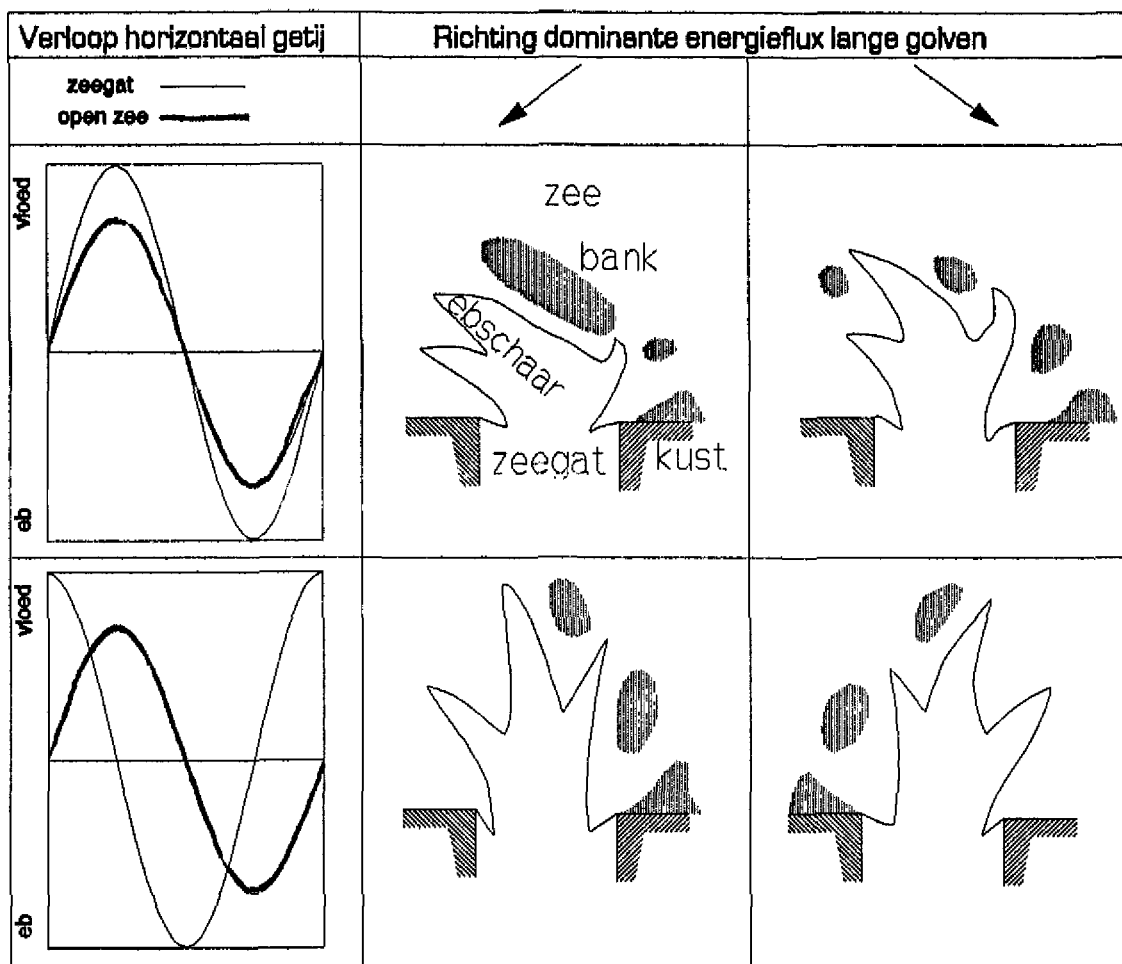
De kust aan weerszijden van een zeegat vormt vaak niet één rechte lijn. Het zeegat heeft dan een offset geometrie. Dit kan veroorzaakt worden door een concentratie van de getijstroom langs één zijde van het zeegat (figuur 10II).

Sha (1990) suggereert in figuur 4 dat aan de Zeeuwse kust offset geometrie voorkomt op dezelfde manier als bij de Wadden eilanden. Langs de Zeeuwse kust is echter sprake van een faseverschil tussen het horizontale getij loodrecht op en parallel aan de kust, bij de Wadden eilanden is dit niet het geval.

Edelman's (1961 in: Sha, 1990) model verklaart het ontstaan van offset geometrie van een zeegat vanuit de ruimtelijke variatie in erosie door eb- en vloedstromen. Figuur 5a geeft de getijstroom op de Noordzee schematisch weer. In figuur 5b is het erosie- en sedimentatiepatroon te zien dat het gevolg is van de getijstroom. De 'normale kustlijn' in het figuur is een ideale rechte kustlijn zonder zeegaten.

## 1.5 Relatie getijprisma en golfwerking

De omvang van de eb-getijdedelta is afhankelijk van het samenspel van getijbeweging en golfwerking. In een evenwichtssituatie wordt het door golven van het deltafront richting kust getransporteerde materiaal gecompenseerd door materiaal



Figuur 6 Grote lijnen van morfologie ebscharen en banken eb-getijdedelta als functie van getijstromen en golfval (Van den Berg, 1987).

dat door de getijstromen richting zee getransporteerd wordt. Ter plaatse van de uitlopen van de ebscharen waar een meer dan gemiddelde aanvoer van sediment optreedt wordt het evenwicht verder buitengaats gevonden en ontstaat een uitstulping van het deltafront (Van den Berg, 1979).

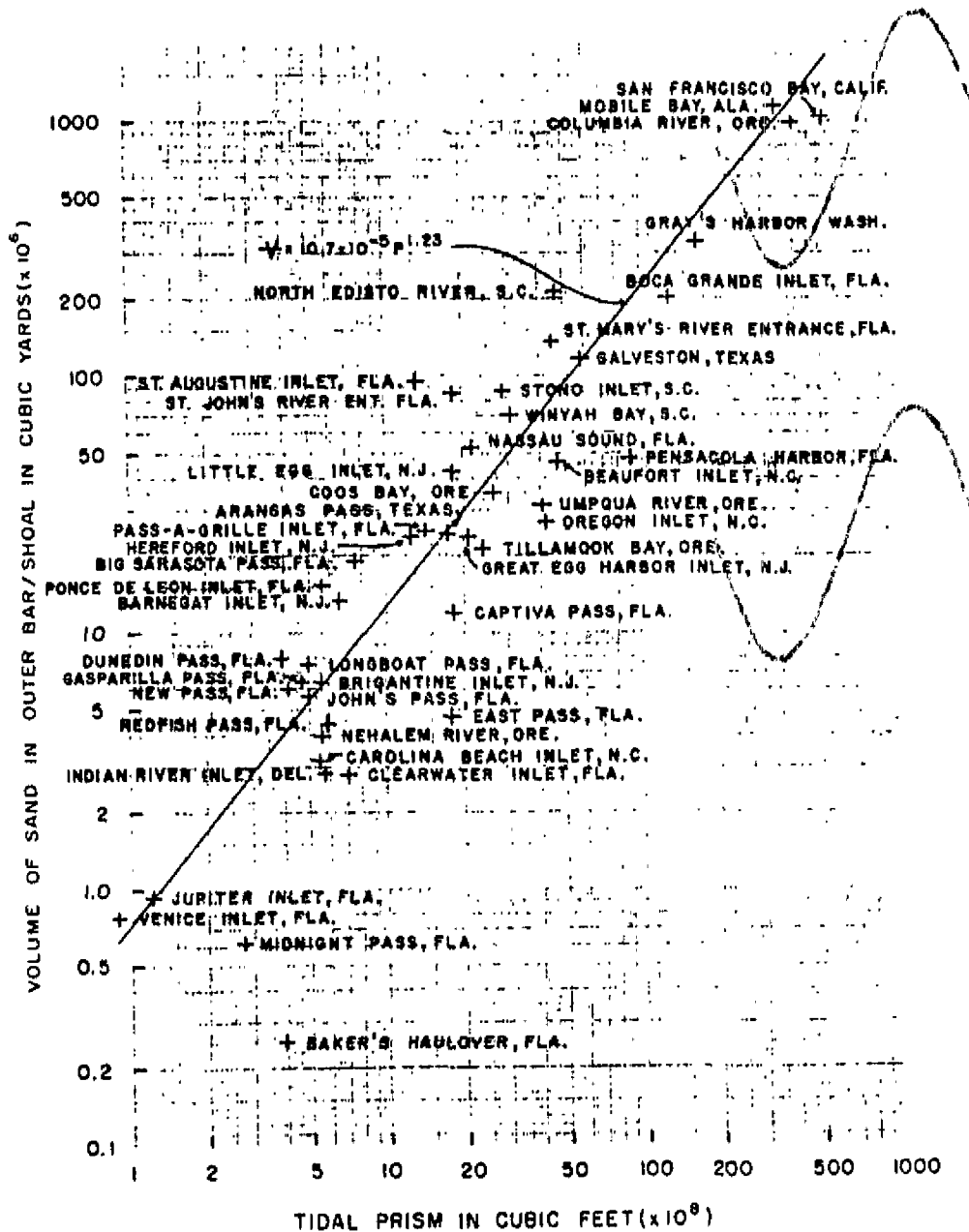
Bij lagere golfenergie en een groter getijprisma wordt de delta in figuur 1 langwerpiger en meer eb-gedomineerd (Hayes, 1980). Als de golfenergie hoog is wordt de eb-getijdedelta richting kust gedrukt en ligt de TERMINAL LOBE relatief dicht bij de kustlijn (Boothroyd, 1985).

De exacte vorm van een eb-getijdedelta hangt af van de verhouding tussen de dominante golfrichting (en kustlangse stroming) en de invloed van de getijstromen.

Op die delen van een deltafront die geëxponeerd liggen op de richting van de dominante golfenergie moet naar verhouding meer materiaal door ebgeulen aangevoerd worden. Als het water radiaal over de eb-getijdedelta uitstroomt zal het evenwicht hier meer richting kust liggen en daardoor het deltafront richting kust verplaatsen. Als de golven aan de meest geëxponeerde zijde hoge zandbanken opwerpen kunnen de ebgeulen hier verzanden en zal het debiet door de ebgeulen afnemen. Dit kan een verder terugwijken van het deltafront tot gevolg hebben.

Overheersend scheef invallende golven veroorzaken een kustlangse stroming en een asymmetrisch eb-getijdedelta. Naarmate de getijbeweging kleiner is (kleiner getijprisma) wordt dit effect sterker.

Een model (Van den Berg, 1987) met daarin gecombineerde effect van getijfase en dominante golfrichting is weergegeven in figuur 6. Het figuur geeft de meest extreme situaties weer, in werkelijkheid zal vrijwel altijd een tussenfase optreden.



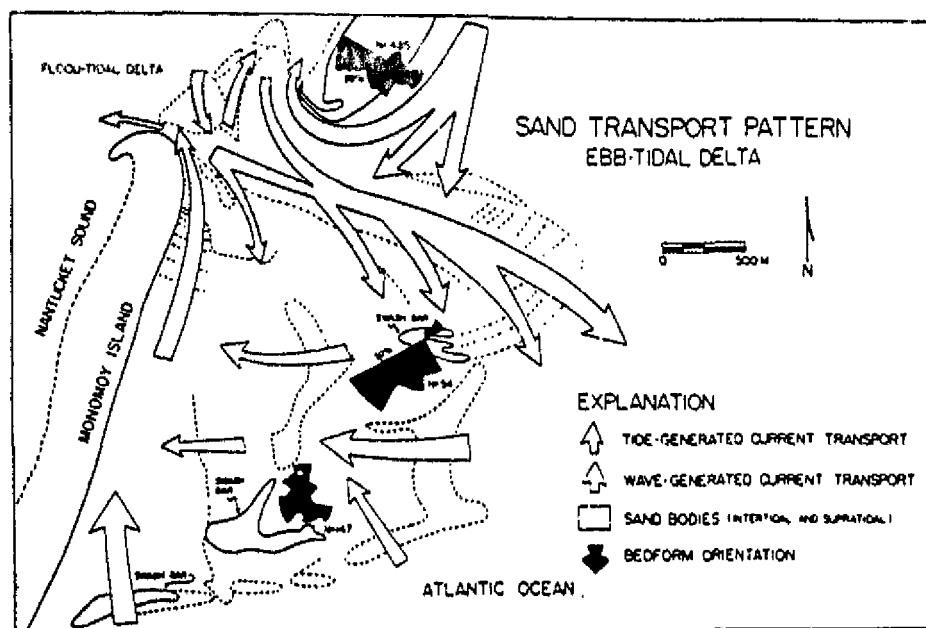
Figuur 7 Relatie getijprisma en volume eb-getijde delta voor zeegaten aan een zandige kust (Walton and Adams, 1976).

Walton and Adams (1976) onderzochten de relatie tussen het volume zand dat een eb-getijdedelta herbergt en het getijprisma van het achterliggende estuarium. In het onderzoek werden 44 zeegaten aan de kusten van de Atlantische Oceaan, de Pacific en de Golf van Mexico betrokken.



Het volume van de eb-getijdedelta werd gedefinieerd als de hoeveelheid zand die op de eb-getijdedelta door de getijbeweging tegen de golfwerking in wordt vastgehouden. Deze hoeveelheid zand werd bepaald door het berekenen van het verschil in inhoud (kuberen) tussen de werkelijke topografie van het gebied en een hypothetische topografie van hetzelfde gebied die zou bestaan zonder de aanwezigheid van het zeegat (Dean and Walton, 1975).

Walton and Adams (1976) vonden een redelijk goede (figuur 7) relatie die nog beter werd wanneer onderscheid werd gemaakt naar hoog, matig en laag golfenergetische kusten. Van Zeeuwse eb-getijdedelta's is het zandvolume nooit berekend. Het probleem van deze onderzoeksmethode is dat een hypothetische topografie voor een kustlijn zonder zeegat bepaald moet worden hetgeen erg subjectief is.



Figuur 8 Zandtransportrichtingen op de eb-getijde delta van Chatman Harbor, Massachusetts (Hine, 1975 in Boothroyd, 1985).

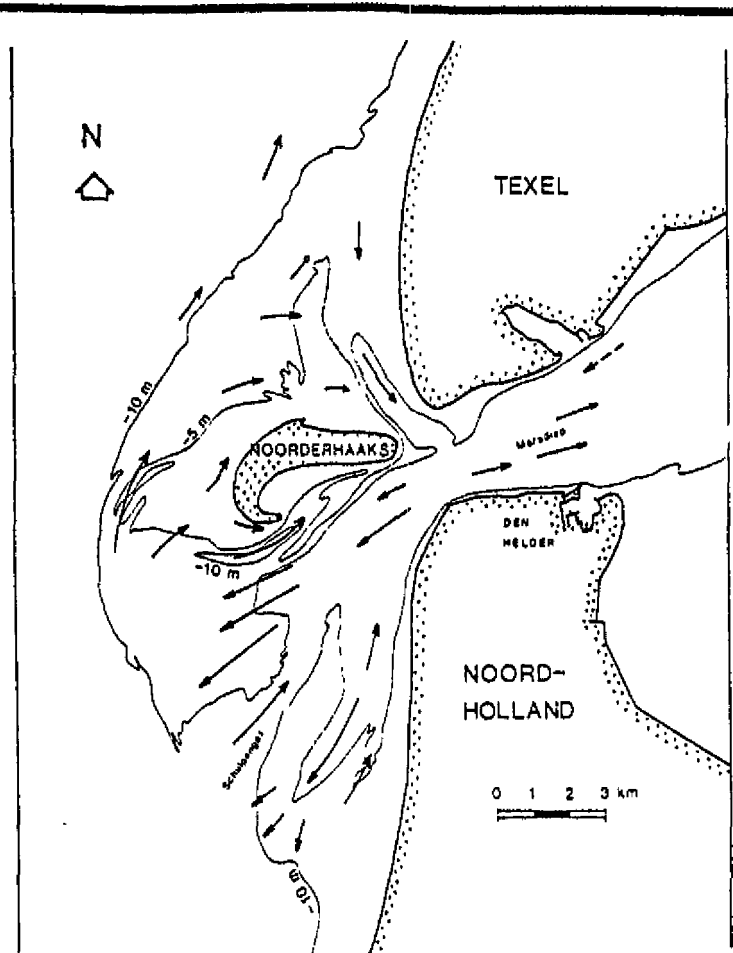
## 1.6 Zandtransportrichtingen

Aan de hand van bodemvormen en stroomrozen kan de overheersende zandtransportrichting bepaald worden. Bodemvormen op de ondiepe en langs de kust gelegen delen van een eb-getijdedelta zijn meestal vloed-gedomineerd, mede als gevolg van golfwerking (zie §1.1).

Een model van zandtransportrichtingen op de eb-getijdedelta van Chatman Harbor, Massachusetts aan de Atlantische kust van de Verenigde Staten wordt gegeven door Hine (1975, in: Boothroyd, 1985). Het model, weergegeven in figuur 8, geeft netto zandtransportrichtingen gebaseerd op de aanwezigheid van zandgolven en zandgolforiëntaties weer. Het proximale deel van de delta wordt gedomineerd door getijstromen terwijl het distale deel gedomineerd wordt door golf (SWASH) gegenereerde stromingen. De dominante transportrichting in de hoofdgeul is zeewaarts gericht (ebringting).

Sha (1990) geeft in zijn proefschrift een overzicht van het zandtransport op de eb-getijdededelta van het Texels zeegat (figuur 9). Het Texels zeegat is vloed gedomineerd, er wordt zand richting het bekken getransporteerd (Wiersma en Van Alphen, 1988 in: Sha, 1990). De vloeddominantie van het zeegat wordt veroorzaakt door de hogere maximale vloed- dan ebstroomsnelheden in het zeegat. De snelheidsasymmetrie is gerelateerd aan het asymmetrische getij op de Noordzee.

Uit figuur 9 blijkt dat de sedimenttransportrichting op de eb-getijdededelta van het Texels Zeegat ruimtelijk gedifferentieerd is, het noordelijk deel is vloed gedomineerd en het zuidelijk deel is meer eb gedomineerd. Het sediment wordt als het ware gedeeltelijk rond getransporteerd onder invloed van getijstromen, golven en wind (eolisch transport op Noorderhaaks).



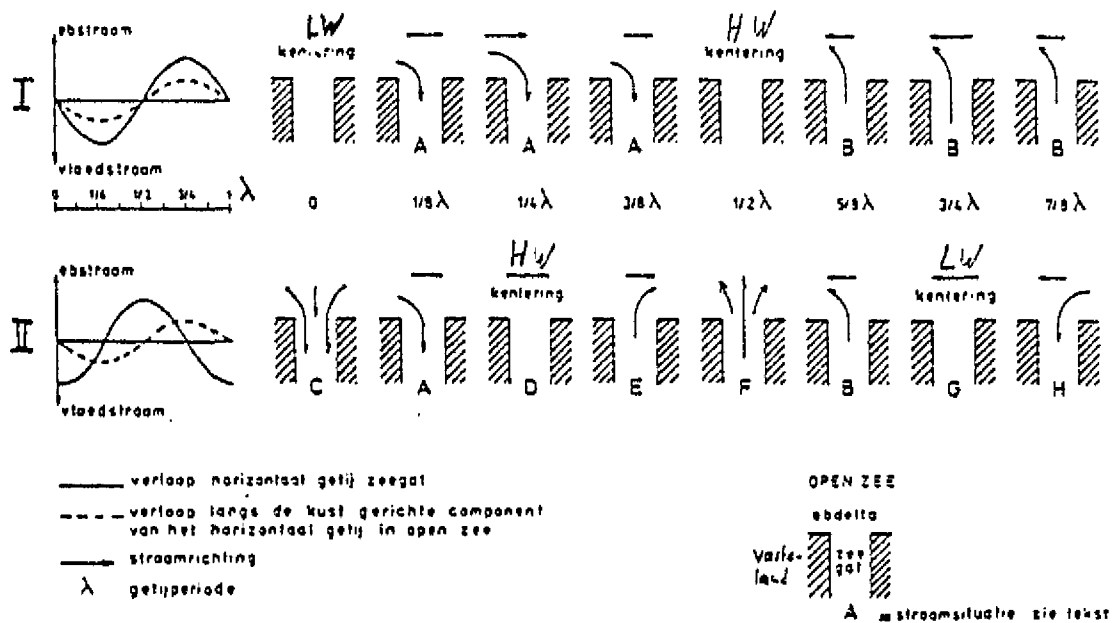
Figuur 9 Zandtransportmodel eb-getijdededelta Texels Zeegat. Gebaseerd op bodemvormen, sedimentaire structuren, geomorfologie en stromingsmetingen (Sha, 1990).

## 2 Waterbeweging en morfologie Westerschelde monding

### 2.1 Getijbeweging

Van het zuidwesten naar het noorden neemt het tijverschil langs de kust af, om na Noord-Holland weer toe te nemen. Hierdoor bestaat voor de kust van Zeeland na het bereiken van hoogwater nog een vloedverhang in noordoostelijk richting. Om deze reden bereikt de vloedstroom in open zee in zuid-west Nederland na, en in noord Nederland vlak voor hoogwater haar maximale waarde. In het noorden kentert de getijstroom op open zee vlak na hoogwater, langs de zeeuwse voordelta vindt de stroomkentering pas enkele uren na hoogwater plaats.

In figuur 10II (Van den Berg, 1987) is schematisch het stroombeeld weergegeven dat het gevolg is van een faseverschil van een kwart getijperiode tussen het binnen en buitengaats getij. In situatie I is er geen faseverschil tussen het binnen en buitengaats getij. Situatie I komt min of meer overeen met de Waddenzee en situatie II met Zuidwest Nederland.

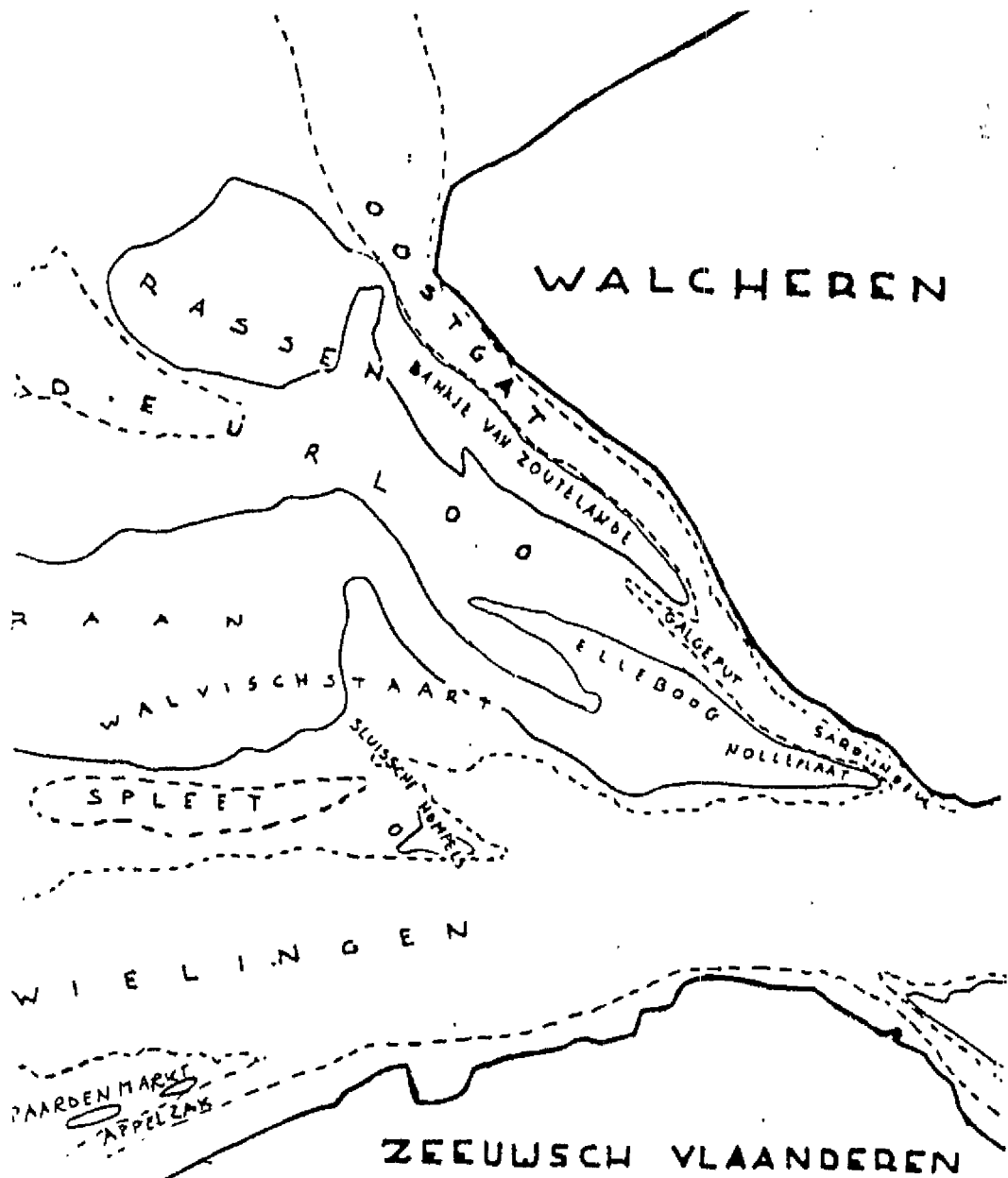


Figuur 10 Schematisch stroombeeld zeegat zonder faseverschil in het getij binnen en buitengaats (I) en bij een faseverschil van  $\frac{1}{4}\lambda$  (II). De getijgolf loopt van links naar rechts.

Het stroombeeld op de eb-getijdedelta wordt voornamelijk bepaald door de faseverschillen tussen het binnen- en buitengaats getij. Hierdoor is dit faseverschil van groot belang voor de morfologie (zie hoofdstuk 1) van de delta.

In figuur 10.I is te zien dat indien er geen faseverschil optreedt, zoals bij het Texels Zeegat, de eb- en vloedstromen een voorkeursrichting hebben (A en B). Hierdoor ligt de ebgeul niet centraal in de eb-getijdedelta maar buigt (omdat getijgolf van links komt) naar links (§1.6). Bij de eb-getijdedelta van de Westerschelde

in figuur 10.11 is de stroomrichting afhankelijk van de fase van het getij en is geen dominante stromingsrichting aanwezig.



Figuur 11 Deel van de eb-getijdedelta van de Westerschelde met de ligging van enkele geulen en platen (de Looff, 1986).

Hieronder volgt een korte beschrijving van de getijbewegingen op de eb-getijdedelta van de Westerschelde, voor een meer gedetailleerde beschrijving wordt verwezen naar De Looff en Verhagen (1986). Met 'de Noordzee' wordt het gebied direct ten westen van de Zeeuwse voordelta bedoeld. De genoemde geulen en platen staan in figuur 11. In Bijlage R staan kaartjes van de eb-getijdedelta met de stromingssituatie in 6 getijfasen.

De getijgolf loopt langs de Zeeuwse kust van zuid naar noord. Het Westerscheldebekken wordt in hoofdzaak gevuld en gelegegd via de Wielingen, waarin de

getijgolf, komende vanaf de Noordzee, zich met afnemende loopsnelheid landinwaarts voortplant.

De waterstand bij Vlissingen-Breskens loopt ongeveer 1 uur achter op de Noordzee. De geul langs de kust van Walcheren (Oostgat-Galgeput-Sardijngeul) treedt als gevolg van het waterstandsverschil tussen Noordzee en Vlissingen op als kortsluitgeul.

Te Vlissingen treedt ongeveer een uur na hoog- en laagwater de stroomkentering op. Na hoogwater begint het water vanuit het estuarium langs Vlissingen richting het Oostgat te stromen. Tegelijkertijd stroomt er langs Breskens nog water vanuit de Wielingen het estuarium in.

Op de vlakte van de Raan, tussen de Wielingen en de Deurloo is geen sprake van een kentering maar draait de stroomrichting van het water geleidelijk rond over 360 ° tijdens één getijperiode. In de geulen is de stroming vrijwel altijd evenwijdig aan de geulas gericht richting bekken (vloed) of richting Noordzee (eb).

Tijdens laagwater te Vlissingen is de stroming op de eb-getijdedelta overheersend westzuidwestwaarts gericht, geconcentreerd in de Wielingen (maximaal 0.9 m/s tijdens springtij). Een uur later (kentering Vlissingen) is de stroming op de Noordzee noordoost-zuidwest gericht. In het oostgat stroomt het water langs de kust richting Vlissingen en in de Wielingen kustlangs naar het zuidwesten. Drie uur voor hoogwater te Vlissingen stroomt over de hele eb-getijdedelta het water richting het estuarium. Het water komt dan voornamelijk uit het noorden. Rond hoogwater te Vlissingen stroomt nog steeds al het water op de eb-getijdedelta richting het estuarium, alleen komt het nu voornamelijk uit het westzuidwesten. Een uur na hoogwater te Vlissingen is het overheersende stroombeeld op de eb-getijdedelta kustlangs richting het noorden. Vier uur na hoogwater te Vlissingen stroomt al het water op de eb-getijdedelta in westelijke richtingen en is de eb-stroom nabij Vlissingen maximaal.

Het blijkt dat in de Wielingen een kleine reststroom in westzuidwestelijke richting (eb) optreedt, terwijl over het bankengebied een zuidoostelijke reststroom (vloedrichting) optreedt.

## 2.2 Sedimenttransportrichtingen

Het sedimenttransport op de eb-getijdedelta wordt beïnvloed door golfwerking en de getijbeweging. De getijbeweging is het belangrijkste in de geulen als gevolg van de grotere waterdiepte terwijl op de ondiepe delen (boven  $\pm$  -5 m NAP) van de delta de golfwerking het belangrijkste is.

Als gevolg van de getijbeweging vindt een rondgaand sedimenttransport plaats op de eb-getijdedelta (De Looff en Verhagen, 1986).

Ook Terwindt (1971) vond op de ondiepe delen van de Zeeuwse voordelta een min of meer cirkelvormig, tegen de klok ingaand sedimenttransport onder invloed van stromingen. Het grootste deel van het zandtransport als gevolg van stromingen vindt plaats in de geulen en is voornamelijk afhankelijk van de hydraulische condities van die geulen (Terwindt, 1971). In de vloedgeulen is het transport landwaarts en in de ebgeulen is het transport zeewaarts. Alle geulen (eb en/of vloed) komen ergens samen met andere geulen hetgeen een zeer ingewikkeld stromingspatroon oplevert. Zo kan een vloedgeul die zand richting land transporteert in een ebgeul uitkomen waar het materiaal weer richting zee gaat. Uit 34

verschillende stromingsmeetpunten op de Zeeuwse onderwaterdelta vielen geen algemene trends in te ontdekken (Terwindt (1971)).

De meeste golfenergie komt vanuit het zuidwesten naar de eb-getijdedelta. Hierdoor kan een netto transportrichting naar het noordoosten verwacht worden (Terwindt, 1971).

Over de uitwisseling van sediment tussen de eb-getijdedelta en de shelf is weinig bekend. Op grond van golftheorie en metingen aan getijstromen verwacht Terwindt (1971) een redelijke sedimentuitwisseling tussen de eb-getijdedelta en de shelf.

Transport door golven werkt materiaal richting eb-getijdedelta. Vanwege de grote waterdiepten op de shelf treedt golftransport alleen op tijdens stormen als de golfbeweging sterk genoeg is om bodemmateriaal op te woelen.

Als gevolg van getijstroming loodrecht op de kust kan sediment richting kust en richting shelf getransporteerd worden.

De netto uitwisseling zal afhangen van de relatieve belangrijkheid van de getijbeweging loodrecht op de kust en het transport door golven.

### 3 Zandbudget estuarium en eb-getijdedelta

#### 3.1 Inleiding

Kleinjan (1933) en Van Veen (1943; 1949) hebben beiden kuberingen van de eb-getijdedelta gemaakt over de periode van 1823 tot 1931. Na deze periode zijn alleen de gegevens van Van den Berg et al., (1991) beschikbaar die wat betreft de eb-getijdedelta de periode van 1970 tot 1985 beslaan. Voor de periode van 1931 tot 1970 zijn helaas geen geschikte cijfers bekend van de eb-getijdedelta. Van het estuarium zijn kuberingsgegevens voorhanden van de periode 1878 tot heden. Omdat de gegevens niet op elkaar aansluiten wordt eerst de eerste en dan de tweede periode besproken.

#### 3.2 periode 1823 - 1878 - 1931 - 1952

##### 3.2.1 Kuberingsgegevens

Uit gegevens van Van Veen (1949) en Kleinjan (1933) blijkt dat het zandvolume van (het proximale deel van) de eb-getijdedelta van de Westerschelde in de periode van 1804 tot 1931 met bijna 400 miljoen m<sup>3</sup> is afgenomen. Het door Kleinjan en Van Veen onderzochte proximale deel van de eb-getijdedelta (zie bijlage J) heeft een nat oppervlak van 437 km<sup>2</sup>. De volume afname heeft gestaag plaatsgevonden over bijna de gehele periode (zie bijlage I). Dit is komt overeen met een gemiddelde verdieping van 0.9 meter!

Van het estuarium zijn kuberingen gemaakt over de periode vanaf 1878 tot 1952 door Haring (1949a; 1955). De Loeff (1977, 1983, 1986) heeft aansluitende kuberingen gemaakt over de periode van 1955 tot 1985. Het blijkt dat het estuarium (zonder de grote schor gebieden) over de periode van 1878 tot 1970 ongeveer een constant volume behoud (bijlage I), ten opzichte van NAP.

Op de grote schor gebieden (Sloe, Braakman, Verdrongen land van Saeftinge en de Slikken van Hinkeloord) is tussen 1878 en 1952 in het totaal ongeveer 105 miljoen m<sup>3</sup> gesedimenteerd. Dit is gedeeltelijk veroorzaakt door het op grote schaal aanplanten van Spartina op de schorren. Het grootste deel van de grote schorgebieden, behalve het Verdrongen Land van Saeftinge, is in deze periode ingedijkt.

Over de periode van 1878 tot 1931 zijn kuberingen van de proximale eb-getijdedelta en het estuarium (inclusief de grote schorren) uitgevoerd. Deze cijfers laten een negatieve zandbalans zien van ongeveer 214 miljoen m<sup>3</sup> (zie tabel 1 en bijlage H). Dit zand is volgens Haring (1951; 1949b) direct westelijk van het door Van Veen (1943) gemeten deel van de eb-getijdedelta afgezet. Dit gebied

Tabel 1 Zandbalans Westerschelde t.o.v. NAP tussen 1878 en 1931.

	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	km <sup>2</sup>
eb-getijde delta	-280	438
estuarium	-13	284
schorren	79	50
totaal	-214	771

wordt ook wel het 'buitenbankengebied' genoemd en ligt op de overgang van de eb-getijdedelta naar de shelf. Een globale inhoudsberekening van het 'buitenban-

kengebied' (526 km<sup>2</sup>) door Haring (1949b) wijst op een accumulatie van 123 miljoen m<sup>3</sup> in de berekende periode van 1894 tot 1921. Indien dit getal juist is kan hiermee de zandbalans kloppend gemaakt worden. Hierbij moet echter met het volgende rekening gehouden worden:

- De aanzanding in het 'buitenbankengebied' werd berekend door op hydrografische kaarten de oppervlakten tussen dieptelijnen te meten en een gemiddelde diepte per dieptezone te schatten. Deze meetmethode is erg nauwkeurig.

Het uit de kuberingen van Haring berekende transport van materiaal richting shelf wordt bevestigd door stroom- en transport metingen van H.A. Ferguson (in: Haring, 1951).

- Een andere mogelijkheid is dat het materiaal naar het zuidwesten de zogenaamde 'Vlaamse banken' getransporteerd is.

Metingen door Van Veen (1943) wijzen echter op een erosie van 110 miljoen m<sup>3</sup> in het gebied van de 'Vlaamse banken' (oppervlak 206 km<sup>2</sup>) in de periode van 1894 tot 1921.

Ook Terwindt (1971) stelt dat richting het zuidwesten geen transport optreedt omdat in het aangrenzende gebied van de 'Vlaamse Banken' juist erosie optreedt, terwijl de Belgische kustlijn redelijk stabiel blijft in dezelfde periode.

- Het materiaal kan ook kustlangs getransporteerd zijn richting eb-getijdedelta van de Oosterschelde.

Volgens Haring (1951) trad echter in de monding van de Oosterschelde (182.6 km<sup>2</sup>) een zandverlies op van 83.5 miljoen m<sup>3</sup> in de periode van 1872 tot 1933. In het westelijk van de monding gelegen vak (74.3 km<sup>2</sup>), op de vooroever van de eb-getijdedelta, 5 tot 10 km uit de kust, vond in dezelfde periode een aanzanding van 90.1 miljoen m<sup>3</sup> plaats.

Terwindt (1971) vond een noordoostwaarts gericht transport over de zeeuwse onderwaterdelta in deze periode.

### 3.2.2 *Bespreking kuberingen*

Bij toename van het getijprisma ruimen de geulen in een estuarium uit en wordt zand in de richting van de eb-getijdedelta getransporteerd. De eb-getijdedelta breidt zich dan zeewaarts uit. De geulen in het proximale deel van de eb-getijdedelta verdiepen en het materiaal wordt afgezet op het deltafront (Van den Berg, 1986). Bij een afname van het getijprisma is het omgekeerde het geval. De geulen in het estuarium en het proximale deel van de eb-getijdedelta verzanden en het volume van de delta wordt kleiner. Door golfwerking verplaatst het deltafront kustwaarts.

Uit de gegevens blijkt dat het estuarium (zonder de grote schorren) tussen 1878 en 1931 netto slechts 13.4 miljoen m<sup>3</sup> zand exporteerde. Hierbij moet echter bedacht worden dat de zeespiegel in die periode ongeveer 10 cm steeg hetgeen overeenkomt met een verruiming van 28.3 miljoen m<sup>3</sup>. Dit betekent dat de inhoud van het estuarium (zonder schorren) met 41.7 miljoen m<sup>3</sup> is toegenomen. Deze gegevens wijzen op een gemiddelde verdieping van de geulen en een toename van het getijprisma. Een verruiming van 41.7 miljoen m<sup>3</sup> lijkt niet veel maar als ervan uitgegaan wordt dat het estuarium in evenwicht was en het estuarium dit evenwicht probeert te behouden dan treedt er toch een 'zandhonger' van 41.7 miljoen m<sup>3</sup> op in de periode van 1878 tot 1931.

In deze periode is volgens Van den Berg et al., (1991) de inhoud en in mindere mate het getijprisma van het estuarium afgenomen. De afname van de inhoud werd



veroorzaakt door inpolderingen van slikken en schorren en wordt slechts gedeeltelijk gecompenseerd door een snellere voortplanting van de getijgolf door het estuarium en een toegenomen getijslag van Vlissingen tot Antwerpen (Van den Berg et al., 1986). Van den Berg et al., (1991) vond een toename van het doorstroomoppervlak van de geulen, hetgeen zou wijzen op een toename in plaats van een afname van het getijprisma (Gerritsen en de Jong, 1983). Deze tegenstelling wordt door Van den Berg et al., (1991) verklaard door aan te nemen dat er sprake is van een vertraagde reactie op de maximale uitbreiding van het kombergingsgebied aan het begin van de 17<sup>e</sup> eeuw als gevolg van de aanwezigheid van een resistente klellaag in de ondergrond.

Het kleiner worden van het onderzochte deel van de eb-getijdedelta tussen 1878 en 1931 kan theoretisch onder andere als volgt verklaard worden:

- 1 - Als gevolg van een afgenomen getijprisma (Van den Berg et al., 1991) zijn de getijstromen afgenomen. Hierdoor verschuift het dynamisch evenwicht tussen getijstromen en golven dat een eb-getijdedelta in stand houdt. Er wordt minder materiaal ingevangen door de getijstromen, terwijl het kustlangs transport en de afbrekende werking van de golven op de eb-getijdedelta gelijk blijft.
- 2 - Het door Van Veen onderzochte deel van de delta omvat niet de gehele eb-getijdedelta: het distale deel ontbreekt. Indien aangenomen wordt dat het getijprisma toch toegenomen is en geen sprake is van een naijlingseffect dan kan het zijn dat het materiaal als gevolg van de toegenomen getijbeweging verder zeewaarts is getransporteerd en westelijk van het door Van Veen berekende vak afgezet. Het totale zandvolume van de eb-getijdedelta kan dan gelijk gebleven zijn.
- 3 - Een eventuele vermindering van het kustlangs transport kan een verklaring zijn voor een verkleining van de eb-getijdedelta. Bij een afname hiervan en een gelijkblijvende golfaanval kan de omvang van de delta af nemen.

Voor en tegen elk van de bovenstaande theorieën kunnen argumenten aangevoerd worden:

Voor theorie 1 pleit de accumulatie op de schorren en achter in het estuarium in deze periode (Haring 1951, 1949a). Tegen pleit de verdieping van de geulen in het estuarium (Van den Berg et al., 1991).

Van theorie 2 is het nadeel dat het enige bewijs, de kubering van Haring (1949b) niet erg betrouwbaar is en een kortere periode beslaat. Het voordeel is dat het de ontwikkeling van de eb-getijdedelta kan verklaren als er geen sprake is van een naijlingseffect (van 300 jaar) maar van een toegenomen getijprisma.

Het nadeel van argument 3 is dat er geen concrete bewijzen zijn voor een afname van het kustlangs transport.

### 3.2.3 *Beschouwingen naar aanleiding van hydrografische kaarten (1804 - 1931)*

#### *Algemene ontwikkelingen*

Hydrografische kaarten uit Kleinjan (1933) zijn met behulp van het GIS (Geografische Informatie Systemen) pakket ARC-INFO gedigitaliseerd. De schaal van deze kaarten was 1:100.000. De kaarten uit de jaren 1804, 1823, 1841, 1863, 1894 en 1931 zijn gebruikt. Daarna zijn drie sets kaarten schaal 1:125.000 gemaakt:

- Dieptelijnenkaarten met daarop de gedigitaliseerde dieptelijnen (bijlage M).
- Dieptezonekaarten. Hierop staan de dieptezones aangegeven in oplopende grijswaarden: van ondiep naar diep respectievelijk van licht naar donker. Aan de hand van deze kaarten kan snel een overzicht verkregen worden van de ligging van geulen en banken (bijlage N), en de morfologische veranderingen.
- Kaarten met daarop de ligging van 1 bepaalde dieptelijn voor de verschillende jaren. Er zijn kaarten gemaakt van de 2,5, 5, 8 en 20 meter lijn beneden het referentievlak van gemiddeld laagwater (bijlage O).

Uit de dieptezonekaarten (bijlage N) en de kaarten met 1 dieptelijn uit verschillende jaren (bijlage J) vallen de volgende conclusies te trekken (Voor topografische name zie figuur 11):

- Het Oostgat heeft de meest constante ligging. Op de 5 m beneden gemiddeld laagwater dieptelijnenkaart is slechts een geringe verschuiving richting kust waar te nemen in de periode van 1804 tot 1931. Uit de 8 m -gem. L.W. lijn is ten noorden van de kop van Walcheren een verbreding van het Oostgat richting het westen te zien. Op de dieptezone kaarten (bijlage N) is te zien dat het Oostgat vanaf 1863 over de hele lengte dieper dan 8 meter m -gem. L.W. is. Deze waarnemingen wijzen op een sterk toenemend debiet door het Oostgat tussen 1804 en 1931.
- De Deurloo heeft een veel grilliger karakter. Van de beschouwde periode van 1804 tot 1931 heeft de Deurloo zijn maximale diepte en breedte in 1804. De Deurloo schuift in deze periode ongeveer 2 km richting het noordoosten. De aan zeezijde gelegen 8 m -gem. L.W. (westkant delta) begrenzing verplaatst ter hoogte van de Deurloo landwaarts (oostwaarts). Deze landwaarts verplaatsing is het gevolg van de afnemende sedimenttoevoer vanuit de in betekenis afnemende Deurloo.
- Ten noorden van de geul die nu de Wielingen heet lag in 1804 een geul (vloedschaar) die van de Wielingen werd gescheiden door een lineaire zandbank. In 1931 is van deze tweede geul nog slechts een restant over. De Wielingen zelf is in die tijd in breedte toegenomen en iets richting kust verplaatst.
- De Appelzak voor de Vlaamse kust is tot 1894 opmerkelijk weinig veranderd. In 1931 is de westelijke helft verdwenen, mogelijk als gevolg van de aanleg van de strekdam bij de haven van Zeebrugge.
- Uit de dieptelijnenkaart van 2,5 m -gem. L.W. blijkt dat de zandbanken voor de kust van Walcheren (Bankje van Zoutelande en de Vlakte van de Raan) richting kust verplaatst zijn. De Oostgat zijde van het Bankje van Zoutelande is vrijwel op dezelfde plaats gebleven sinds 1863. Waarschijnlijk werd het materiaal dat hierheen werd getransporteerd direct via het Oostgat afgevoerd.
- De Sluische Hompels zijn over een afstand van 1 tot 2 km richting noordoosten verplaatst (richting kust Walcheren).

- Langs de kustlijn van Zeeuws Vlaanderen en van Walcheren is overal erosie opgetreden, hetgeen blijkt uit de landwaartse verplaatsing van de kustlijn.

Verhagen (1988) heeft aan de hand van de waargenomen verplaatsingen van de geulen en banken een theorie opgesteld over de verplaatsing van zandgolven over de voordelta.

Het Oostgat en de Wielingen zijn in betekenis toegenomen ten koste van de Deurloo. Het deltafront, ongeveer ter plaatse van de 8m -gem. L.W. lijn is weinig van plaats veranderd. Alleen ter plaatse van de Deurloo zijn aanwijzingen voor een significante verplaatsing van het deltafront. De landwaartse verplaatsing van het deltafront hier is waarschijnlijk een gevolg van de afname van de sedimentaanvoer door de Deurloo.

Het gelijkblijven van de positie van het deltafront in combinatie met de geconstateerde volumevermindering betekent dat de gemiddelde hoogte van de eb-getijdedelta afneemt. Dit is ook te zien aan het grotendeels verdwijnen van de platen boven gemiddeld laagwater (zie bijlage N). Het gevolg hiervan is dat de waterdiepte boven de eb-getijdedelta toeneemt. Hierdoor kan de golfaanval op de kusten van Zeeuws Vlaanderen en Walcheren toenemen met als gevolg een eventuele versnelde erosie van de Zeeuwse kusten.

### Oppervlakte en inhoudsberekeningen

Van elke dieptezone is de oppervlakte berekend. De uitkomsten staan in tabel 3. De cumulatieve uitkomsten staan in tabel 4. Deze cijfers geven het natte oppervlak beneden de aangegeven dieptelijn. De oppervlakten zijn grafisch weergegeven in figuur 12 en 13.

**Tabel 2** Gemiddeld laagwaterpeil t.o.v. NAP volgens van Veen (1943) en geëxtrapoleerd uit zeespiegelstijging (zie tekst).

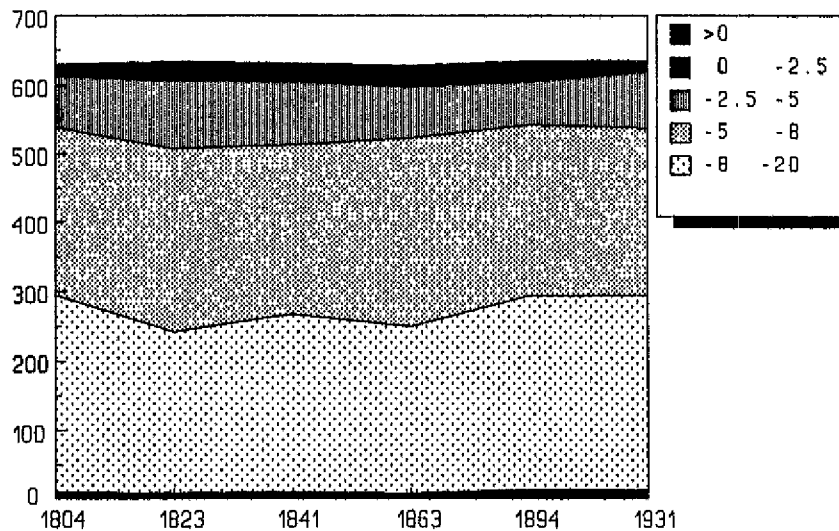
jaar	van Veen (1943)	Technische Scheldecmissie (1984)
1804	-1.95	-2.13
1823	-1.90	-2.10
1841	-1.90	-2.06
1863	-1.94	-2.02
1894	-1.90	-1.96
1931	-1.88	-1.89

**Tabel 3** Oppervlakten (km<sup>2</sup>) per dieptezone (in m t.o.v. gemiddeld laagwater).

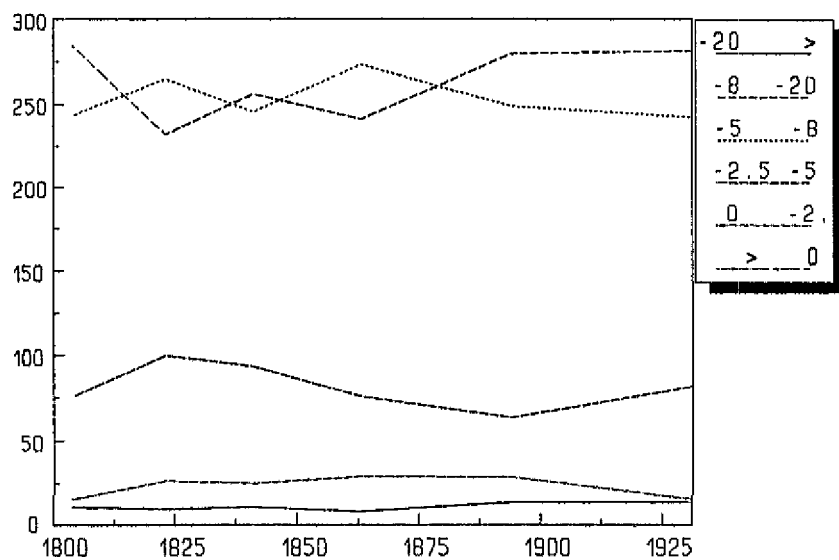
dieptezone	1804	1823	1841	1863	1894	1931
0 -2.5	15.7	26.4	25.2	29.1	28.8	15.8
-2.5 -5	76.1	100.0	93.7	76.2	53.6	82.0
-5 -8	243.6	264.1	245.5	273.2	248.9	242.4
-8 -20	284.3	232.1	256.0	241.3	279.7	281.4
-20 <	10.5	9.7	10.7	8.1	13.6	13.7

**Tabel 4** Cumulatieve oppervlakte (km<sup>2</sup>) beneden aangegeven dieptelijn (t.o.v. gem. LW.).

LW	1804	1823	1841	1863	1894	1931
0	630	633	631	628	635	635
-2.5	615	607	606	599	606	619
-5	538	507	512	523	542	538
-8	295	242	267	249	293	295
-20	11	10	11	8	14	14



**Figuur 12** Oppervlakten per dieptezone in 6 jaren tussen 1804 en 1931.



**Figuur 13** Cumulatieve oppervlakte per dieptezone in 6 jaren (de afstand tussen de gemeten jaren is constant ondanks het tijdsverschil).

Het vergelijken van de jaren onderling wordt bemoeilijkt doordat als referentievlak het laagwaterpeil gebruikt is, hetgeen niet constant gebleven is door de jaren. Weergegeven in tabel 2 is het gemiddeld laagwaterpeil bij Vlissingen ten opzichte van NAP volgens Van Veen (1943). De getallen voor de jaren 1804 en 1931 worden niet gegeven door Van Veen (1943), maar zijn geschatte waarden. De getallen van Van Veen wijzen op een constant blijven van het laagwater niveau tussen 1823 en 1894. Dit zou betekenen dat in 71 jaar geen zeespiegelstijging heeft plaatsgevonden. Het studierapport verdieping Westerschelde gaat uit van een gemiddelde zeespiegelstijging van bijna 22 cm per eeuw en een stijging van het gemiddeld laagwater van bijna 19 cm per eeuw (Technische Scheldec commissie, 1984). Deze getallen zijn berekend voor Vlissingen over de periode van 1862 tot

1981. Als deze waarde rechtstreeks geëxtrapoleerd wordt naar de periode 1804 - 1931 worden voor het gemiddeld laagwater de in tabel 2, kolom 2 weergegeven waarden verkregen.

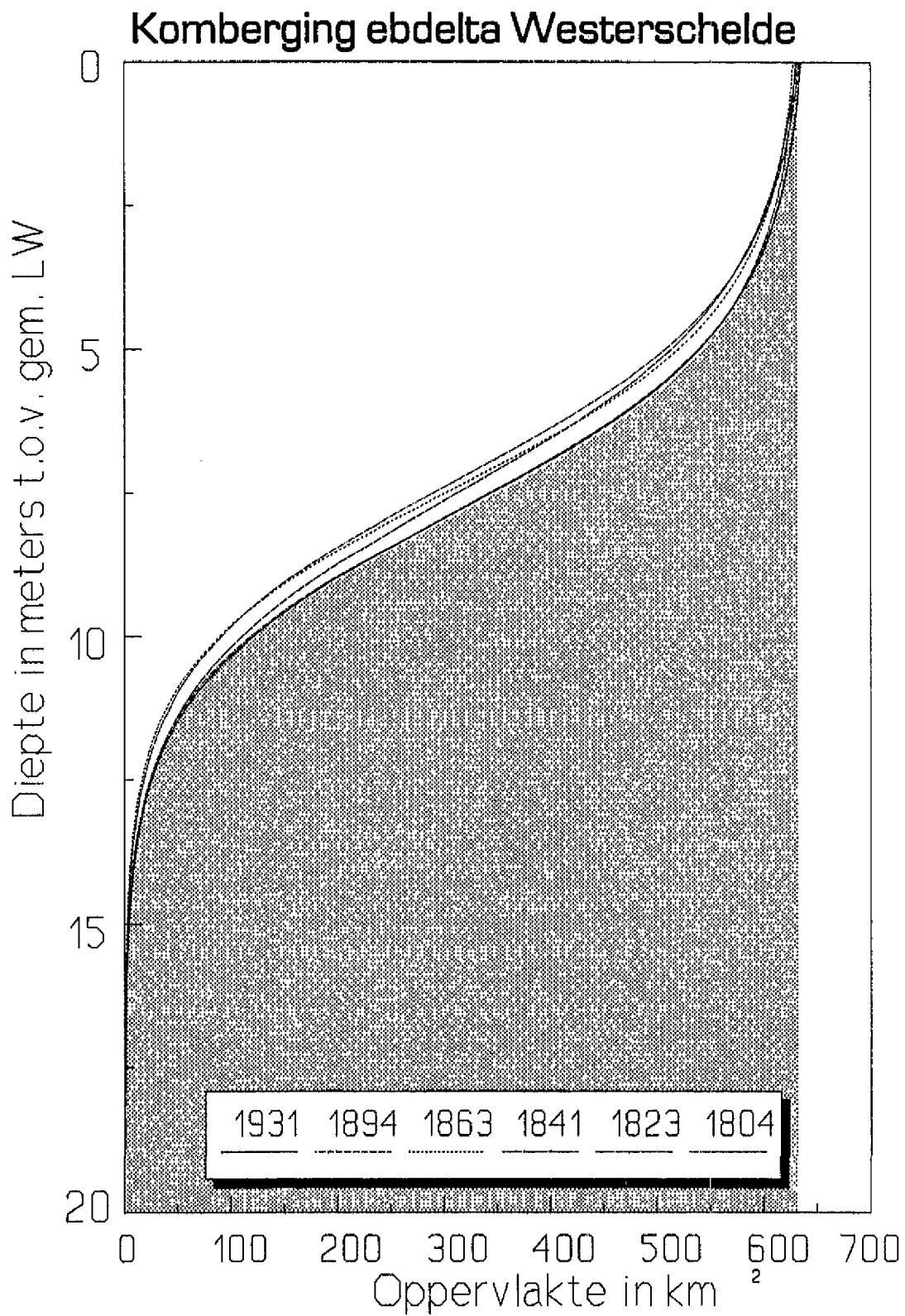
De oppervlaktegegevens van 1804 wijken sterk af van de gegevens uit de andere jaren. Waarschijnlijk heeft deze kaart een ander reductievlak dan aangenomen door Kleinjan (1933).

De kaart uit 1841 is een gedeeltelijk herziene versie van de kaart uit 1823. Als uit een vergelijking blijkt dat in een bepaald gebied geen verschillen voorkomen hoeft dit niet te betekenen dat er geen veranderingen opgetreden zijn. Verreweg het grootste deel van de kaart is echter herzien, vooral de relatief snel veranderende gebieden van de geulen.

Als 1804 buiten beschouwing wordt gelaten kan ten aanzien van de oppervlakteveranderingen het volgende opgemerkt worden:

Tussen 1823 en 1894 nam het oppervlak tussen 0 en -2.5 meter (t.o.v. gem laagwater) netto met 9% toe. In dezelfde periode nam het oppervlak tussen -2.5 en -5 meter gestaag af, netto 46%. De oppervlakte van de zone tussen -8 en -20 meter beneden gemiddeld laagwater bleef ongeveer gelijk. Beneden 20 meter nam het oppervlak toe. Dit wijst op een verstelling van het reliëf tussen 1823 en 1894.

Het oppervlak van het gebied tussen 0 en -2.5 meter beneden gemiddeld laagwater is in de periode van 1894 tot 1931 bijna gehalveerd. Tegelijkertijd is de zone van -2.5 tot -5 meter met ruim 50% uitgebreid. Dit wijst op een vervlakking van de platen, de hoogste delen worden verlaagd, maar horizontaal breiden de platen uit tussen -2.5 en -5 meter beneden gemiddeld laagwater. Beneden de -8 meter blijven de oppervlakten constant.



**Figuur 14** Kombergingsgrafieken eb-getidedelta Westerschelde berekend volgens de methode Boon en Byrne, (1981). Kombergingsgrafieken van het estuarium staan in bijlage P.

**Tabel 5** Inhoud berekend uit gemeten oppervlakten en hieruit afgeleide volume veranderingen.

jaar	inhoud	erosie (-) / accumulatie (+)
1804	5011	+342
1823	4669	-152
1841	4821	+68
1863	4753	-240
1894	4993	-2
1931	4995	
1931 - 1823	-326	-326

**Tabel 6** Gecorrigeerde inhoud berekend volgens aangegeven methode (zie tekst) en hieruit afgeleide zandvolume veranderingen.

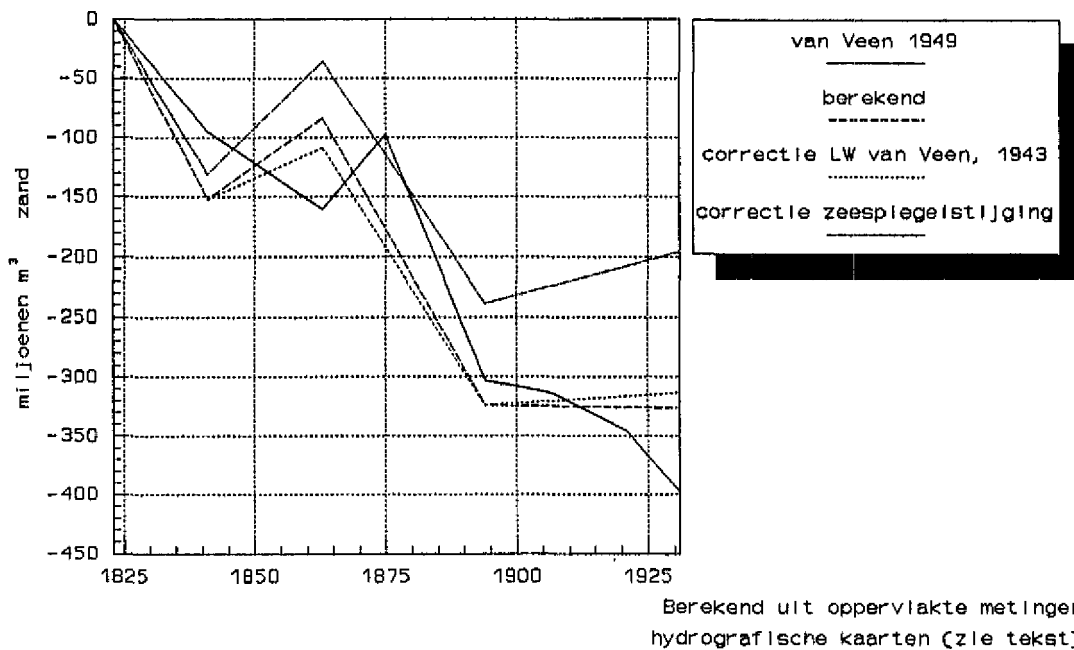
jaar	correctie van LW→ NAP. Ontwikkeling laagwater volgens van Veen (1943)		correctie van LW- →NAP. Ontwikkeling laagwater volgens ScheldeCommissie (1984)	
	inhoud	erosie (-)	inhoud	erosie (-)
1804	5056	+374	5164	+365
1823	4682	-152	4799	-131
1841	4834	+43	4930	+95
1863	4791	-215	4835	-203
1894	5006	+11	5038	+43
1931	4995		4995	
1823 - 1931	-313	-313	-196	-196

Boon en Byrne (1981) hebben een methode ontwikkeld om de oppervlakte-diepte relatie van een bassin met behulp van een functie numeriek te beschrijven. Deze functie is met behulp van een iteratief Pascal programma gefit aan de gevonden oppervlakten. De gevonden functies zijn in figuur 14 weergegeven. In bijlage P staat deze kombergingsgrafiek samen met de kombergingsgrafieken van het estuarium die gebaseerd zijn op de schematisatie van Van den Berg et al. (1991). De integraal van de functies is een maat voor de inhoud van de eb-getijdedelta.

De berekende inhoud in miljoenen m<sup>3</sup> ten opzichte van het op de betreffende kaarten gebruikte laagwatervlak is weergegeven in tabel 5. Omdat het reductie vlak voor alle kaarten een ander gemiddeld laagwater is, zijn deze kaarten onderling niet direct vergelijkbaar. De gegevens in tabel 6 zijn gecorrigeerd voor de verandering van het laagwatervlak ten opzichte van NAP volgens Van Veen (1943) (zie ook tabel 2). In dezelfde tabel staan de correcties indien een constante zeespiegelstijging van bijna 20 cm per eeuw wordt verondersteld. De gegevens in de beide tabellen zijn gestandaardiseerd naar het oppervlak beneden gemiddeld laagwater van 1931.

Vooraf het verschil in volume tussen 1804 en 1823 is opvallend. Waarschijnlijk hebben de kaarten van 1804 en 1823 een verschillend reductievlak. De verschillen zijn niet te verklaren uit een verandering van het gemiddeld laagwater niveau in de tussenliggende 19 jaar.

Cumulatieve sedimentatie eb-getijdedelta  
(1823 tot 1931)



**Figuur 15** Cumulatieve accumulatie eb-getijdedelta volgens van Veen en berekend uit gemeten oppervlakten.

De cumulatieve volumeveranderingen vanaf 1823 zijn weergegeven in figuur 15 samen met de volumeveranderingen volgens Van Veen (1949). De afwijkingen tussen de verschillende grafieken onderling zijn aanzienlijk, toch wijzen ze allen in de richting van een flinke netto erosie tussen 1823 en 1931.



### 3.3 De periode 1965 - 1990

#### 3.3.1 *Inleiding*

Van deze periode zijn grote hoeveelheden lodingsgegevens geschematiseerd en digitaal verwerkt (Van den Berg et al., 1991). Van den Berg et al., (1991) geeft aan dat de gegevens van met name het buitengaats deel van de Westerschelde niet optimaal zijn. In 1975 is te 'droog' gepeild (Van den Berg et al., 1991) en in 1965 is een kleiner deel van de eb-getijdedelta gemeten dan in de jaren erna. Verder zijn de stortlokaties van baggerspecie niet exact bekend.

Het hele estuarium en eb-getijdedelta van de Westerschelde zijn vanaf 1965 geschematiseerd volgens een 200 \* 200 meter grid. Met behulp van deze gegevens is een groot aantal figuren gemaakt (zie bijlagen A t/m G, K, L, P en Q). Alle gegevens zijn van Van den Berg et al., (1991), behalve de netto kuberingsgegevens van het estuarium. Deze kuberingsgegevens zijn gebaseerd op een correctie van de schematisatie van het estuarium tot de debietraai Vlissingen, van de periode van 1965 tot 1985 welke in juli 1991 afgerond werd. In dezelfde periode kwam de schematisatie van het estuarium van 1990 beschikbaar. De aangebrachte wijzigingen zijn over het algemeen gering van omvang.

Hieronder worden de geconstateerde volumeveranderingen van de Westerschelde besproken. Hierbij wordt de relatie tussen het estuarium en de eb-getijdedelta, voor zover aanwezig zoveel mogelijk aangegeven.

De verderop in de tekst genoemde 'natuurlijke' sedimentatie wordt berekend uit de kuberings (netto accumulatie) vermeerderd met de zandonttrekking. De berekende natuurlijke sedimentatie is heel anders dan de sedimentatie die zonder baggerinvloed zou plaatsvinden. Van een echt natuurlijke sedimentatie is dan ook eigenlijk geen sprake.

#### 3.3.2 *Kuberingsgegevens*

Absolute en relatieve kombergingsgrafieken zijn weergegeven in bijlage P. In deze grafieken zijn de onderlinge verschillen tussen de jaren miniem. Alleen de grafiek van de voordelta uit 1965 springt eruit. De oorzaak hiervan is dat in 1965 een kleiner gebied beschouwd werd.

De erosie en accumulatie per dieptezone van 2.5 meter is weergegeven in bijlage A tot en met D. De vakindeling van Van den Berg et al., (1991) is hierbij aangehouden (bijlage J). Van de eb-getijdedelta zijn van het tijdvak 1965 - 1970 geen resultaten weergegeven omdat in 1965 een kleiner oppervlak beschouwd werd.

De totalen per dieptezone van de eb-getijdedelta in de periode van 1965 tot 1970 zijn het tegengestelde van de periode 1970 tot 1975 (bijlage B). Dit laat geen andere conclusie toe dan de conclusie van Van den Berg et al., (1991) dat het jaar 1975 te droog gepeild is.

De volumeveranderingen over het tijdvak van 1980 tot 1985 zijn in het estuarium zeer klein (< 2 miljoen m<sup>3</sup> per 2.5 meter dieptezone). Over dezelfde periode bedragen de volumeveranderingen op de eb-getijdedelta maximaal 18 miljoen m<sup>3</sup> per 2.5 meter dieptezone.

Een vergelijk tussen 1970 en 1985 voor het estuarium en de eb-getijdedelta is weergegeven in bijlage Q. De baggerinvloed is in beide figuren duidelijk zichtbaar. Het baggeren heeft met name effect op de zone 10 tot 15 meter -NAP maar ook de zone 15 tot 20 meter -NAP geeft nog een sterk zandverlies te zien. De stortinvloed van baggerspecie op de eb-getijdedelta is duidelijk terug te vinden in de zone 10 tot 5 meter -NAP. Het estuarium laat alleen in de zone tussen +2.5 en -2.5 NAP en de zone beneden -20 NAP enige aanzanding zien. Het beeld wordt echter sterk overheerst door een netto zandverlies van 51.5 miljoen m<sup>3</sup> (tussen 1970 en 1985).

In bijlage E is de netto erosie en accumulatie op de eb-getijdedelta en in het estuarium weergegeven. Bijlage G geeft cumulatief: het netto zandbudget (inhoudsverandering), de bagger- en storthoeveelheden en het natuurlijk effect (netto - baggeren/storten). De stortcijfers op de eb-getijdedelta zijn ruw geschatte waarden hetgeen ook de cijfers van de natuurlijke sedimentatie op de eb-getijdedelta minder betrouwbaar maakt (Van den Berg et al., 1991).

Het netto volume van de eb-getijdedelta is in de periode van 1970 tot 1985 met 38.4 miljoen m<sup>3</sup> afgenomen. Ook het estuarium toont een tendens van afnemend netto zandvolume (-37.4 miljoen m<sup>3</sup> in de periode van 1965 tot 1990). Het natuurlijk effect in het estuarium gaf in de periode van 1965 tot 1970 een sedimentatie aan. Sinds 1970 is de natuurlijke aanwas echter ongeveer 0 m<sup>3</sup>. In deze periode komt de netto zandafname van het estuarium dus volledig voor rekening van de zandonttrekking.

In bijlage F zijn de sedimentatie en erosie hoeveelheden per vak (volgens de indeling van Van den Berg, 1991) weergegeven. Hetzelfde is gedaan in bijlage K voor de vakindeling van De Looff. Het beeld van erosie en accumulatie per vak wordt bij beide indelingen in belangrijke mate beheerst door de baggeractiviteiten. Perioden van aanzanding en verdieping in 1 vak wisselen elkaar in opeenvolgende perioden vaak af. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het terugstromen van de specie naar de baggerlokatie. Een verdieping in 1 vak valt vaak samen met aanzanding in het vak ernaast als gevolg van het storten van baggerspecie.

De kuberingen van Van den Berg et al., (1991) en De Looff (1983; 1986) zijn met elkaar vergeleken in I en K. Over het algemeen vertonen ze dezelfde tendens. De verschillen kunnen gedeeltelijk verklaard worden uit de verschillen in bekeken periode en de precieze vakindelingen (Van den Berg, 1991). De verschillen in natuurlijke sedimentatie zijn het gevolg van verschillen in bagger gegevens. Het probleem hierbij is de onnauwkeurigheid van de gegevens over baggerhoeveelheden en stortlocaties. Onnauwkeurigheid van gegevens over stortlocaties zijn vooral belangrijk in de buurt van vakgrenzen.

## 4 Conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek

- De omvang van (het proximale deel van) de eb-getijdedelta is tussen 1823 en 1931 met ongeveer 400 miljoen m<sup>3</sup> afgenomen (= 0,9 meter = 8 mm/j). Recent zijn alleen gegevens beschikbaar voor de periode van 1970 tot 1985: een afname van 38,4 miljoen m<sup>3</sup> (4 mm/j).
- Het estuarium is sinds 1878 aan het verdiepen als gevolg van de zeespiegelstijging. (nauwelijks zandexport, wel relatieve stijging zeespiegel).
- Tussen 1970 en 1990 is er ruim 65 miljoen m<sup>3</sup> zand uit het estuarium verdwenen.
- Het valt te verwachten dat bij een voortgaande verlaging van de eb-getijdedelta een verdere achteruitgang van de kust van Walcheren en Zeeuws-Vlaanderen alleen met toenemende investeringen vermeden kan worden.
- Uit bovenstaande gegevens kan geconcludeerd worden dat het estuarium langzaam lijkt te 'verdrinken'. In de toekomst moet dan ook rekening gehouden worden met een toenemende zandhonger van het estuarium. Het verdient dan ook de aanbeveling om de zandwinning in het estuarium en op de eb-getijdedelta van de Westerschelde af te bouwen naar nul.
  
- Van de periode van 1931 tot 1970 zijn over de eb-getijdedelta geen cijfers bekend. Het verdient de aanbeveling om over deze periode een (aantal) kuberingen te maken om duidelijkheid te verkrijgen over de continuïteit van de erosie van de eb-getijdedelta. Deze kuberingen zullen zo ver mogelijk zeewaarts moeten reiken om een idee te krijgen van waar op de delta het materiaal verdwijnt of accumuleert.
- Om de afname van het volume van de eb-getijdedelta te kunnen verklaren zijn eenduidige gegevens nodig van de ontwikkeling van het getijprisma in de loop van de tijd. Hierbij moet rekening gehouden worden met o.a.:
  - de afname van het natte oppervlak door inpolderingen,
  - toename van de getijslag in Antwerpen en Vlissingen,
  - een versnelde voortplanting van de getijgolf als gevolg van een betere stroomlijning van het bekken en verdieping van de geulen,
  - de ontwikkeling van de vorm van het bekken. Het getijprisma van de Westelijke Waddenzee nam toe toen het natte oppervlak verkleind werd door de aanleg van de afsluitdijk als gevolg van een betere resonantie van de getijgolf.
- Voor de relatie van de zandbalans van het estuarium met de eb-getijdedelta is het belangrijk om te weten hoeveel zand kustlangs naar de eb-getijdedelta wordt aangevoerd. Hiertoe dient onderzoek gedaan te worden naar de herkomst van het materiaal van de eb-getijdedelta en de netto transporthoeveelheden en richtingen op de zeeuwse voordelta en de relaties met de Belgische en Hollandse kustzone.
- Om de zandbalans geheel sluitend te maken dienen de zandtransporten tussen de voordelta en de shelf nader in kaart te worden gebracht.

# LITERATUUR

## Referenties

- Boon, J.D., en R.J. Byrne, (1981),** On basin hypsometry and morphodynamic response of coastal inlet systems. *Marine Geology* 40, p. 27-48.
- Boothroyd, J.C. (1985),** Tidal Inlets and Tidal Deltas. in: R.A. Davis, Jr., *Coastal Sedimentary Environments*. Springer-Verlag New York inc., New York.
- De Loeff, D. (1977),** Onderzoek naar de mogelijkheden tot en de gevolgen van zandwinning in de Westerschelde. nota 77.4 Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Studiedienst Vlissingen.
- De Loeff, D. (1983),** Inhoudsveranderingen en zandbalans Westerschelde, op basis van de resultaten van vroeger over de periode 1878 - 1971/72 en recent over de periode 1971/72 - 1980 uitgevoerde berekeningen. nota wwz-83.V003.
- De Loeff, D. (1986),** Inhoudsveranderingen en zandbalans Westerschelde voor de periode 1980 - 1984/85, aansluitend op eerdere berekeningen voor het tijdvak 1878 - 1980. nota NXL-86.020.
- De Loeff, A.P. & H.J. Verhagen (1986),** Mondingsgebied van de Westerschelde: getijstromingen, golfklimaatgegevens, bodemligging an morfologische processen. nota GWWS-86.404.
- Dean, R.G. (1988),** Sediment Interaction at Modified Coastal Inlets: Processes and Policies. In: Aubrey, D.G. & L. Weishar (Eds.) (1988), *Hydrodynamics and Sediment Dynamics of Tidal Inlets*,. Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies, Vol. 29, Springer-Verlag, New York.
- R.G. Dean en T.L. Walton (1975),** Sediment Transport Processes in the vicinity of inlets with Special Reference to Sand Trapping. In: *Estuarine research, Volume II, Geology and Engineering*, Edited by L. Eugene Cronin, Academic Press New York, p. 129-150.
- Gerritsen, F. en H. de Jong (1983),** Stabiliteit van doorstroomprofielen in de Westerschelde. nota WWKZ-83.V008.
- Haring, J. (1949a),** Inhouds- en diepteveranderingen in de Westerschelde over de periode 1878-1931. Rijkswaterstaat, Directie Benedenrivieren.
- Haring, J. (1949b),** Inhouds- en diepteveranderingen buitenbankengebied van de Westerschelde 1894-1921.
- Haring, J. (1951),** Overzicht van de rapporten van inhouds- en diepteveranderingen van de zuid-westelijke wateren van Nederland over de periode 1872-1933.

- Haring, J. (1955)**, Inhouds- en diepteveranderingen van de Westerschelde over de periode 1931 - 1952. Rapport nr.1, 1955, R767.
- Hayes, M.O. (1980)**, General Morphology and Sediment Patterns in Tidal inlets. *Sedimentary Geology*, 26, p. 139-156, Elsevier Scientific Publishing Company Amsterdam. (Special Issue: Bouma A.H., D.S. Gorsline, C. Monty and G.P. Allen (editors), Shallow Marine Processes and Products.).
- Kleinjan, I.L. (1933)**, Beschouwingen en berekeningen over de ontwikkeling van de Westerschelde an haar mondingsgebied sedert 1800, op grond van de beschikbare hydrografische kaarten. (rapport of nota rijkswaterstaat met bijlagen).
- Sha Li Ping (1990)**, Sedimentological studies of the ebb-tidal deltas along the West Frisian Islands, the Netherlands. *Geologica Ultraiectina, Mededelingen van het Instituut voor Aardwetenschappen der Rijksuniversiteit te Utrecht*, No 64. Proefschrift.
- Technische Scheldec commissie, subcommissie Westerschelde (1984)**, Studierapport Verdieping Westerschelde, programma 48'/43'. Antwerpen, Middelburg.
- Terwindt, J.H.J. (1971)**, Sedimentbeweging en sedimenteigenschappen in relatie tot de bodemmorfologie in de getijwateren van z.w.-Nederland. Proefschrift R.U.U.
- Van den Berg, J.H. (1986)**, Aspects of sediment- and morphodynamics of subtidal deposits of the Oosterschelde (the Netherlands), Rijkswaterstaat communicati- ons, the Hague, pp 35-53. Proefschrift R.U.U.
- Van den Berg, J.H. (1987)**, Toelichting bij de isallobatenkaart voordelta 1975-1984. nota 87.0020, november 1987.
- Van den Berg, J.H., D. Schouten en C. van Westenbrugge (1991)**, Zandbalans Westerschelde 1965-'70-'75-'80-'85. Nota NWL - 91.36.
- Van Veen J. (1943; 1949)**, Verdieping Scheldemond. Augustus 1943 en november 1949. De auteur is niet met zekerheid bekend, kan ook Jac Haring zijn. In 1949 aangevuld met commentaar, waarschijnlijk door Van Veen.
- Verhagen, H.J. (1988)**, Sand Waves along the Dutch Coast. *Coastal Engineering* 13, p 129-147., Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- T.L. Walton and W.D. Adams (1976)**, Capacity of inlet Outer Bars to Store Sand. Chapter 112, *Proceedings, Fifteenth International Conference on Coastal Engineering*, American Society of Civil Engineers, Honolulu, HI, p. 1919-1937.

## Aanbevolen

- Bollebaker, G.P. (1985)**, Inhoudsveranderingen Westerschelde 1952-1981. Nota WWKZ-85.V027.
- Davis, R.A. Jr. and W.T. Fox (1981)**, Interaction between wave- and tide-generated processes at the mouth of a microtidal estuary Mantanzas River, Florida (U.S.A.). *Marine Geology*, volume 40, no. 1/2, p. 49-68, Elsevier Scientific Publishing Company Amsterdam. (Special Issue: Nichols, M.M. and Allen, G.P. (editors), *Estuary - Shelf Interrelationships*).
- De Looff, D. (1981)**, Opgetreden en te verwachten diepteveranderingen in het gebied van de Mond van de Westerschelde, in samenhang met de reeds uitgevoerde en voorgenomen verdiepingsbaggerwerken in het Scheur, notitie WWKZ-81.V207.
- De Looff, D. (1980)**, Onderzoek gevolgen verdieping Westerschelde, met betrekking tot morfologie, zandhuishouding, stortplaatsen en stabiliteit oevers. Nota WWKZ-80.V018
- Fitzgerald, D.M. (1984)**, Interactions Between Ebb-Tidal Delta and Landward Shoreline: Price Inlet, South Carolina. *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol 54, No 4, December, 1984, p. 1303-1318, The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists,.
- Gallivan, L.B. en R.A. Davis, Jr (1981)**, Sediment transport in a microtidal estuary: Mantanzas River, Florida (U.S.A.). *Marine Geology* 40, p 69-83. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Gerritsen, F. en H. de Jong (1985)**, Stabiliteit van doorstroomprofielen in het Waddengebied. nota WWKZ-84.V016.
- Gout M.J. (1982)**, De Westerschelde als scheepvaartweg. nota WWKZ-82.V012.
- Hawkins, A.B. (1979)**, Estuary evolution with special emphasis on the Severn estuary. In: *Tidal Power and estuary management*.
- Laban, C. en R.T.E. Schüttenhelm (1981)**, Some new evidence on the origin of Zeeland ridges. *Special Publications of the international Association of Sedimentologists* 5, p 239-245.
- Lievense, P. (1990)**, Getijontwikkeling voordelta. Notitie AX 90.037.
- Postma, R, J. Mulder, T. Louters en F. Hallie (1990)**, Voorspelling van de morfologie en sedimentbalans van de voordelta in 2010. Rapport GEOPRO 1991.11 (Instituut voor Ruimtelijk Onderzoek), Notitie GWAO 90.13045 (Dienst Getijde Wateren).

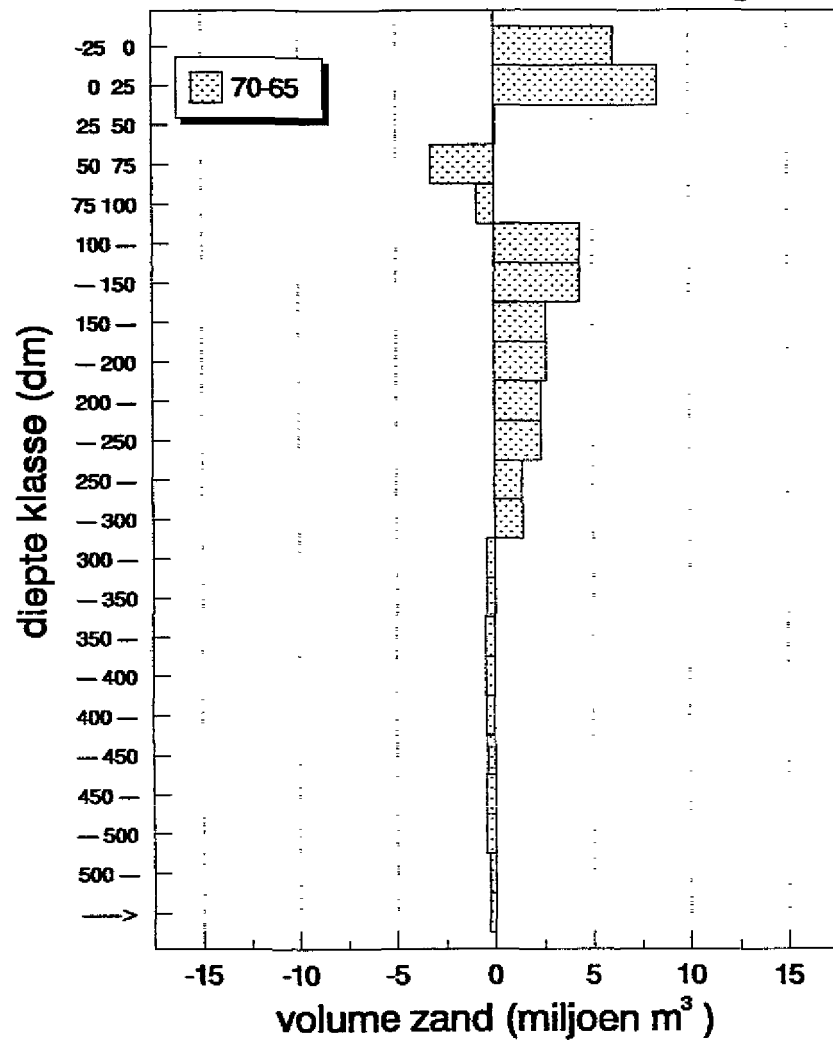
**Project 690 (1986),** Slibverspreidingsonderzoek stortplaats ten behoeve van verdieping mondingsgebied Westerschelde.

**Rijkswaterstaat (1976),** De waterloopkundige, hydrografische en ecologische gevolgen van de stormvloedkering voor de buitendelta en het aan grenzende kustgebied. Driemaandelijks Bericht Deltawerken, mei 1976.

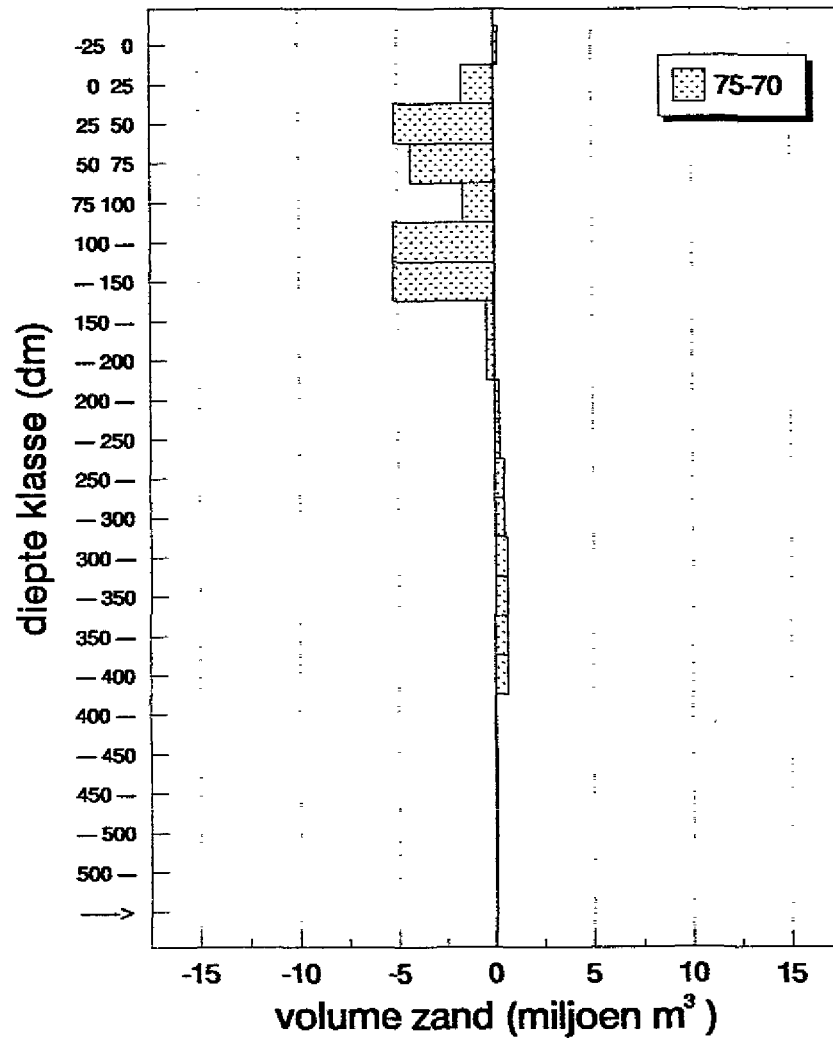
**Rijkswaterstaat (1989),** Beleidsplan Westerschelde. De ecologische ontwikkeling van de Westerschelde. Deelrapport 4 Morfologische Structuur en Dynamiek. Werkgroep waterbeheer Westerschelde, April 1989, Dienst Getijde Wateren en Directie Zeeland.

**R.C. Steljn (1991),** Some considerations on tidal inlets, A literature survey on hydrodynamic and morphodynamic characteristics of tidal inlets with special attention to "Het Friesche Zoegat". Literature Survey H 840.45, May 1991, delft hydraulics.

**Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
totaal estuarium tot debietraai Vlissingen**

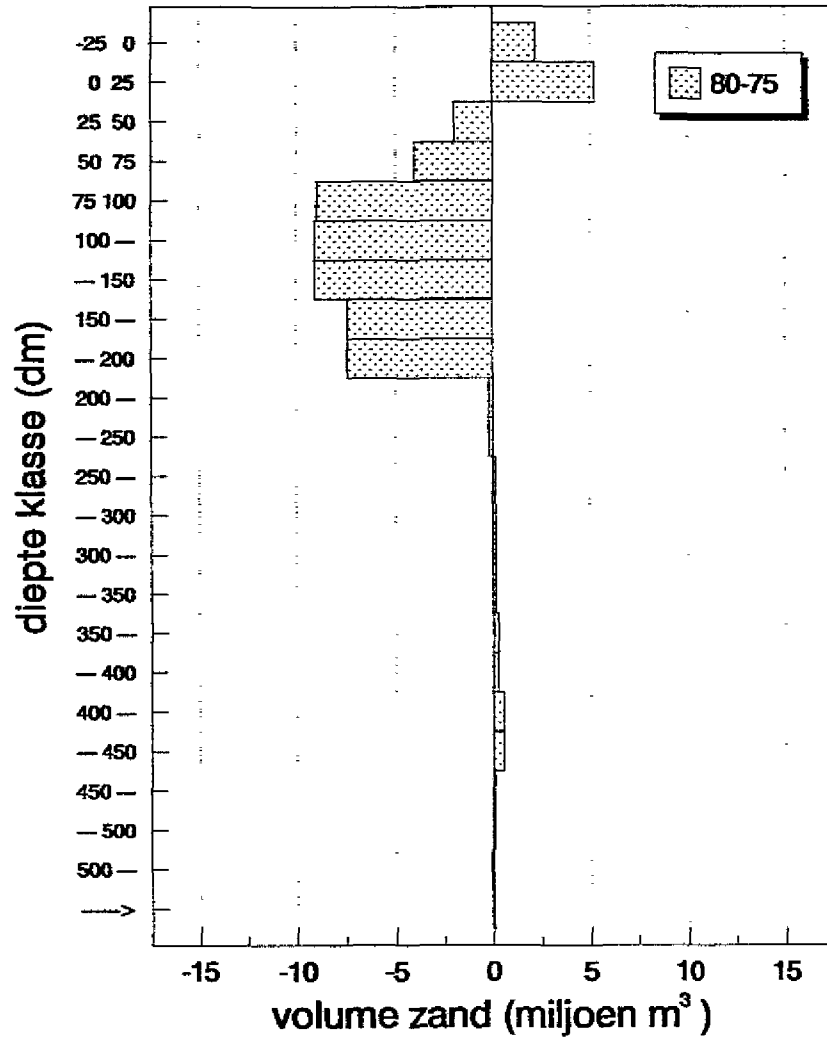


**Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
totaal estuarium tot debietraai Vlissingen**

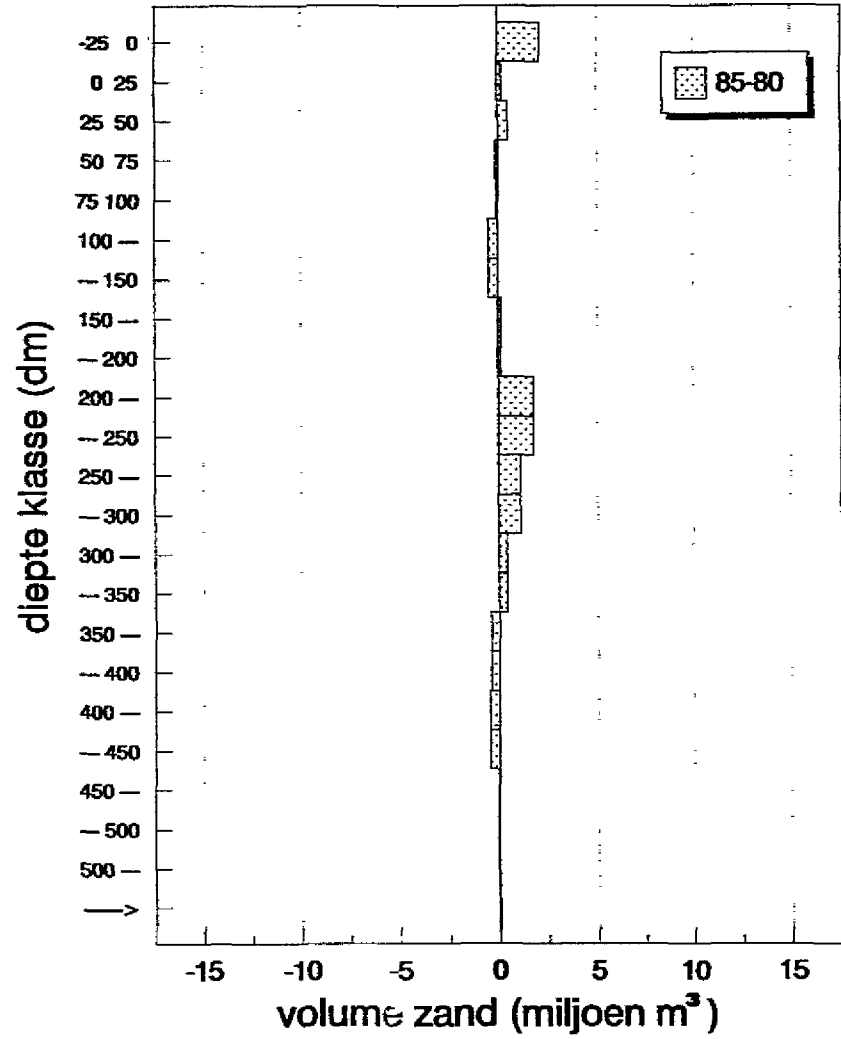




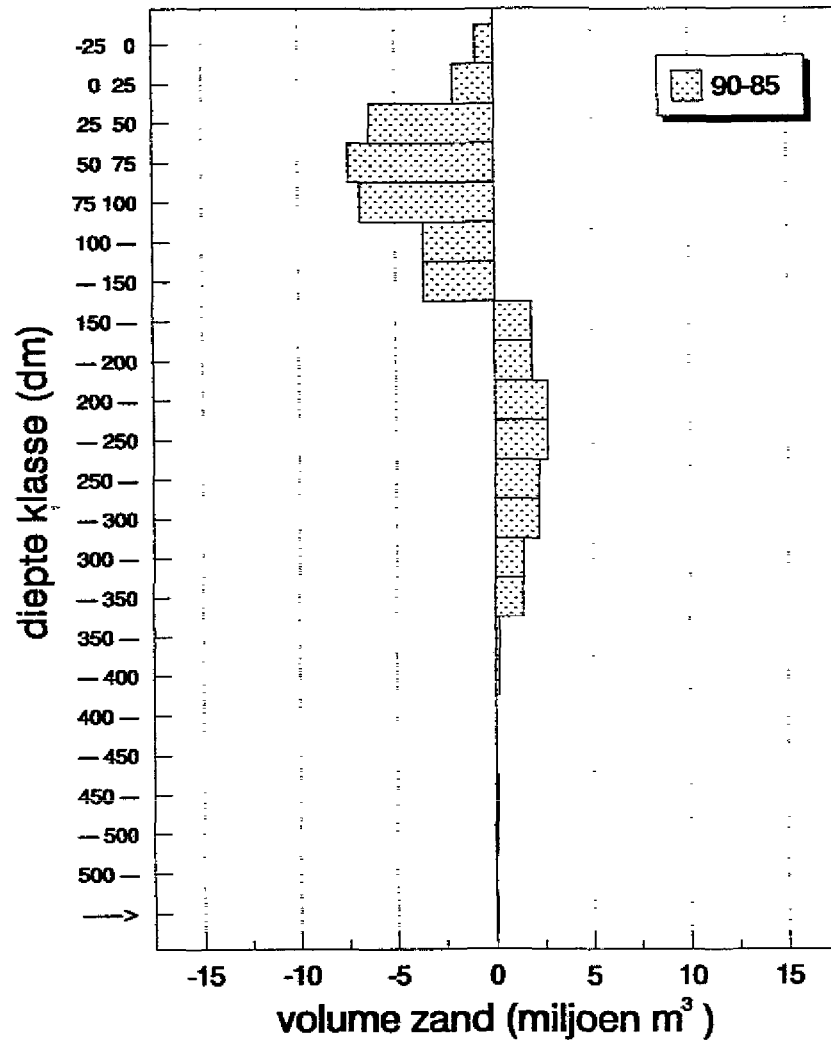
**Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
totaal estuarium tot debietraai Vlissingen**



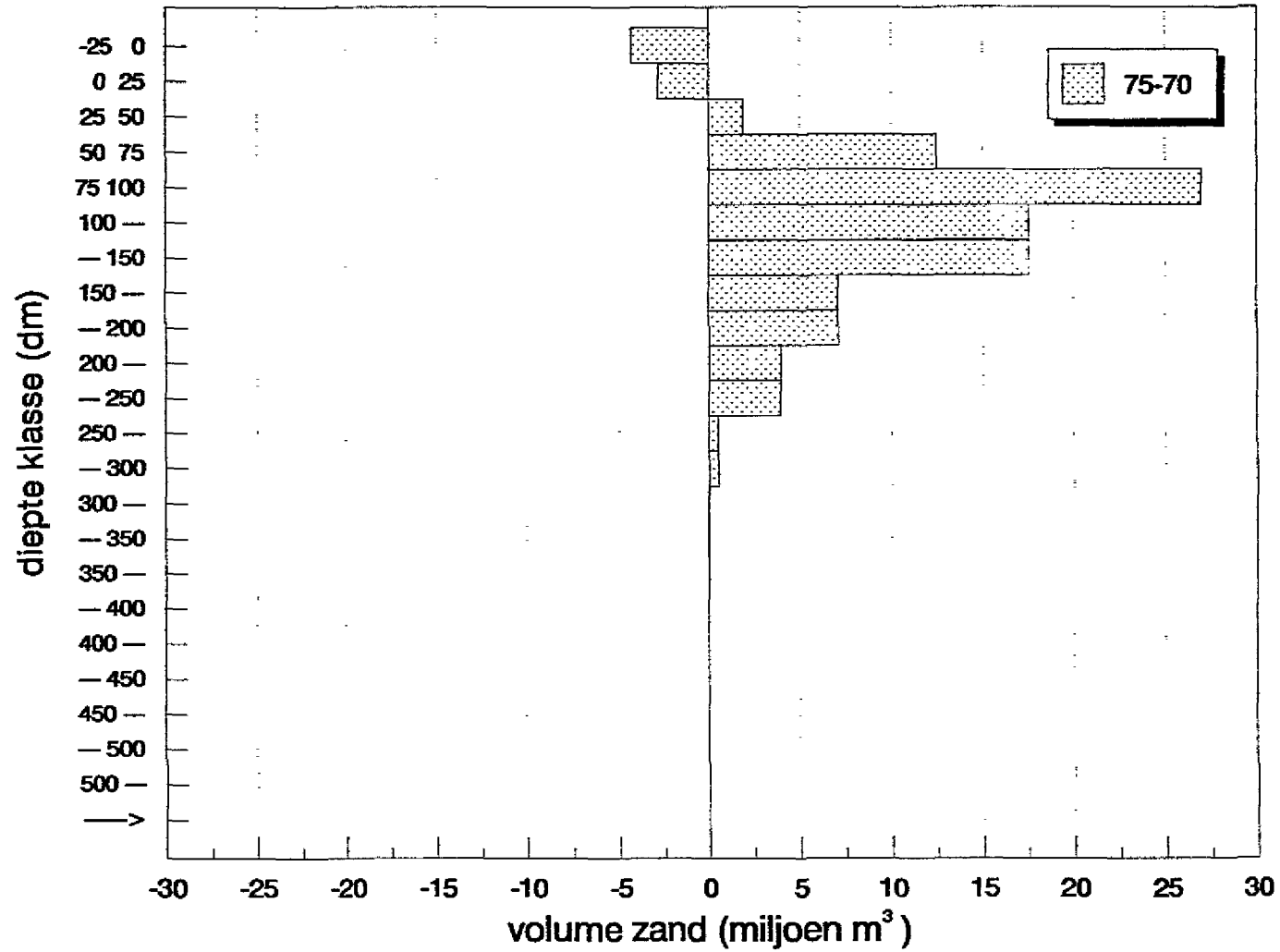
**Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
totaal estuarium tot debietraai Vlissingen**



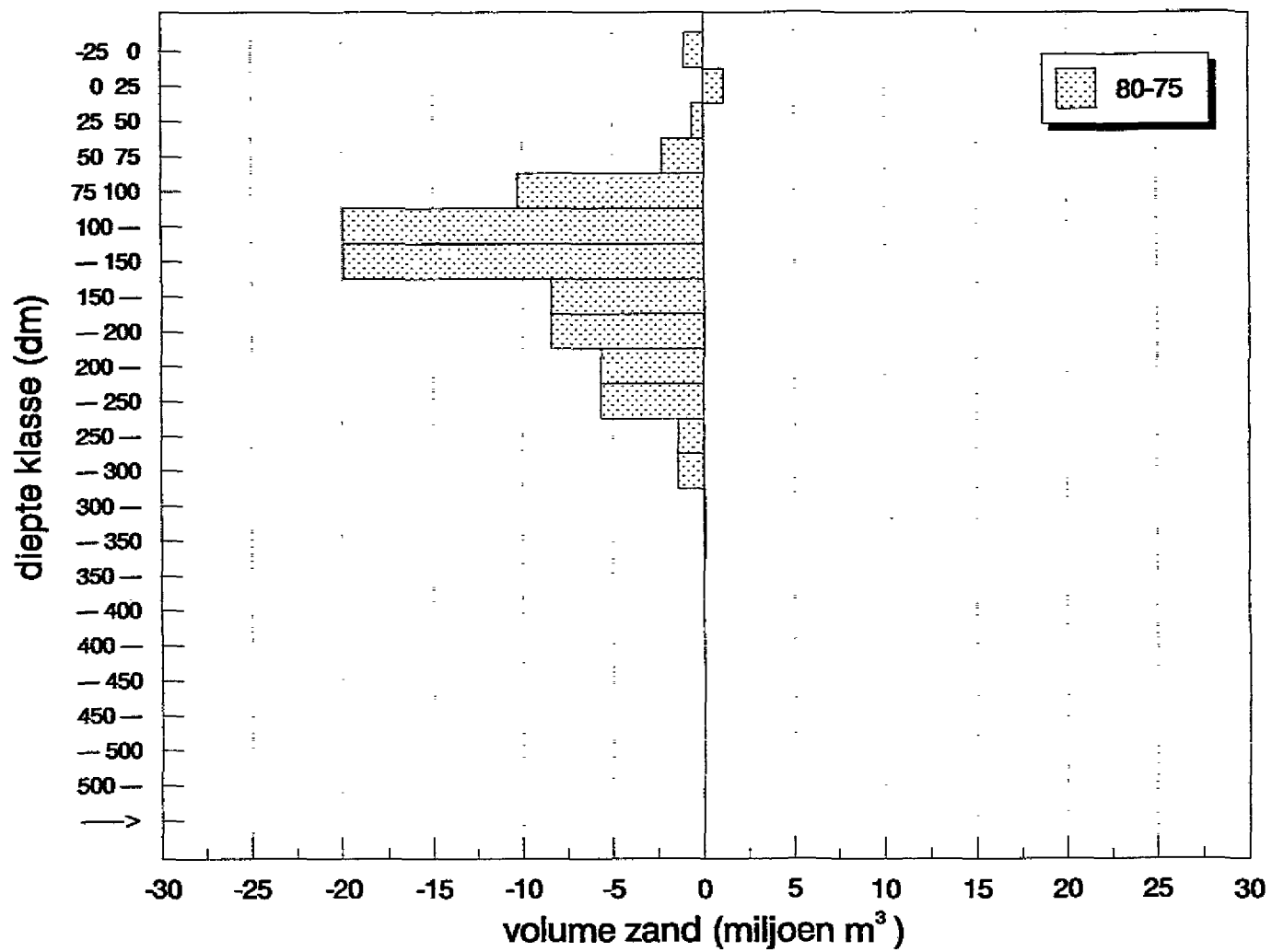
### Veranderingen zandvolume naar dieptezone totaal estuarium tot debietraal Vlissingen



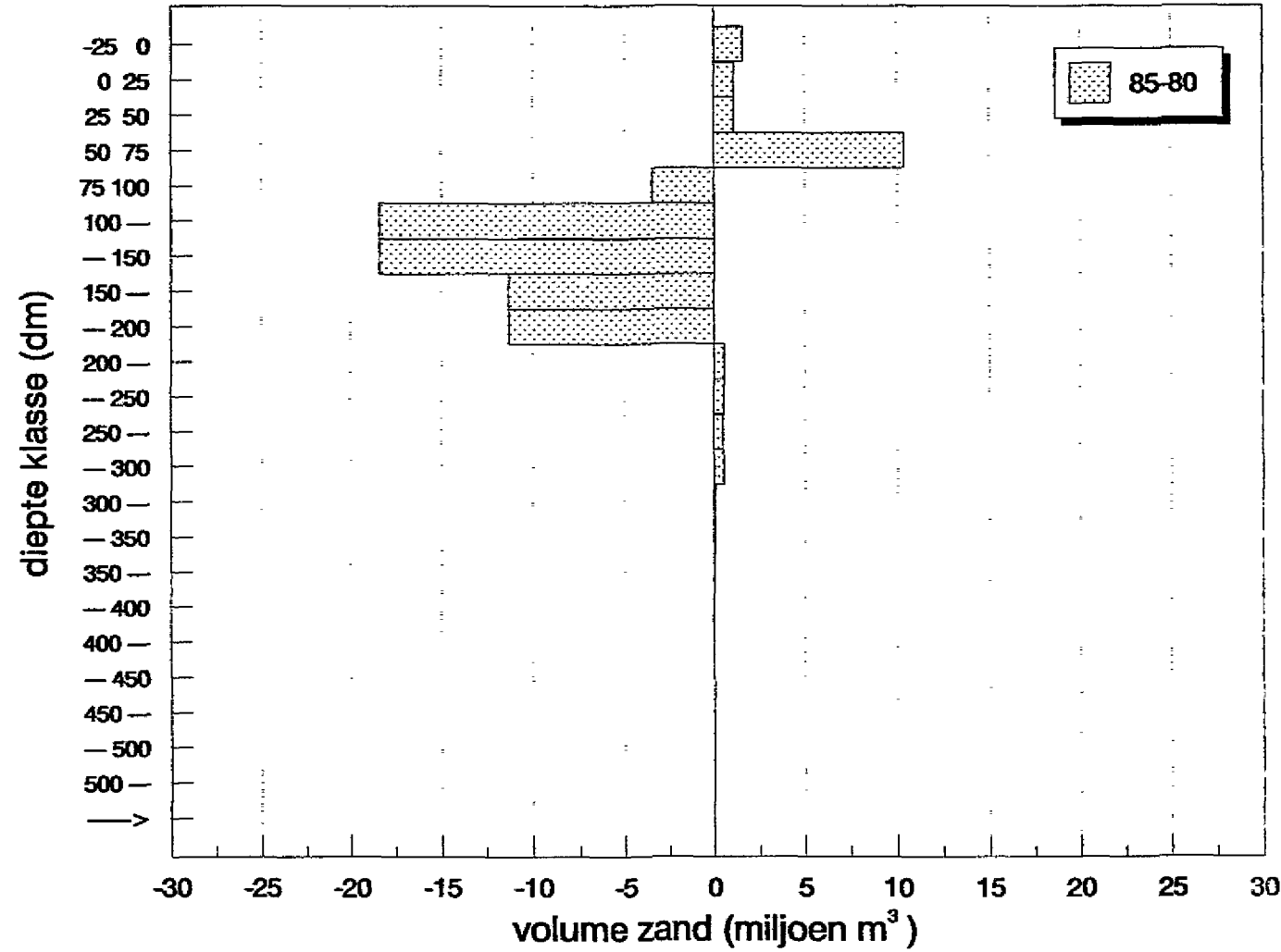
### Veranderingen zandvolume naar dieptezone totaal eb-getijdedelta Westerschelde



### Veranderingen zandvolume naar dieptezone totaal eb-getidedelta Westerschelde

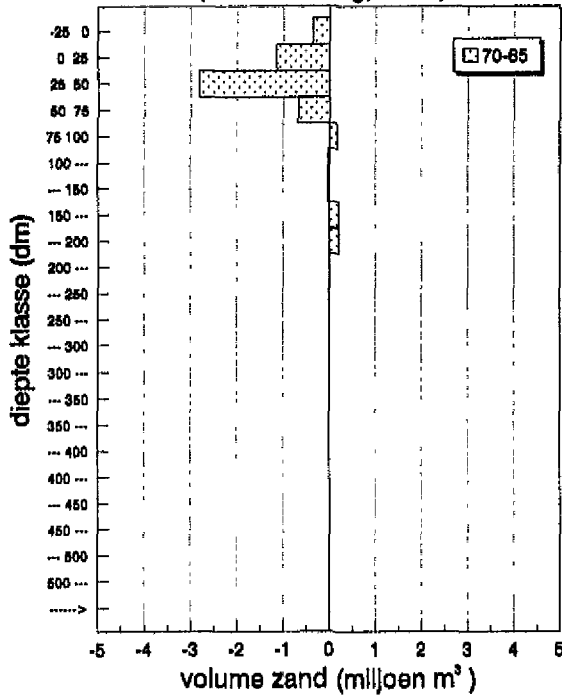


### Veranderingen zandvolume naar dieptezone totaal eb-getijdedelta Westerschelde

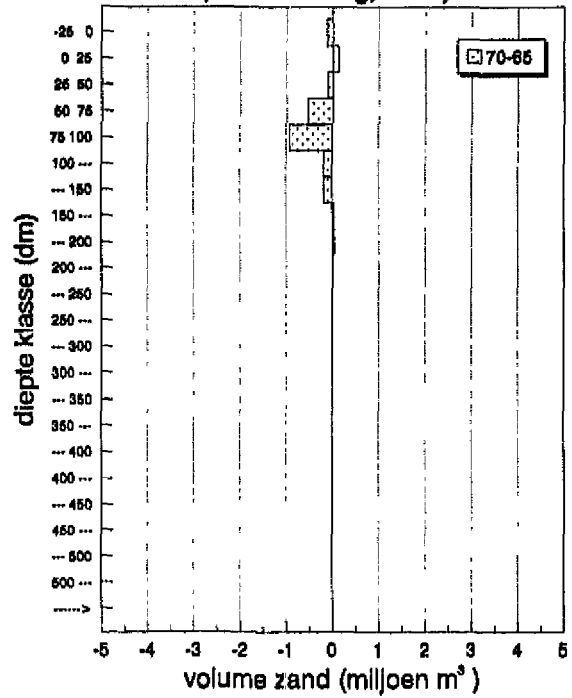


# Bijlage C

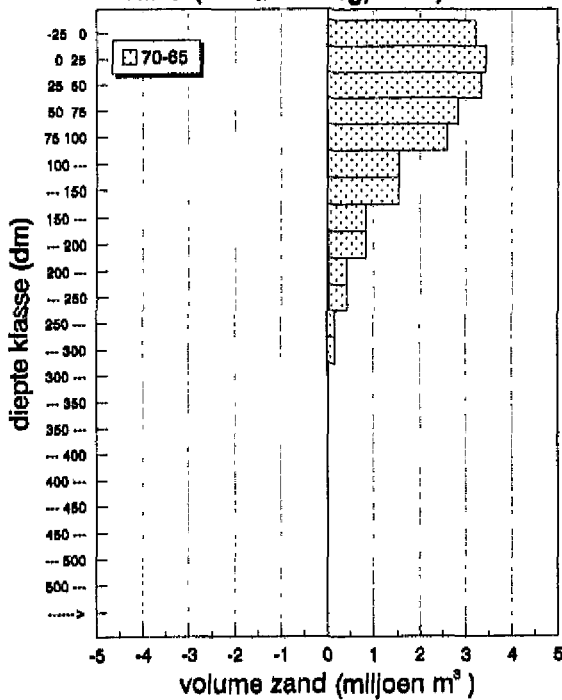
Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 1 (van den Berg, 1991)



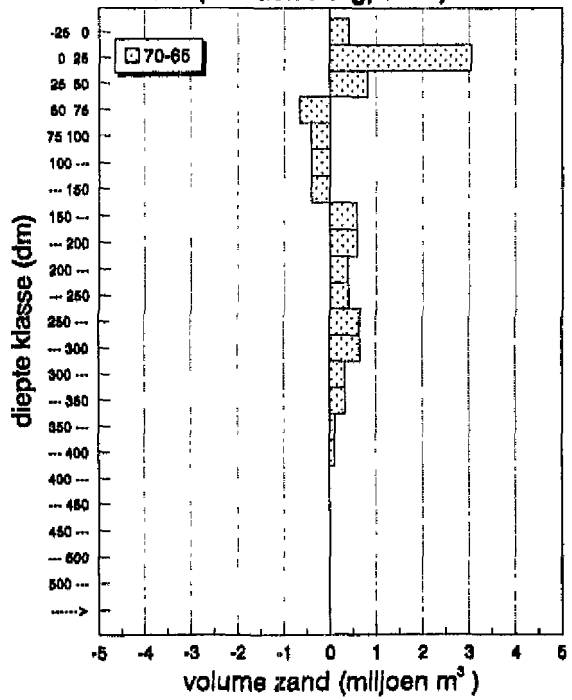
Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 2 (van den Berg, 1991)



Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 3 (van den Berg, 1991)

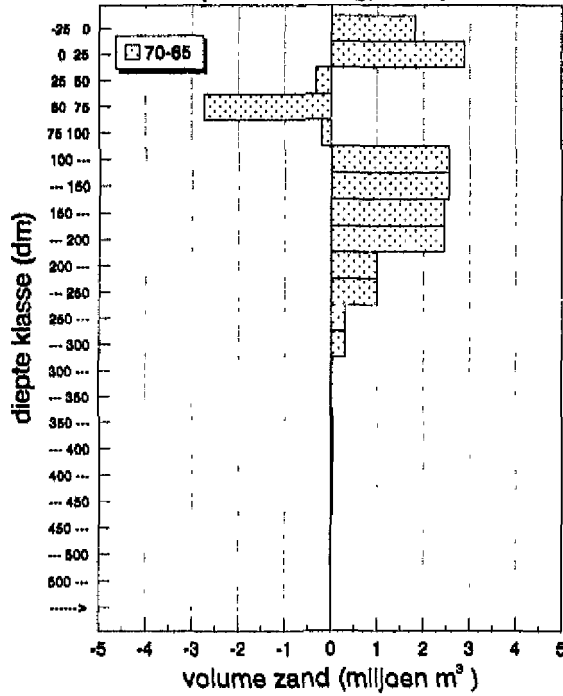


Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 4 (van den Berg, 1991)

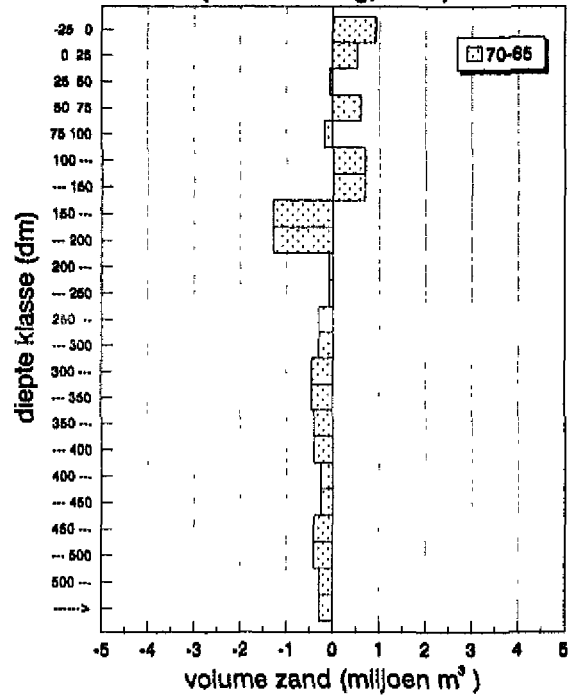


# Bijlage C

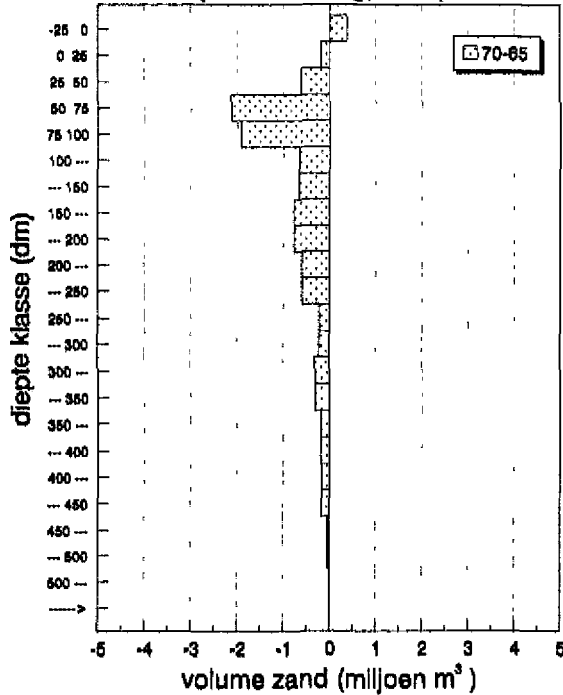
**Veranderingen zandvolume naar dieptezone vak 5 (van den Berg, 1991)**



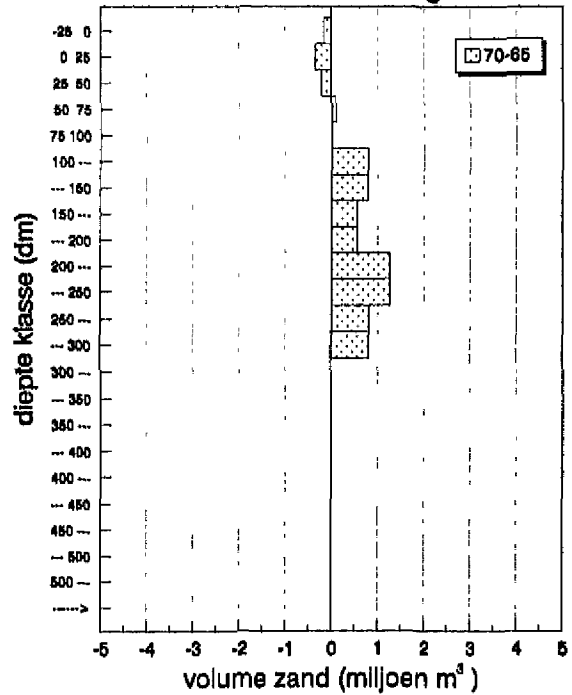
**Veranderingen zandvolume naar dieptezone vak 6 (van den Berg, 1991)**



**Veranderingen zandvolume naar dieptezone vak 7 (van den Berg, 1991)**

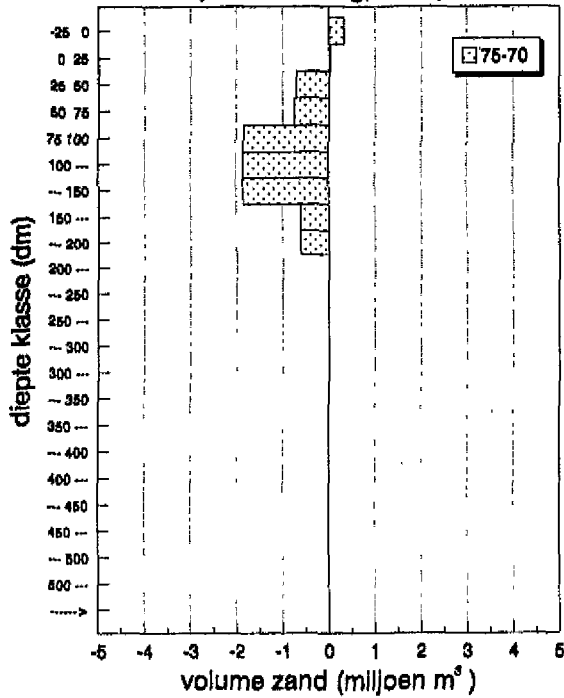


**Veranderingen zandvolume naar dieptezone vak 8 tot debetraal Vlissingen**

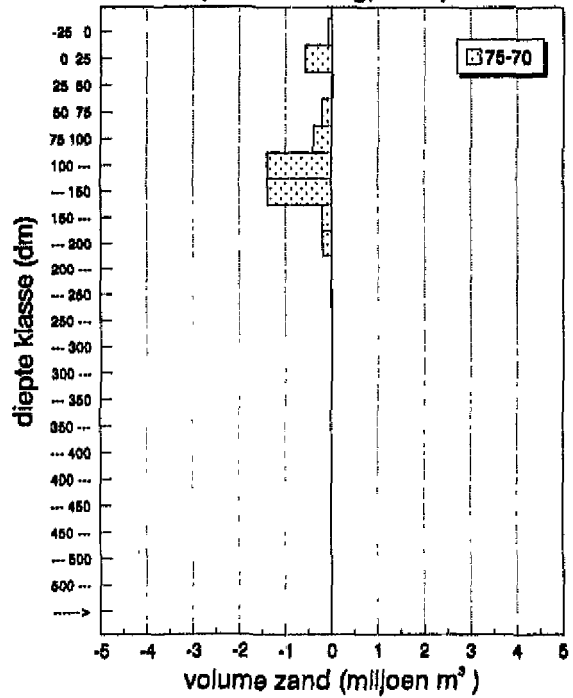


# Bijlage C

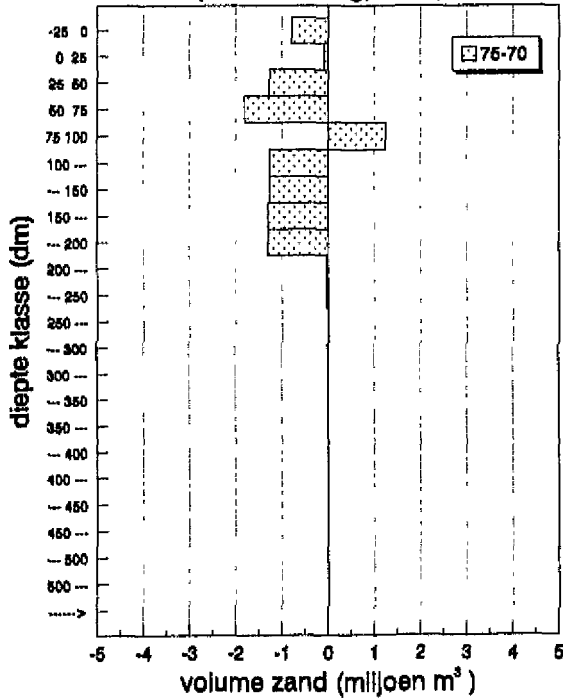
**Veranderingen zandvolume naar dieptezone vak 1 (van den Berg, 1991)**



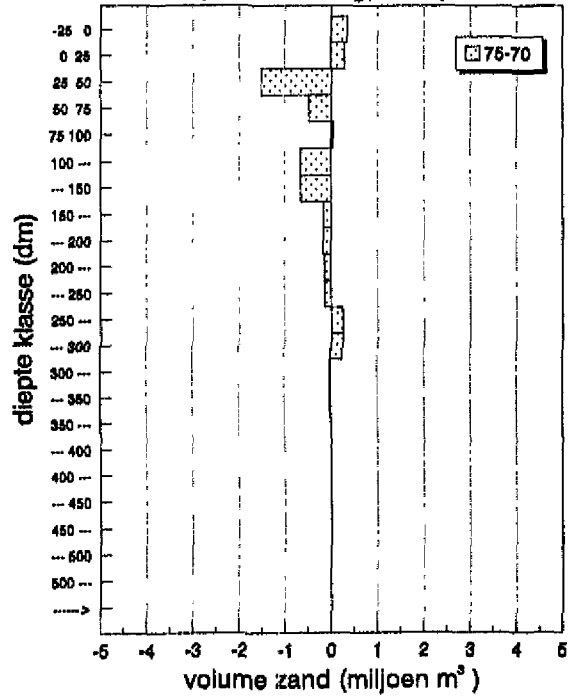
**Veranderingen zandvolume naar dieptezone vak 2 (van den Berg, 1991)**



**Veranderingen zandvolume naar dieptezone vak 3 (van den Berg, 1991)**



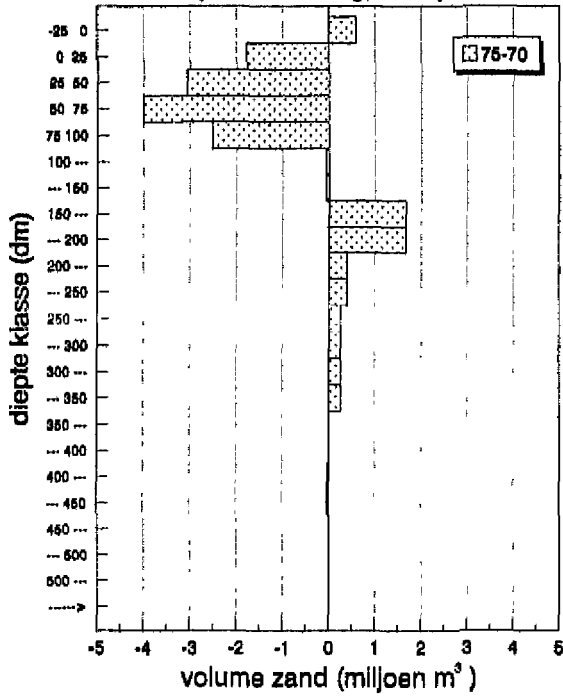
**Veranderingen zandvolume naar dieptezone vak 4 (van den Berg, 1991)**



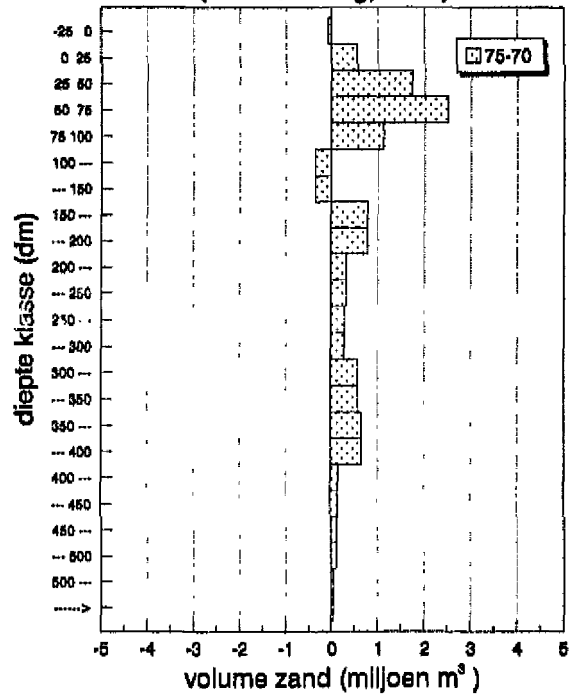


# Bijlage C

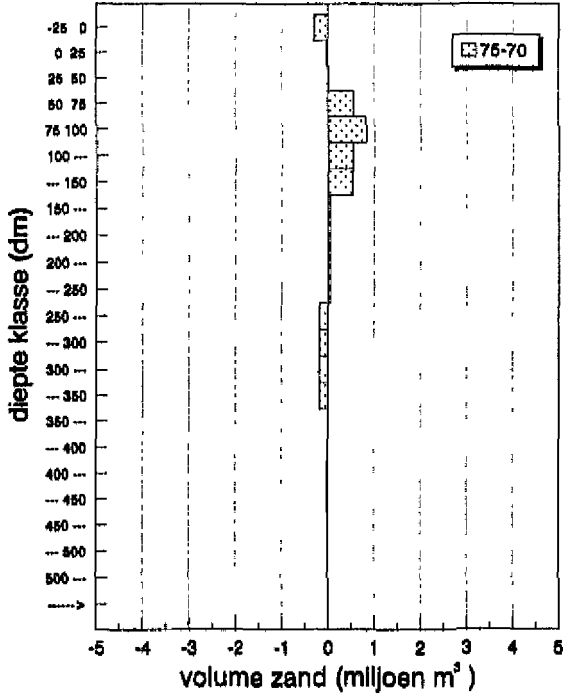
**Veranderingen zandvolume naar dieptezone vak 5 (van den Berg, 1991)**



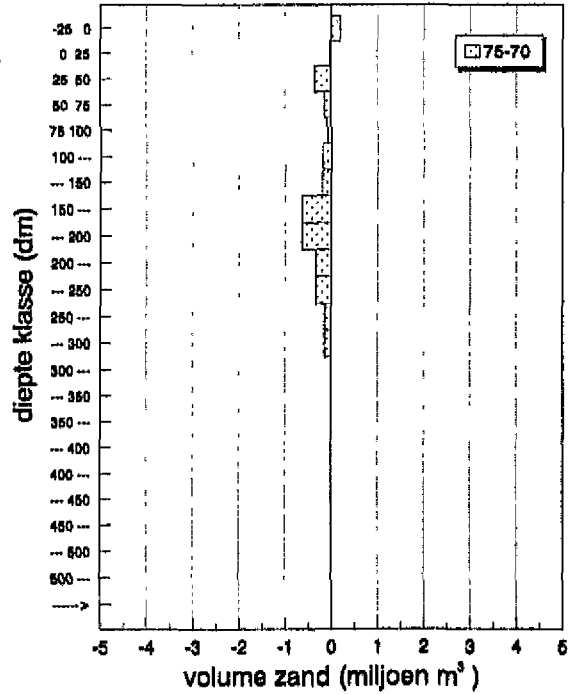
**Veranderingen zandvolume naar dieptezone vak 6 (van den Berg, 1991)**



**Veranderingen zandvolume naar dieptezone vak 7 (van den Berg, 1991)**

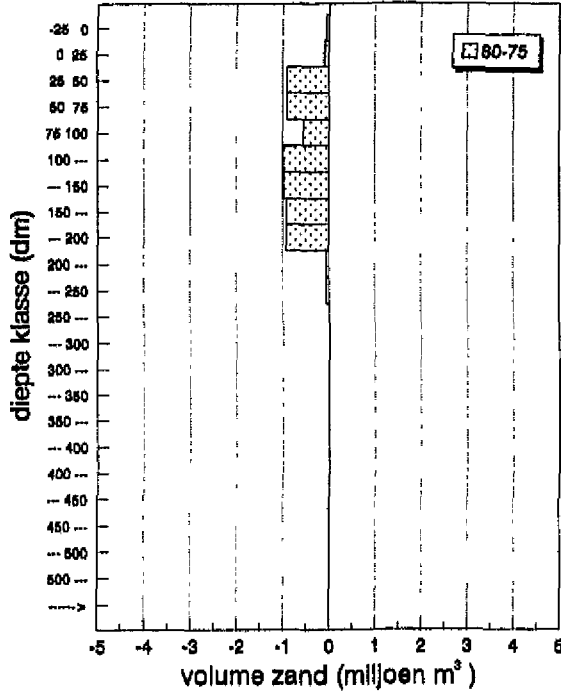


**Veranderingen zandvolume naar dieptezone vak 8 tot debeltraal Vilssingen**

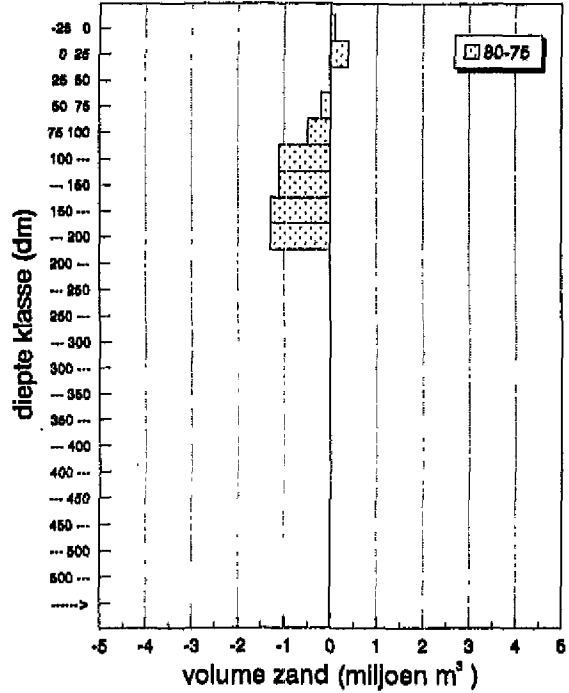


# Bijlage C

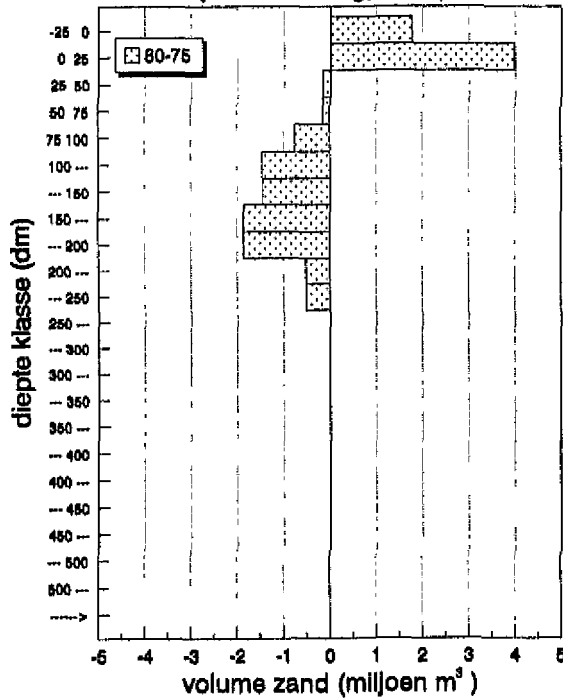
**Veranderingen zandvolume naar dieptezone vak 1 (van den Berg, 1991)**



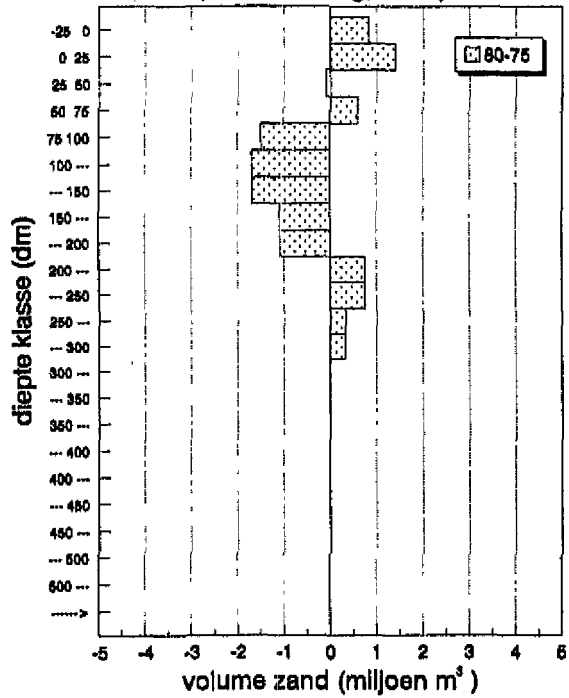
**Veranderingen zandvolume naar dieptezone vak 2 (van den Berg, 1991)**



**Veranderingen zandvolume naar dieptezone vak 3 (van den Berg, 1991)**

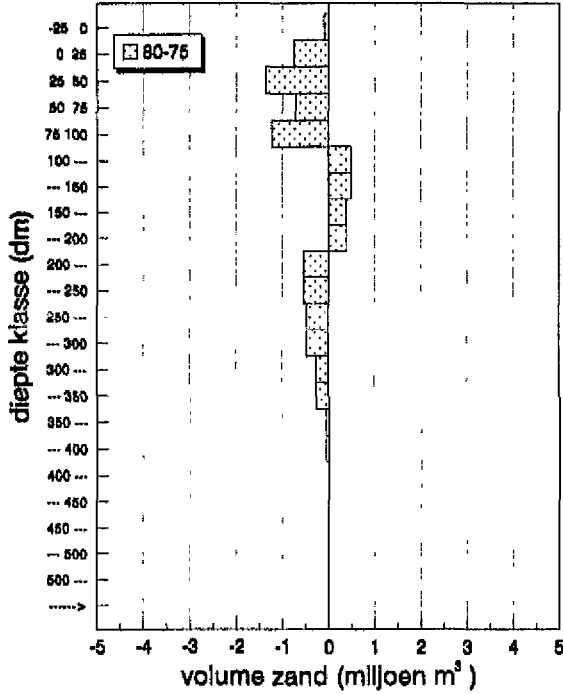


**Veranderingen zandvolume naar dieptezone vak 4 (van den Berg, 1991)**

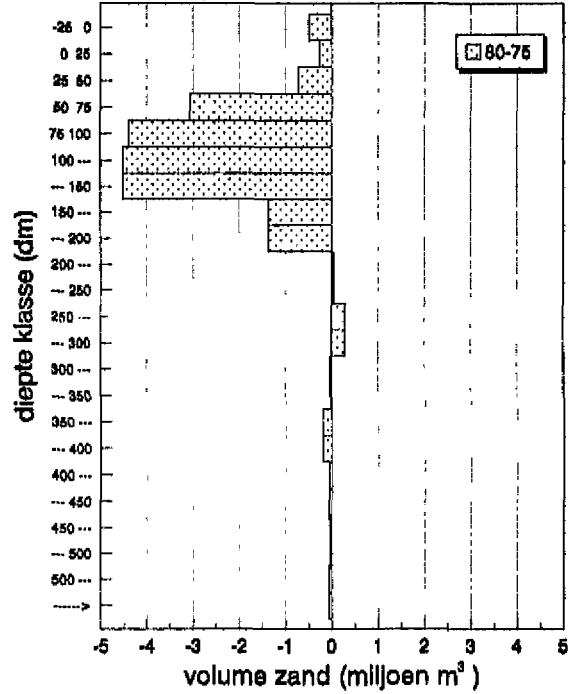


# Bijlage C

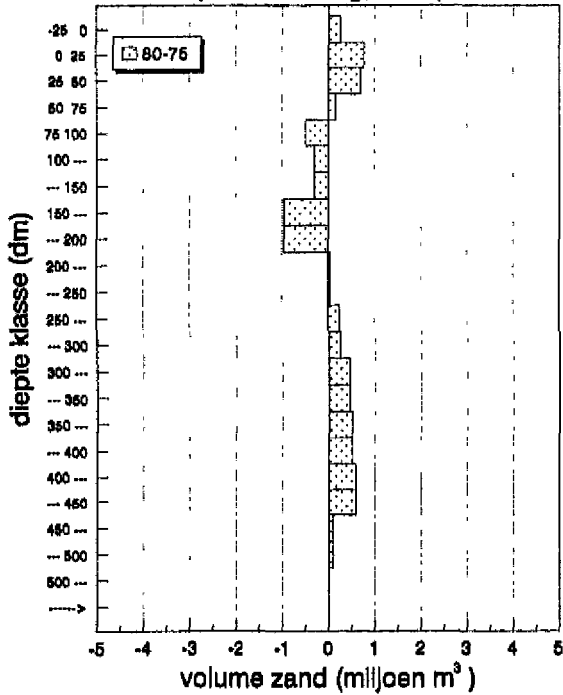
**Veranderingen zandvolume naar dieptezone vak 5 (van den Berg, 1991)**



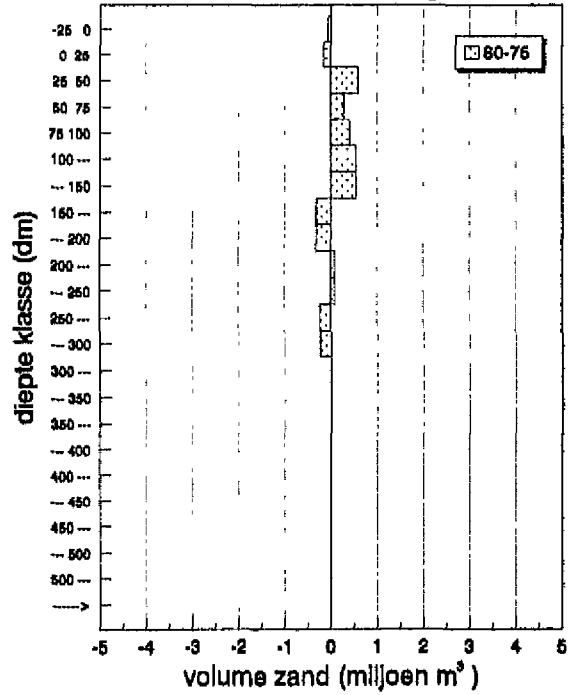
**Veranderingen zandvolume naar dieptezone vak 6 (van den Berg, 1991)**



**Veranderingen zandvolume naar dieptezone vak 7 (van den Berg, 1991)**

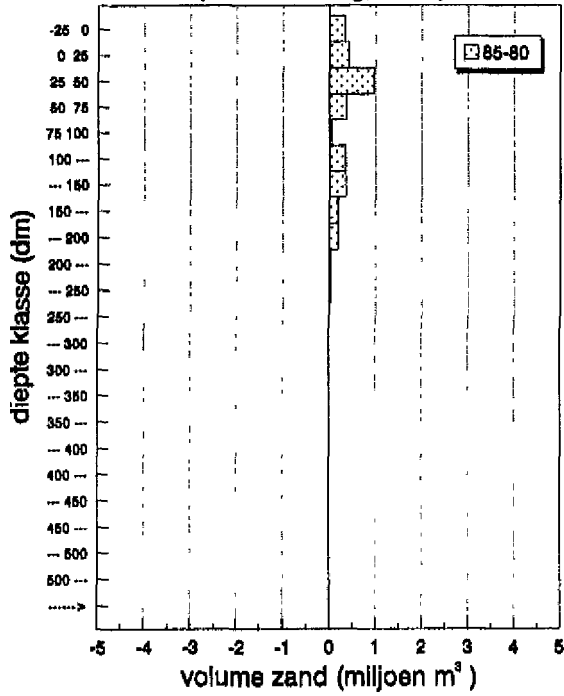


**Veranderingen zandvolume naar dieptezone vak 8 tot debeltraal Vlissingen**

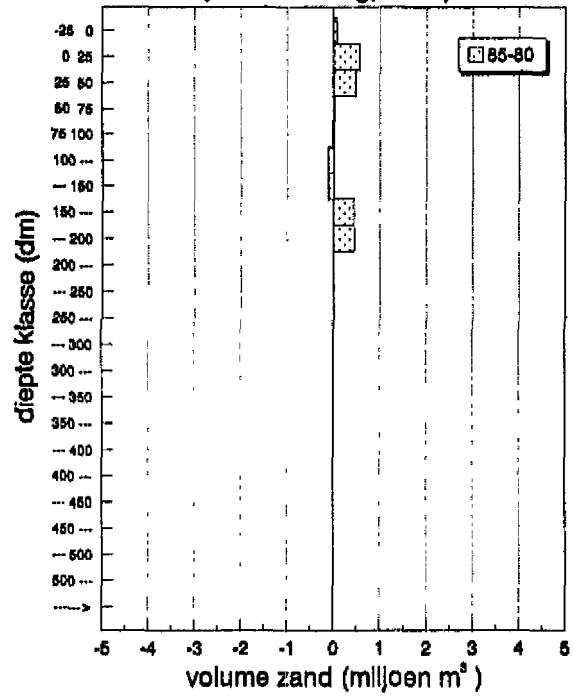


# Bijlage C

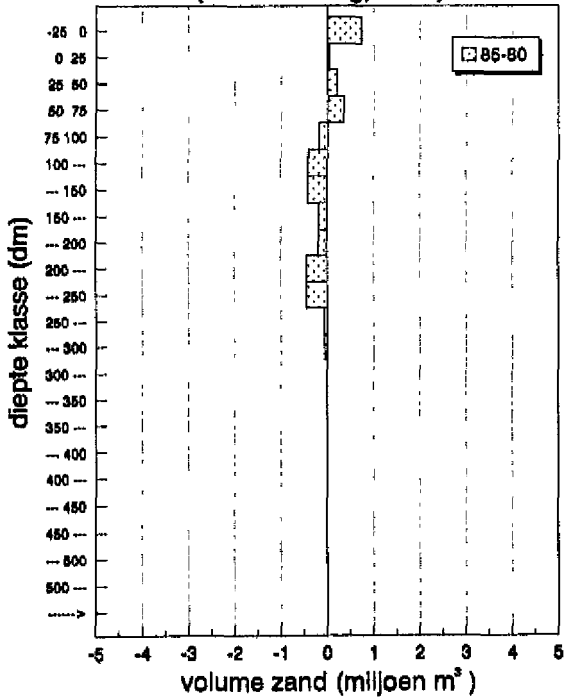
Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 1 (van den Berg, 1991)



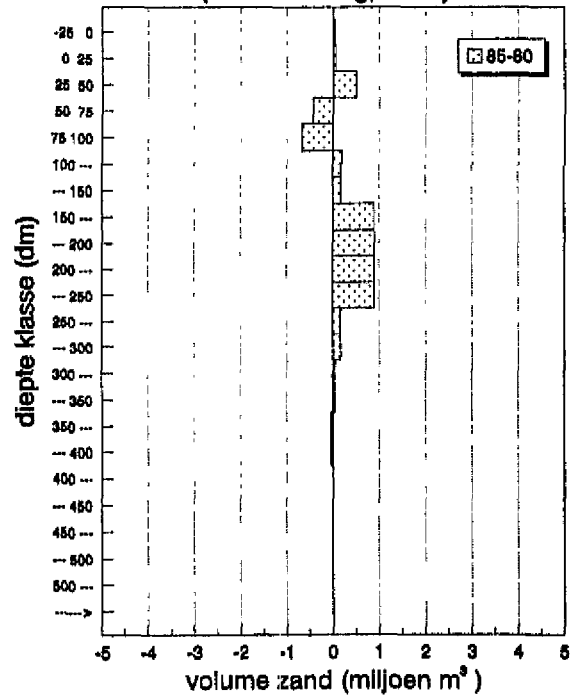
Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 2 (van den Berg, 1991)



Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 3 (van den Berg, 1991)

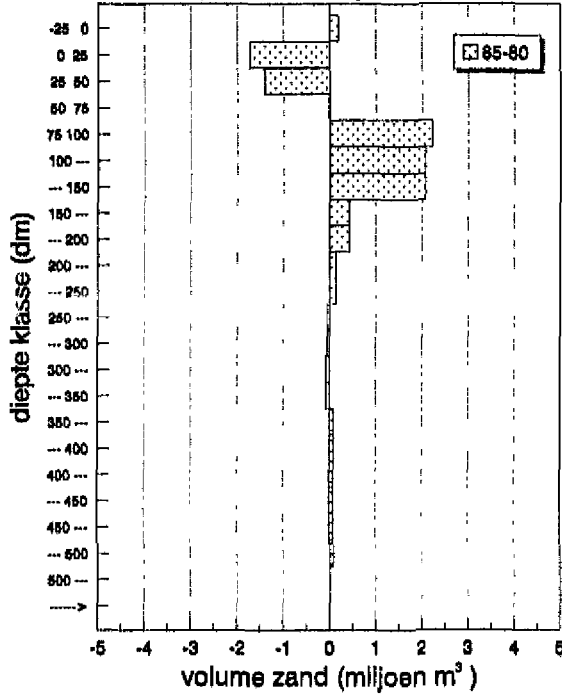


Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 4 (van den Berg, 1991)

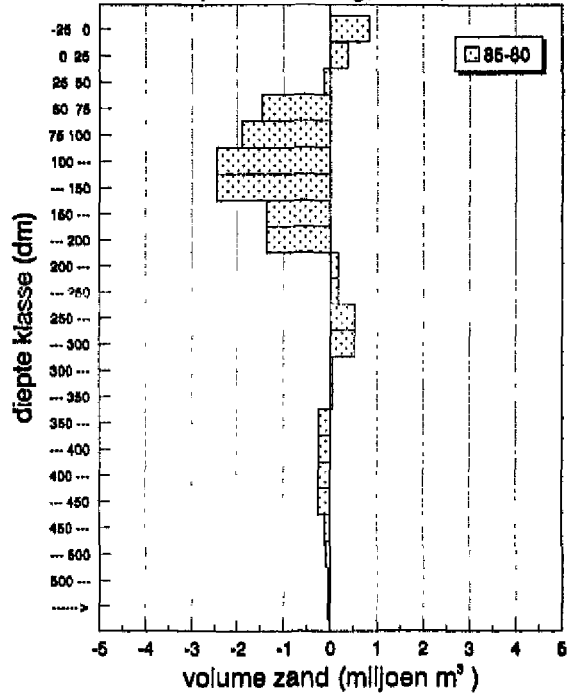


# Bijlage C

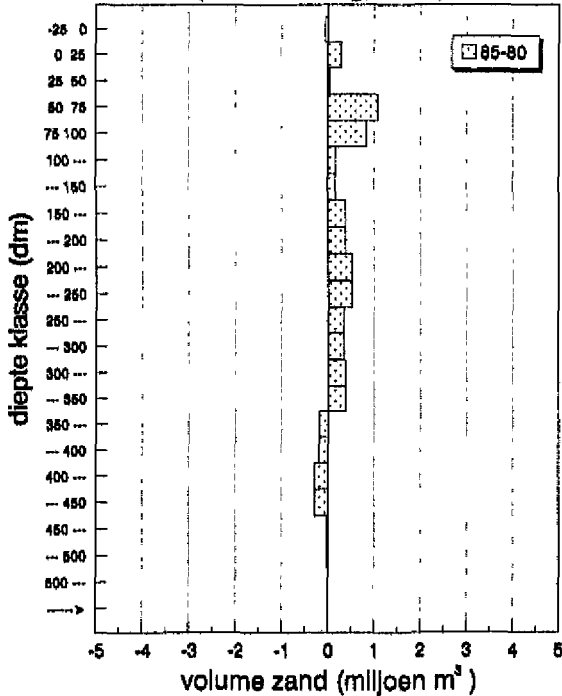
**Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 5 (van den Berg, 1991)**



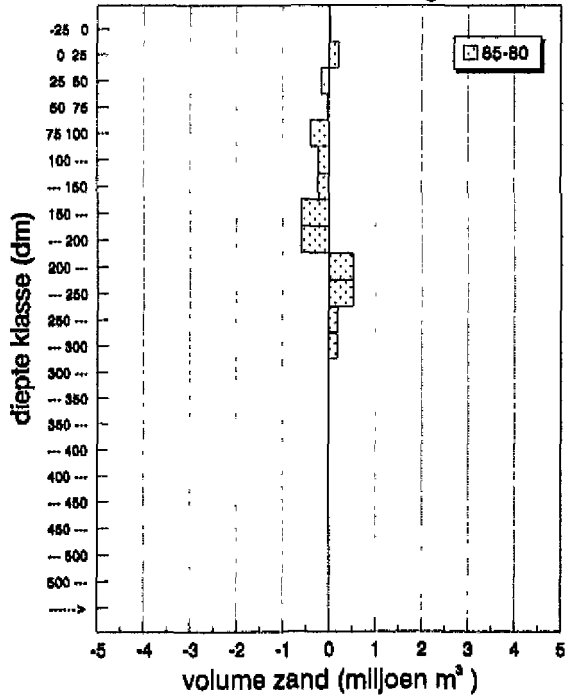
**Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 6 (van den Berg, 1991)**



**Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 7 (van den Berg, 1991)**

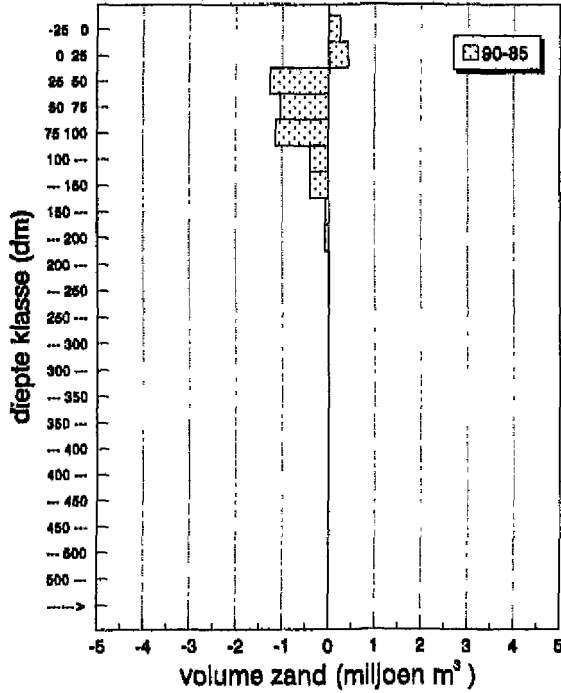


**Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 8 tot debietraal Vlissingen**

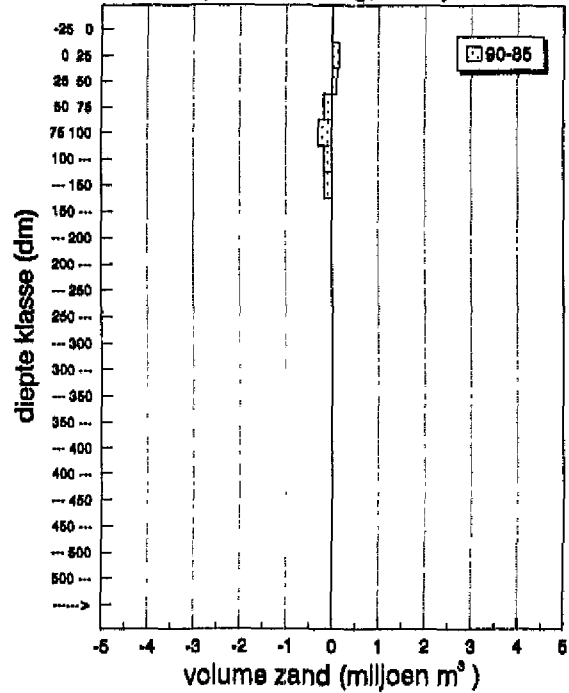


# Bijlage C

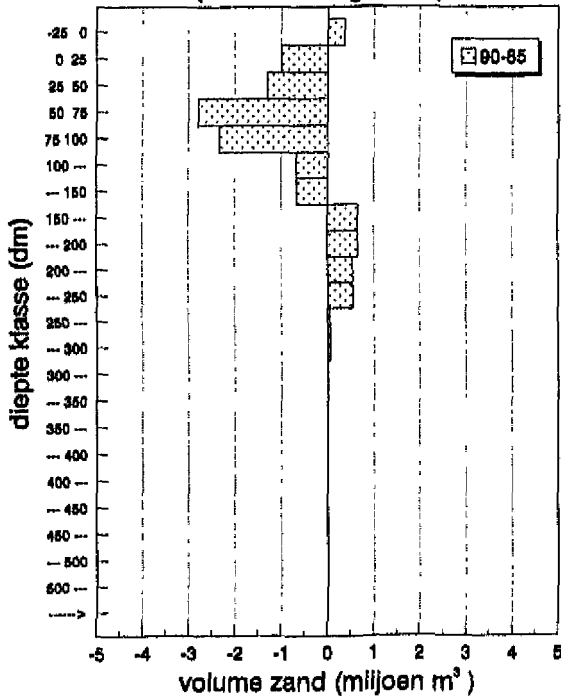
**Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 1 (van den Berg, 1991)**



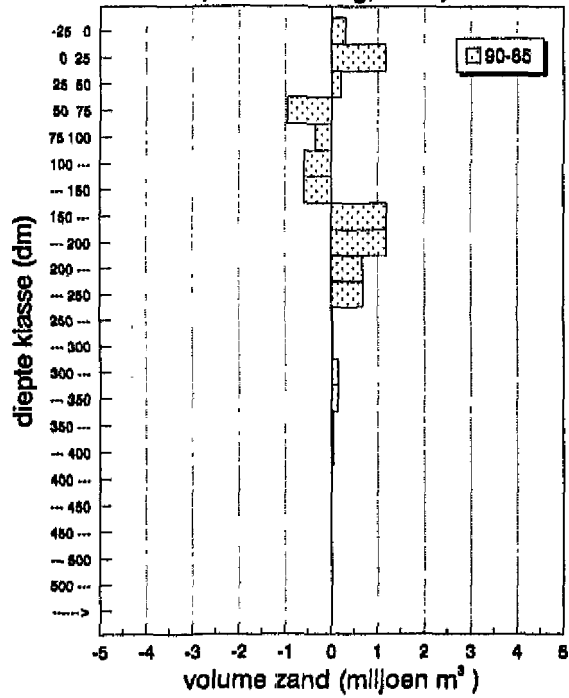
**Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 2 (van den Berg, 1991)**



**Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 3 (van den Berg, 1991)**

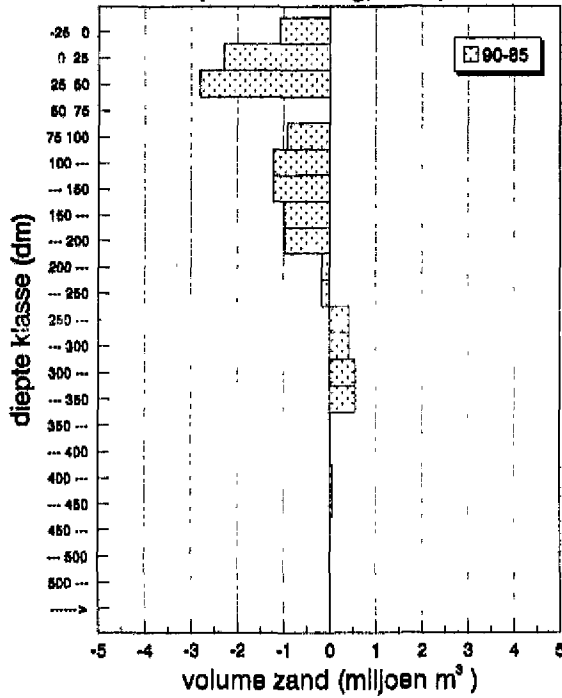


**Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 4 (van den Berg, 1991)**

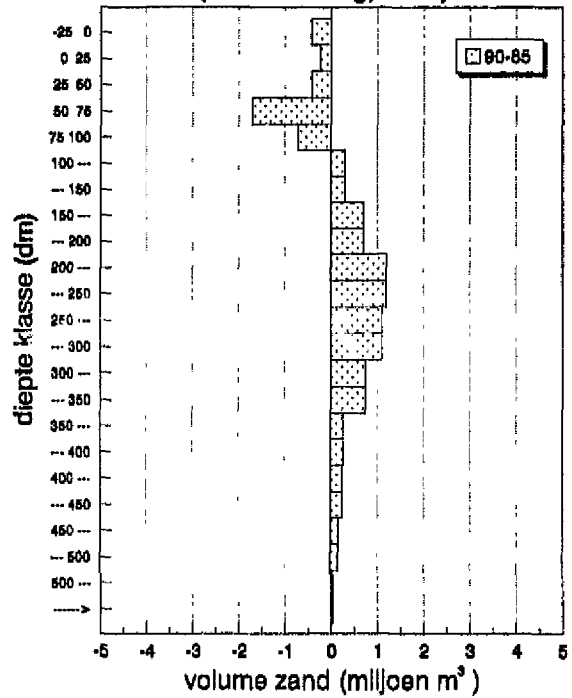


# Bijlage C

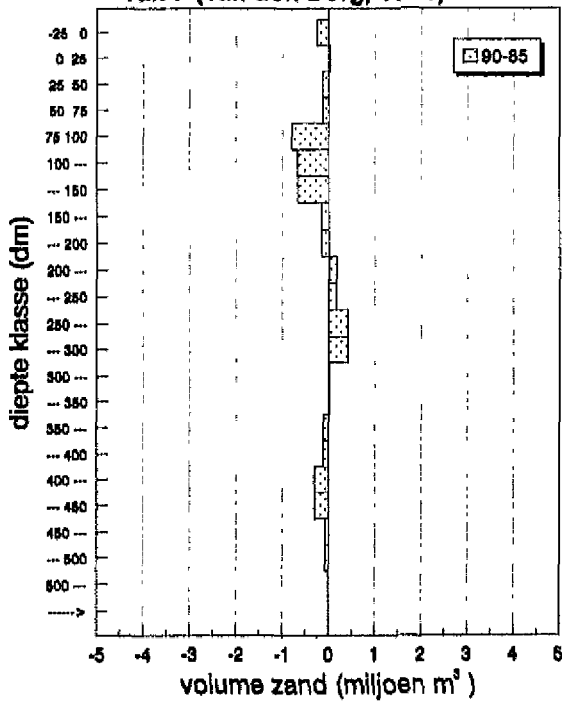
Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 5 (van den Berg, 1991)



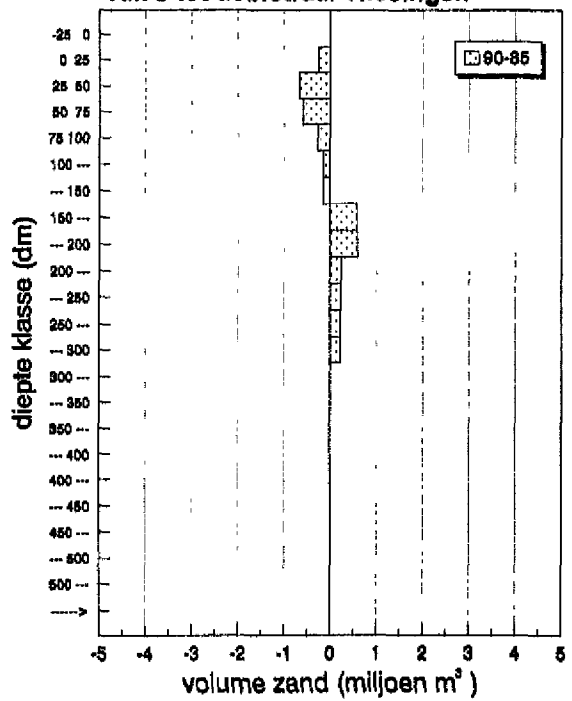
Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 6 (van den Berg, 1991)



Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 7 (van den Berg, 1991)

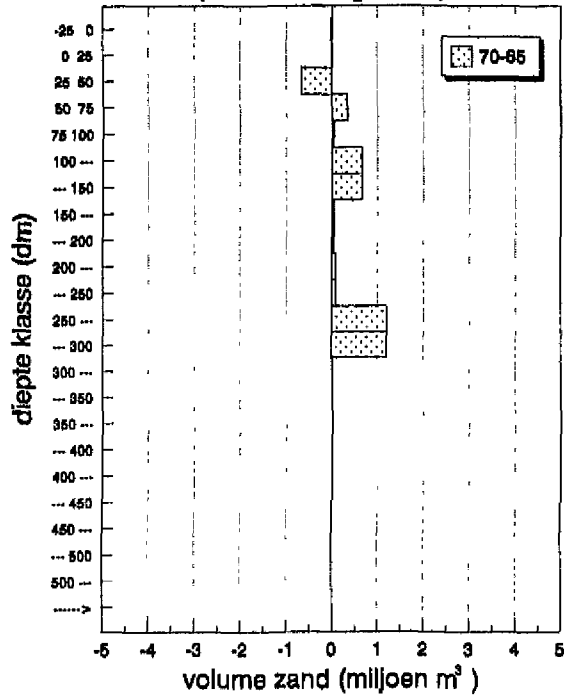


Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 8 tot de bleetraal Vlissingen

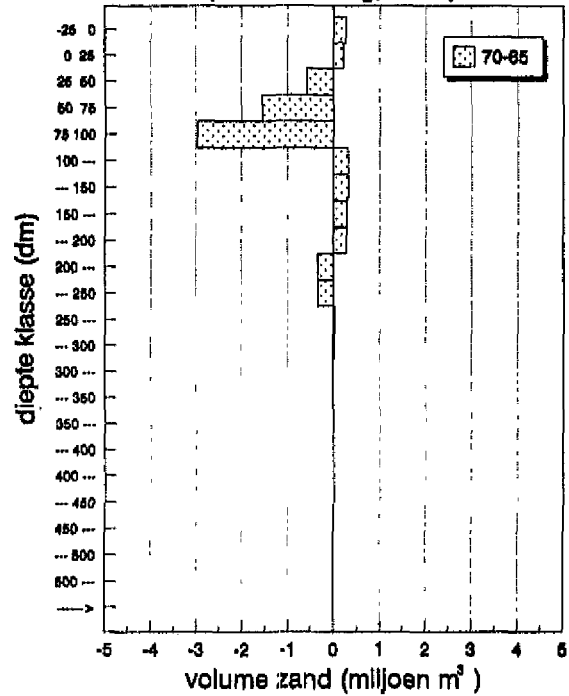


# Bijlage D

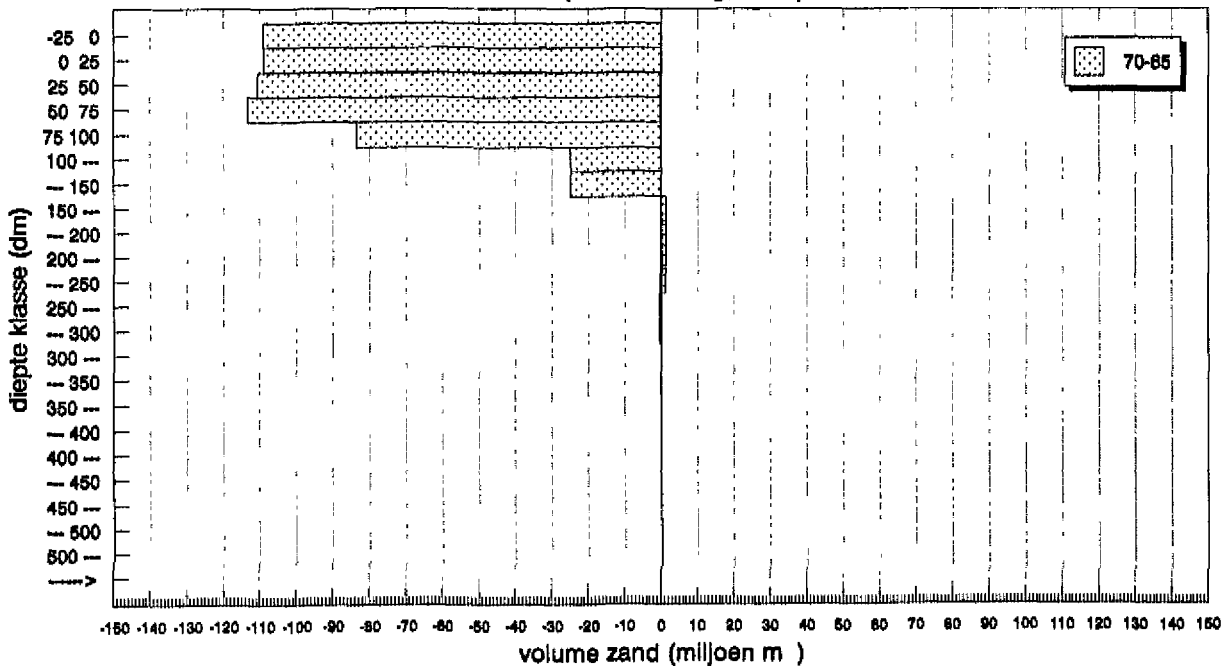
**Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 9 (van den Berg, 1991)**



**Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 10 (van den Berg, 1991)**



**Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 501-517 (van den Berg, 1991)**

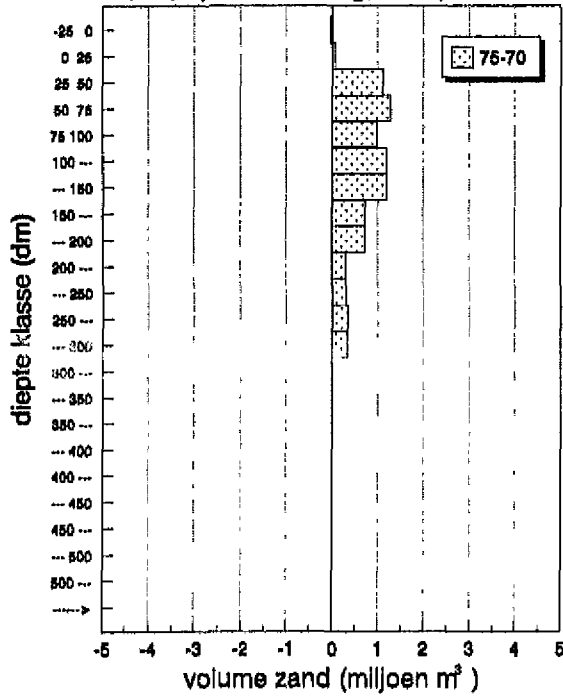


De enorme veranderingen zijn het gevolg van een andere vakgrootte in 1985

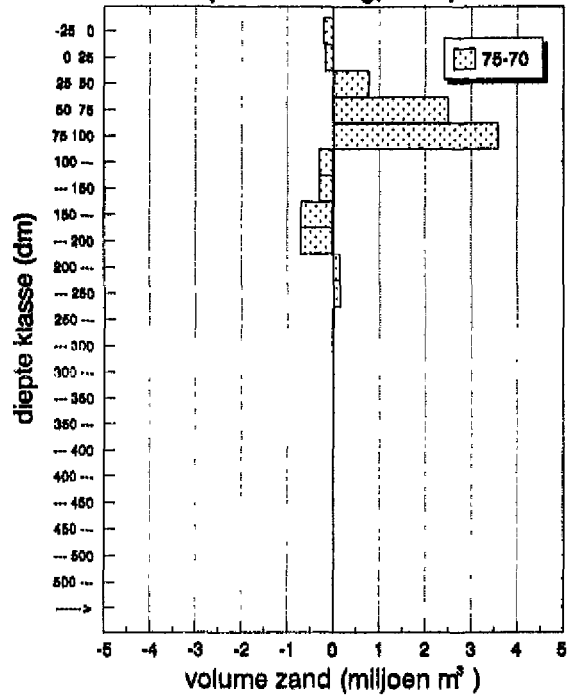


# Bijlage D

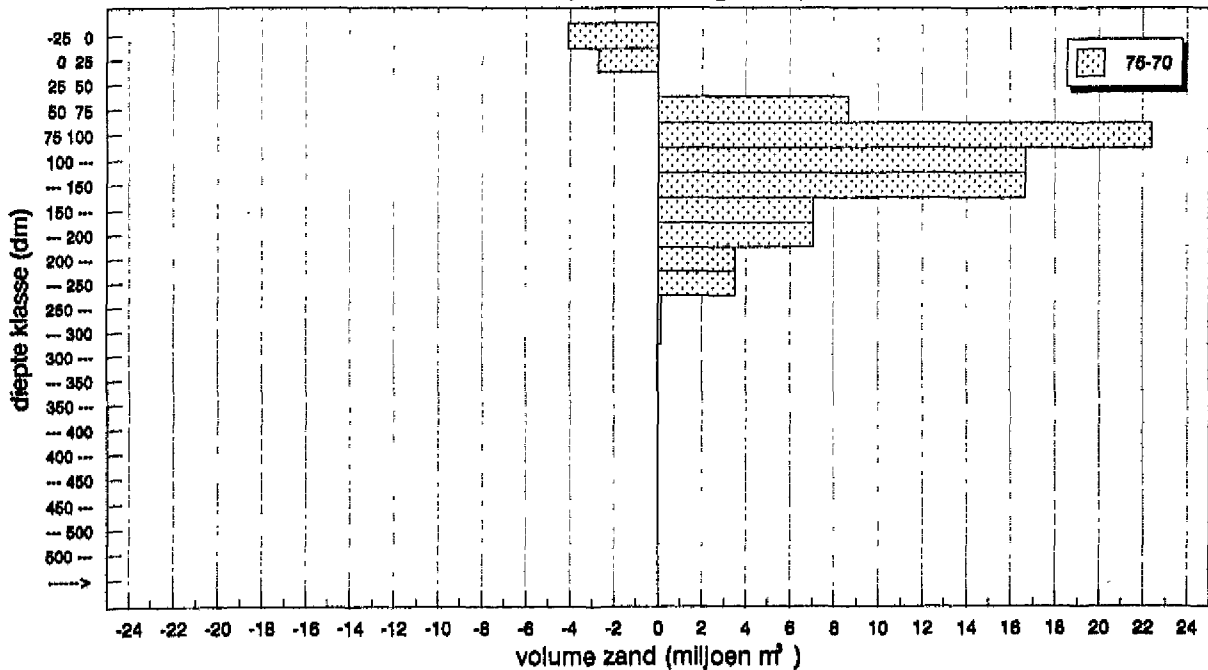
**Veranderingen zandvolume naar dieptezone vak 9 (van den Berg, 1991)**



**Veranderingen zandvolume naar dieptezone vak 10 (van den Berg, 1991)**



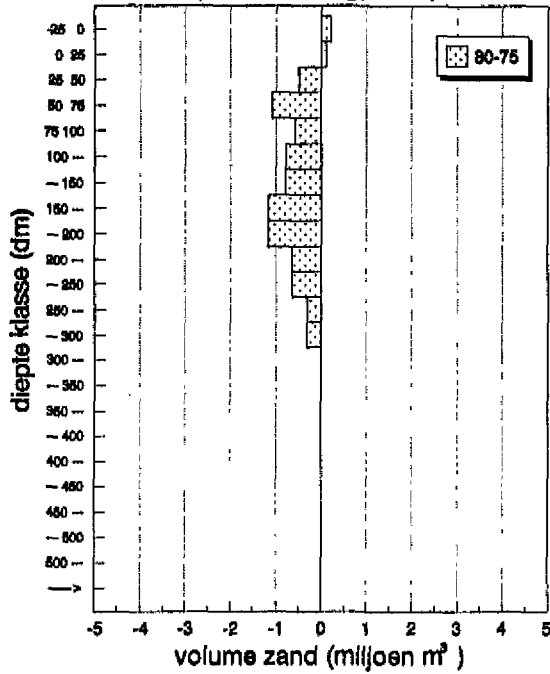
**Veranderingen zandvolume naar dieptezone vak 501-517 (van den Berg, 1991)**



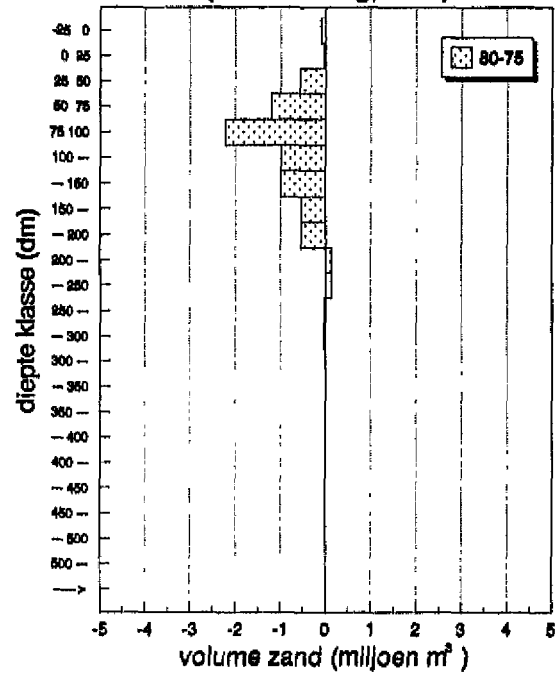
schaal van onderste diagram in kleiner

# Bijlage D

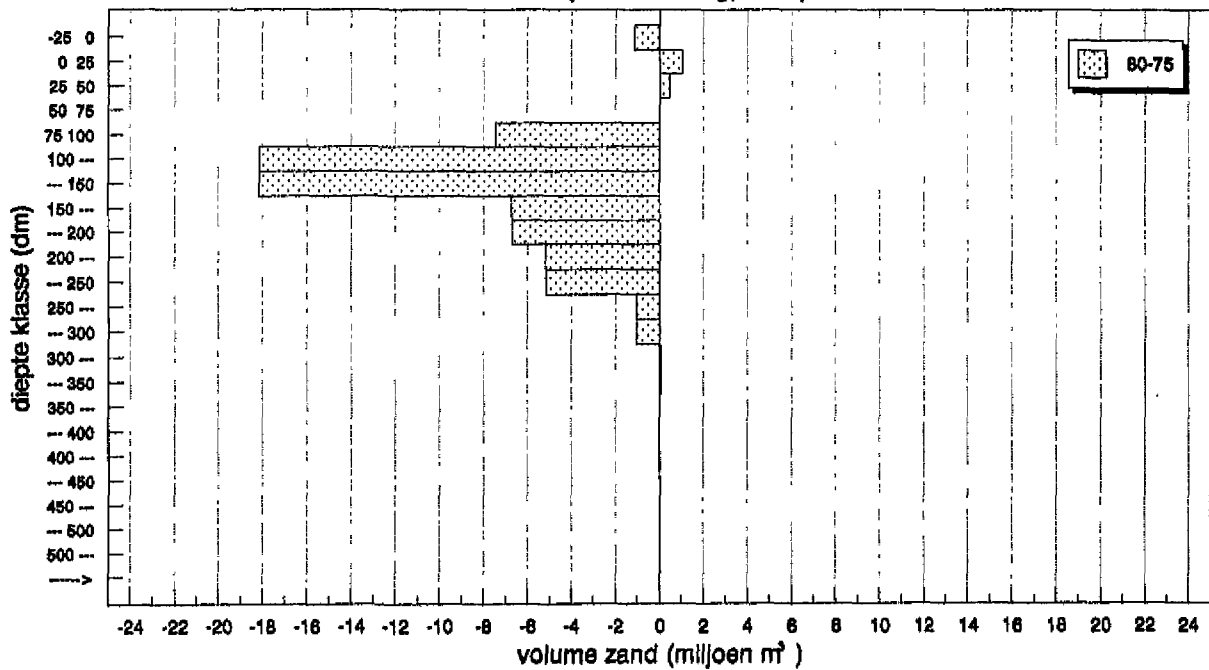
**Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 9 (van den Berg, 1991)**



**Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 10 (van den Berg, 1991)**

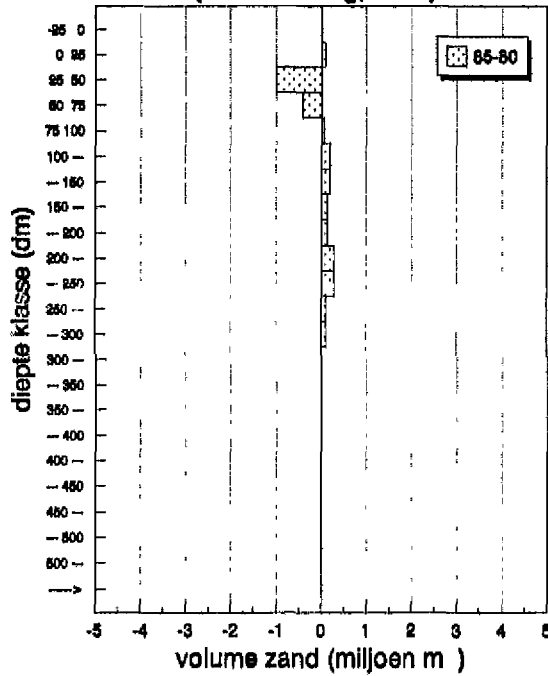


**Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 501-517 (van den Berg, 1991)**

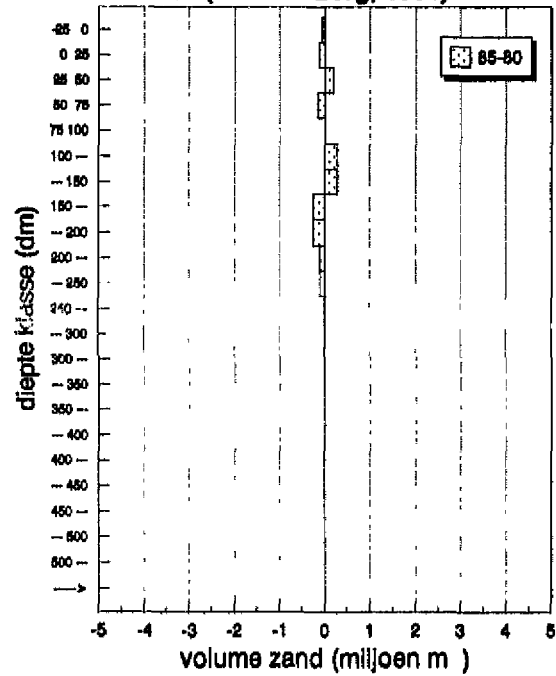


schaal van onderste diagram in kleiner

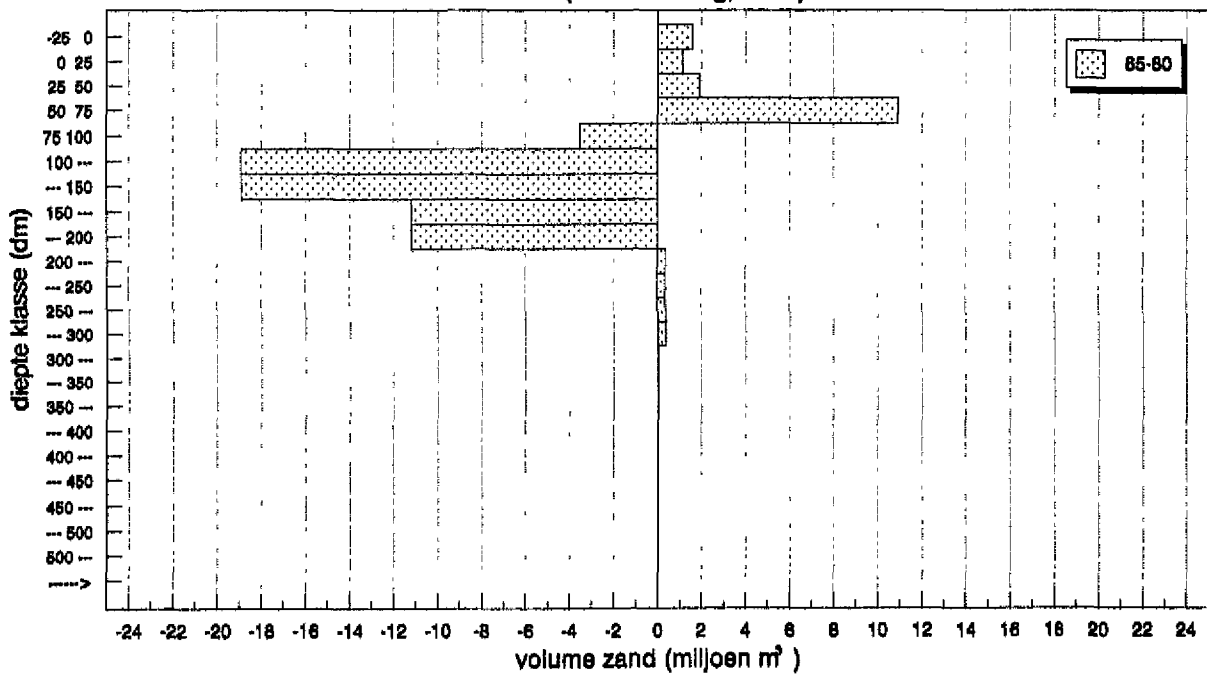
**Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 9 (van den Berg, 1991)**



**Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 10 (van den Berg, 1991)**

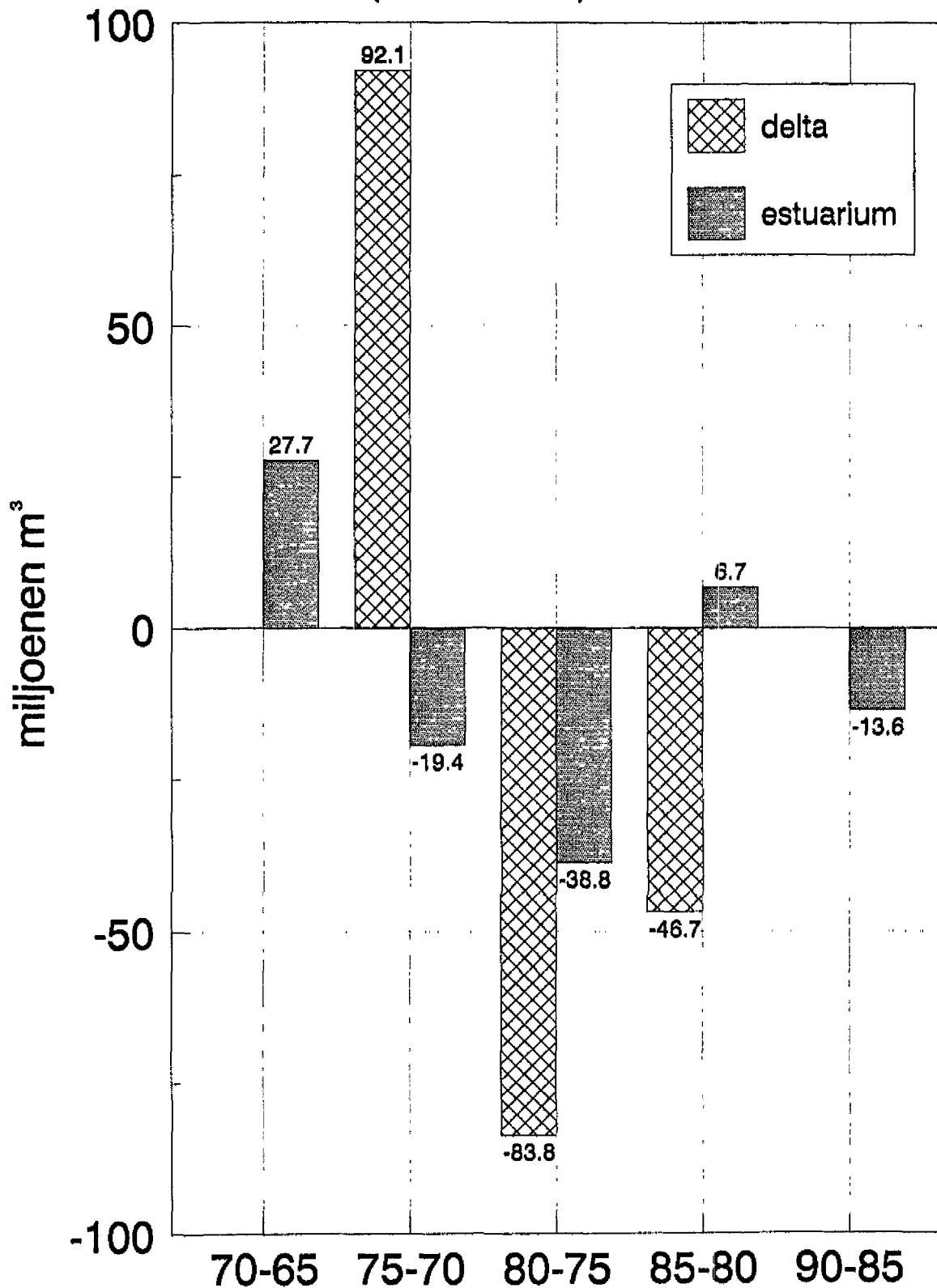


**Veranderingen zandvolume naar dieptezone  
vak 501-517 (van den Berg, 1991)**

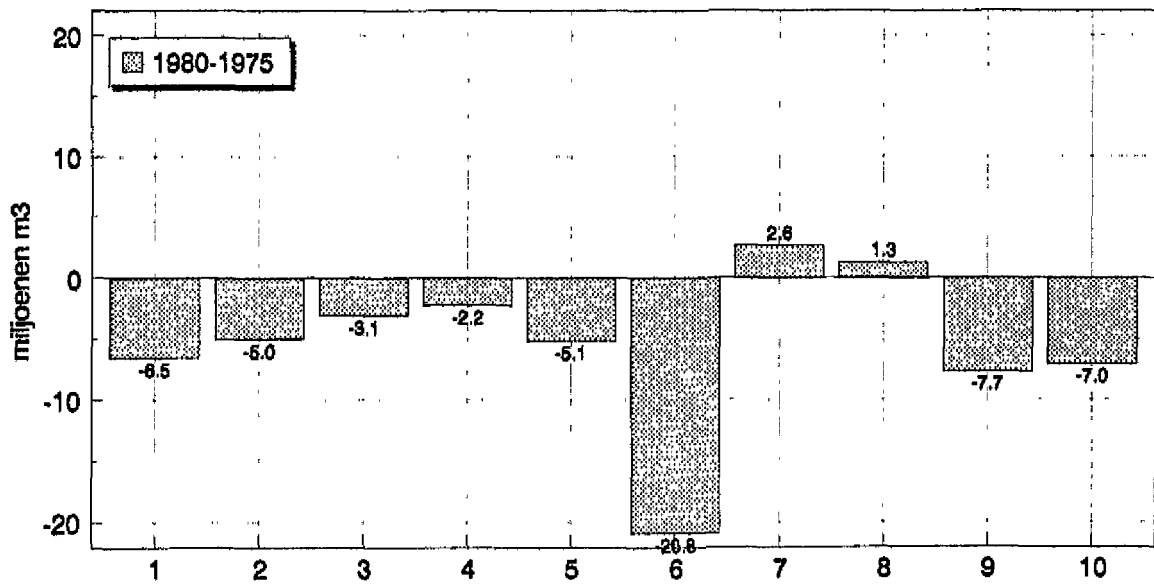
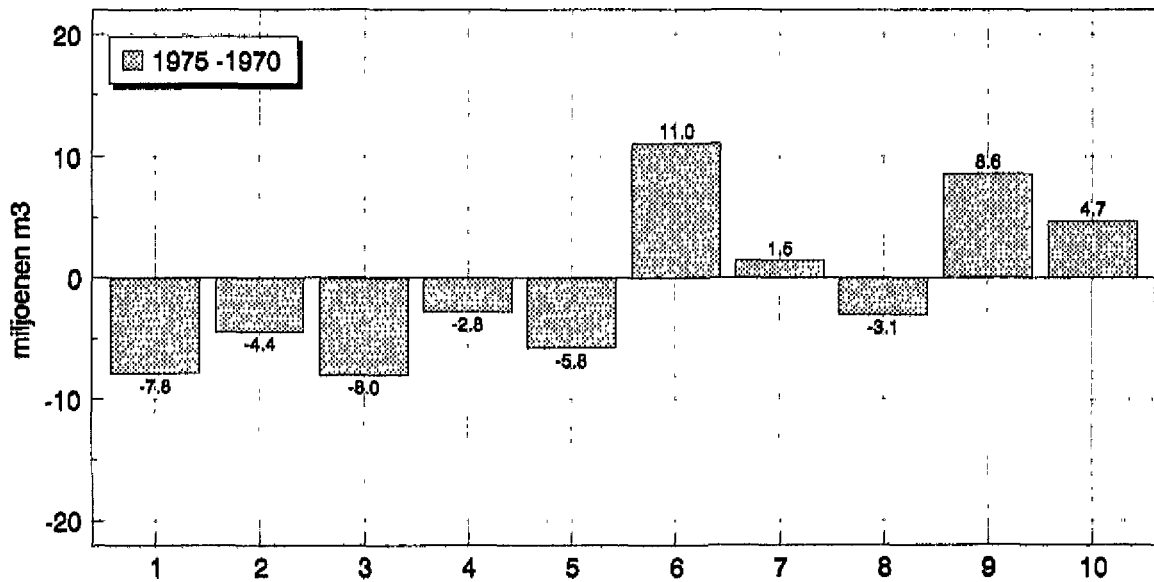
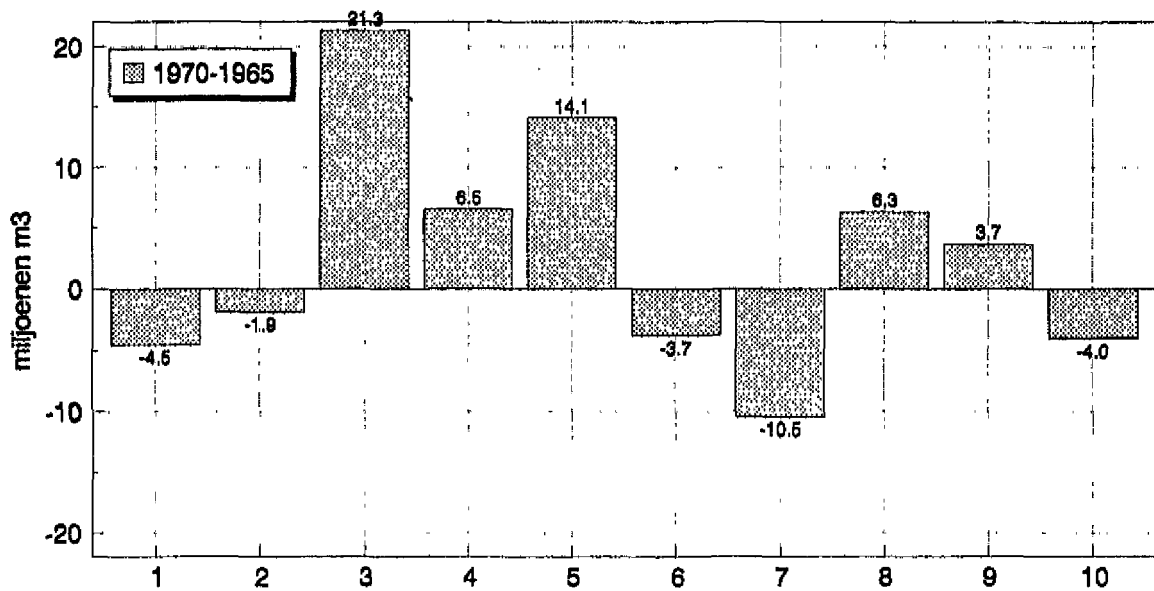


schaal van onderste diagram 10 kleiner

# Erosie en accumulatie Westerschelde (1965 - 1990)

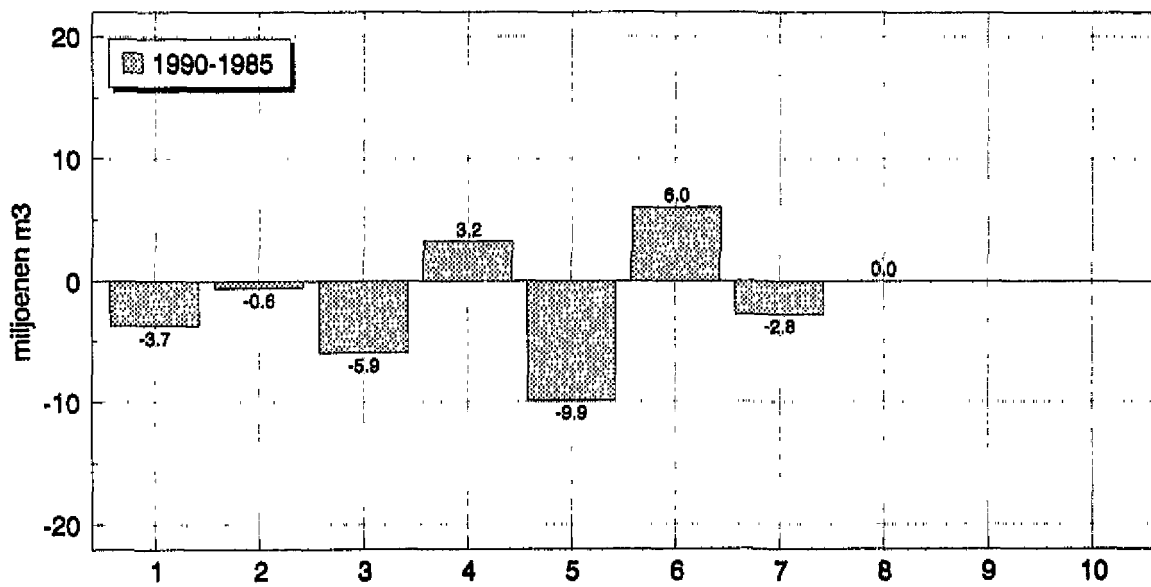
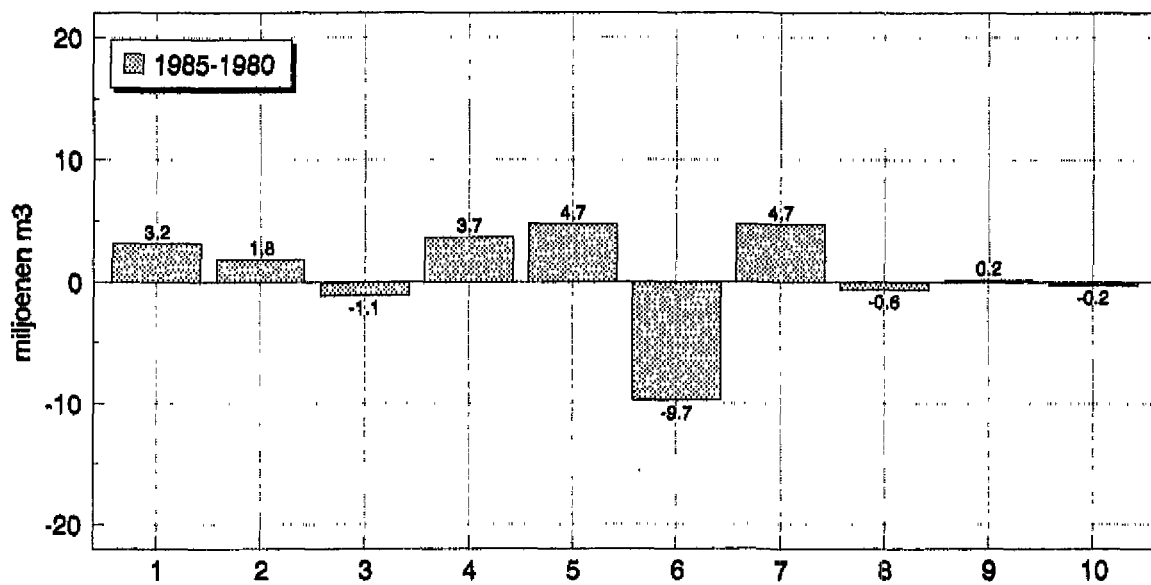


Erosie en accumulatie, estuarium en deel delta Westerschelde



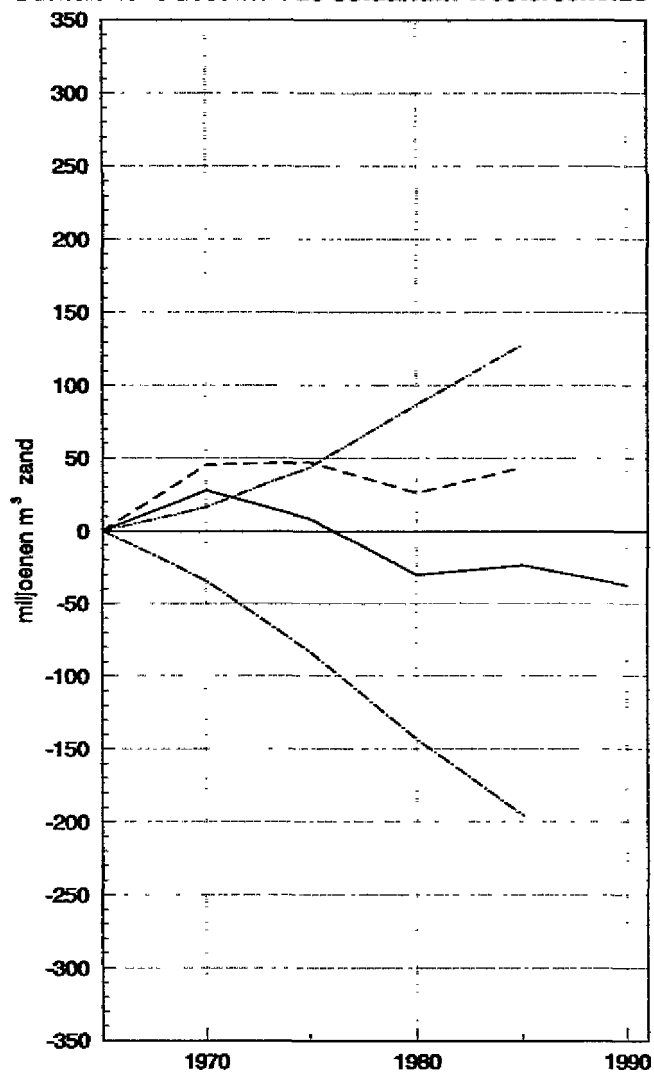
# Bijlage F

## Erosie en accumulatie, estuarium en deel delta Westerschelde

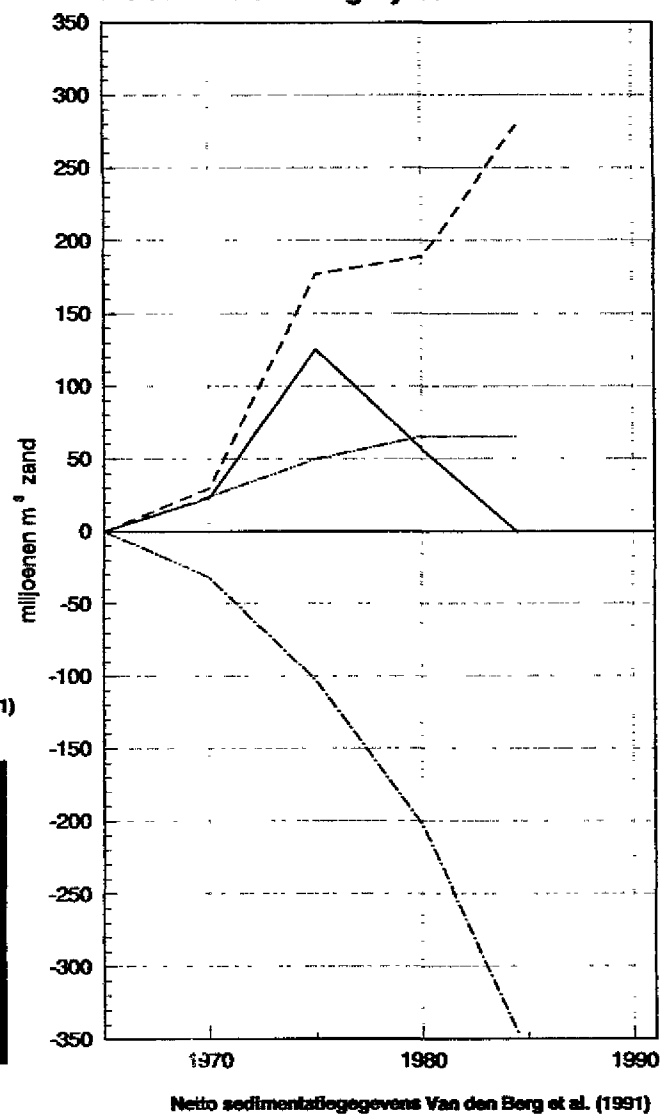


Vakindeling Van den Berg, 1991

Cumulatieve accumulatie estuarium Westerschelde



Cumulatieve accumulatie eb-getijdedelta Westerschelde

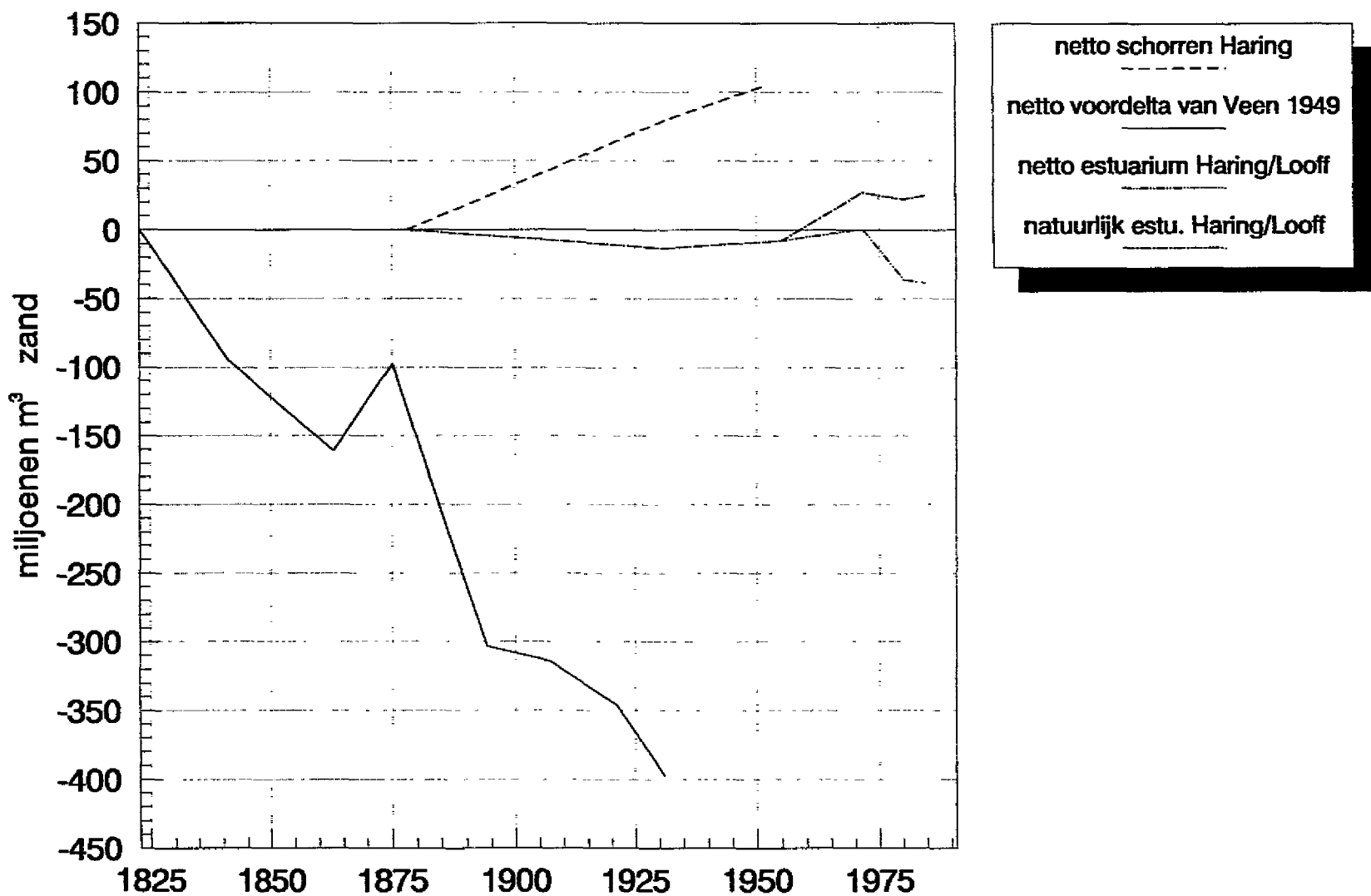


Alle baggergegevens Van den Berg et al. (1991)



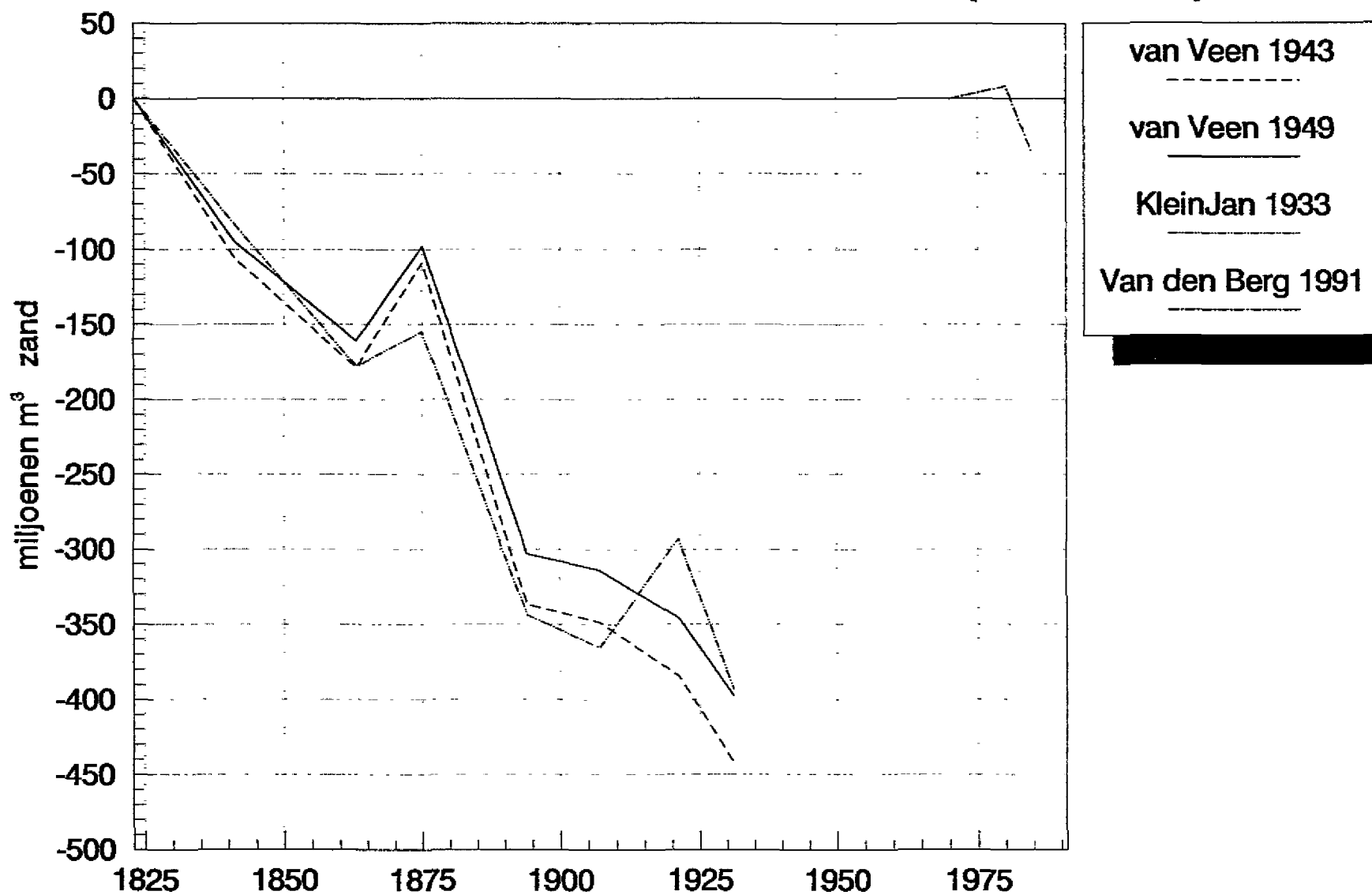
Netto sedimentatiegegevens Van den Berg et al. (1991)

## Cumulatieve netto en natuurlijke sedimentatie Delta en estuarium Westerschelde

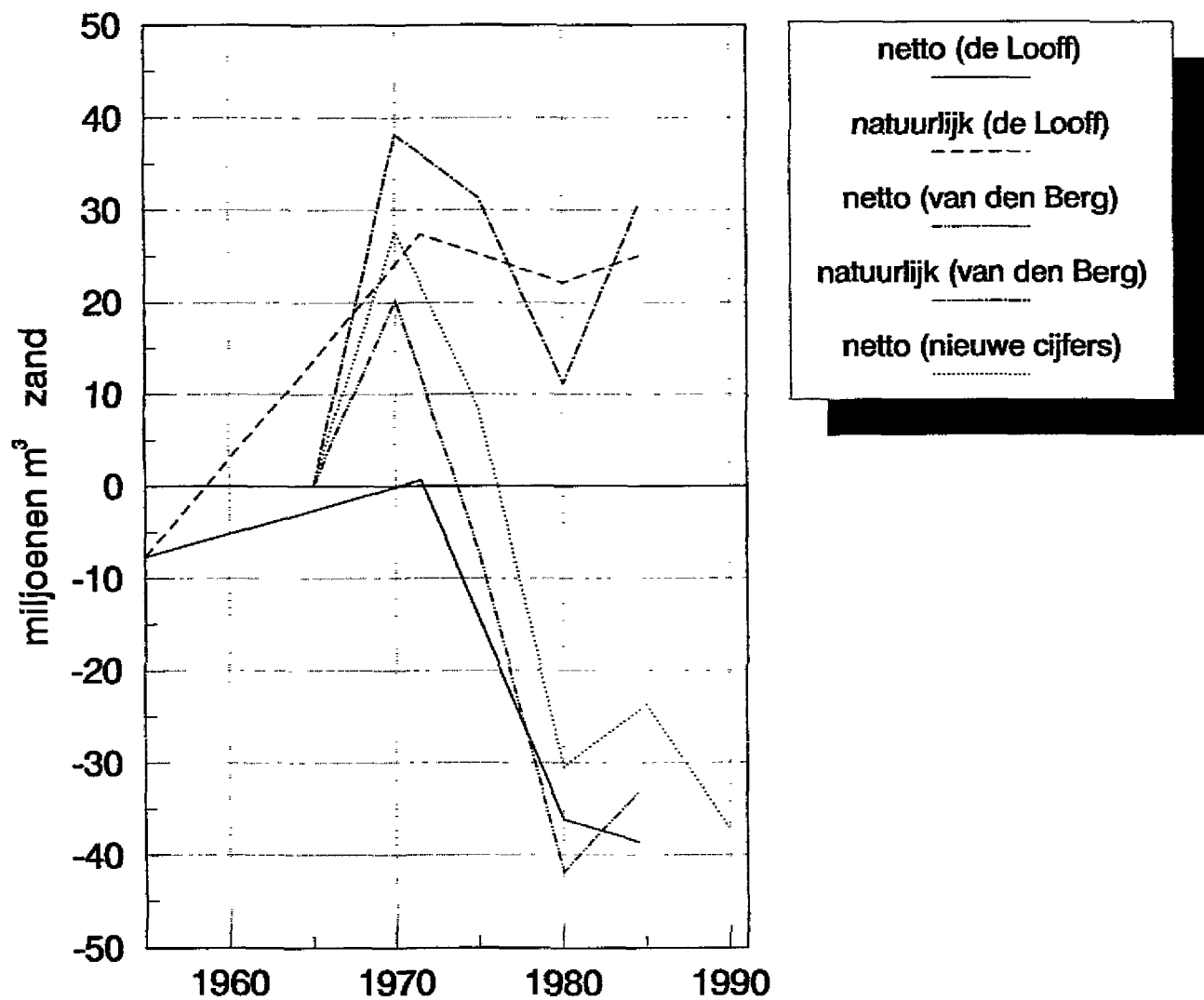


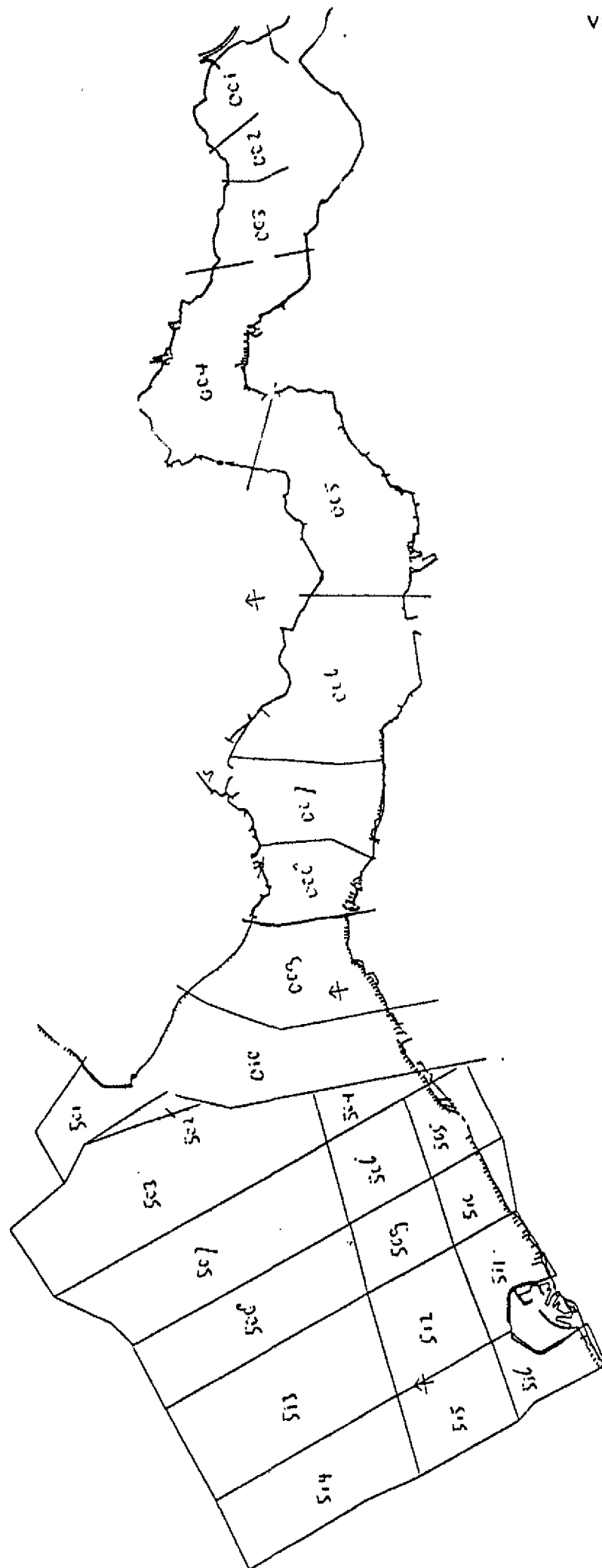


## Cumulatieve sedimentatie voordelta (1825..1990)

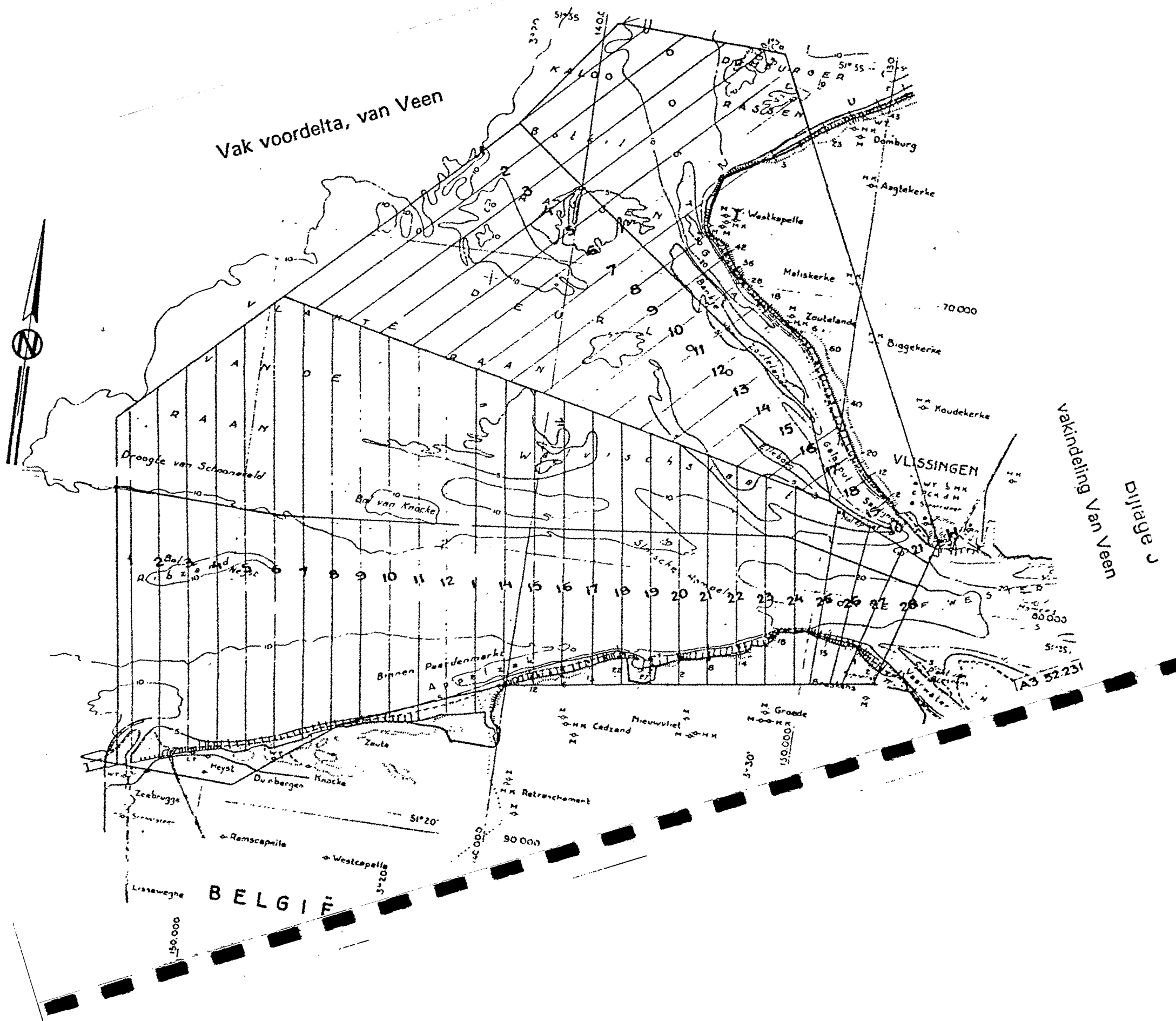


# Cumulatieve sedimentatie estuarium van den Berg (1991) en de Looff (1986)





Vak voordelta, van Veen



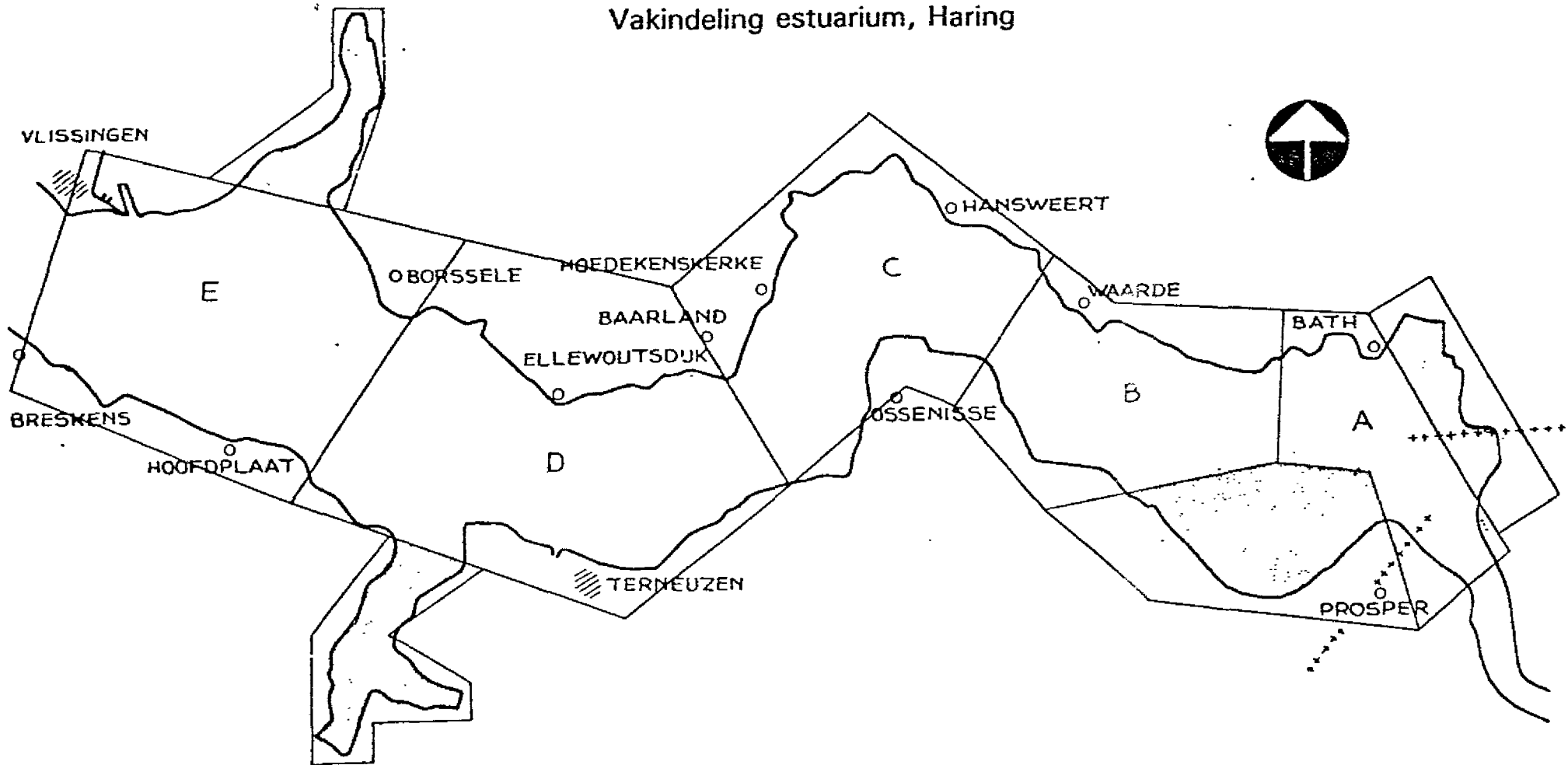
Droogte van Schooneveld

VLISSINGEN

BELGIË

Vakindeling Van Veen  
Dijlage J

Vakindeling estuarium, Haring



Vakindeling Haring

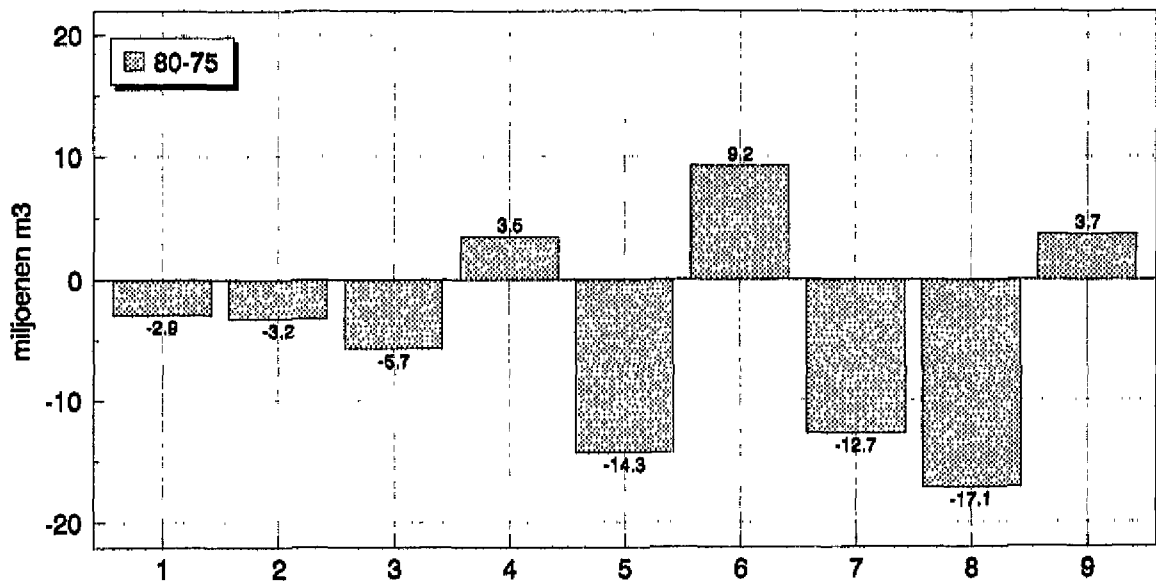
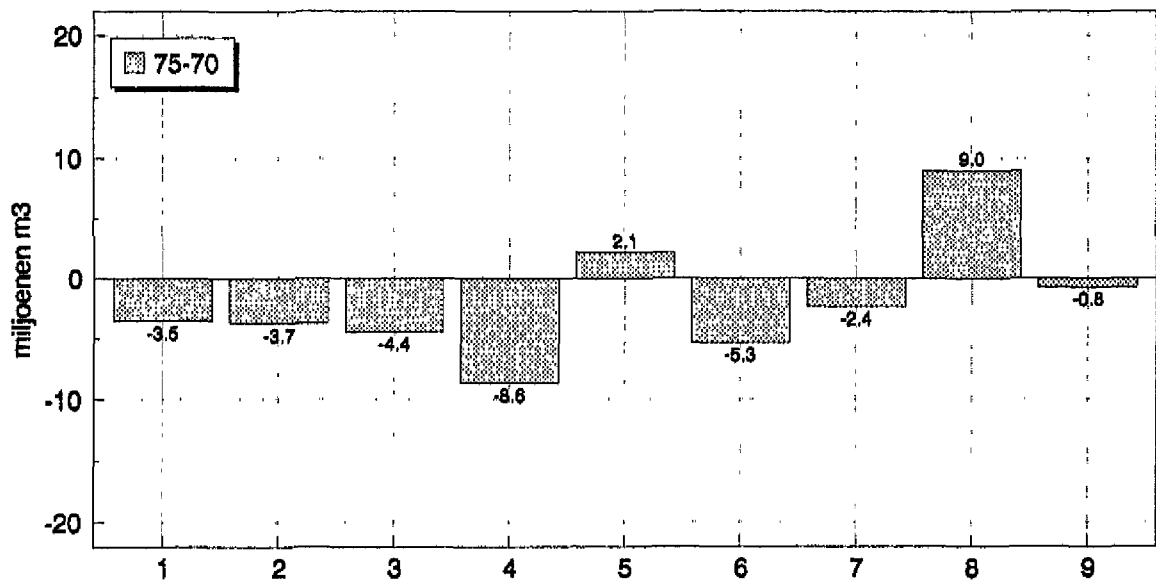
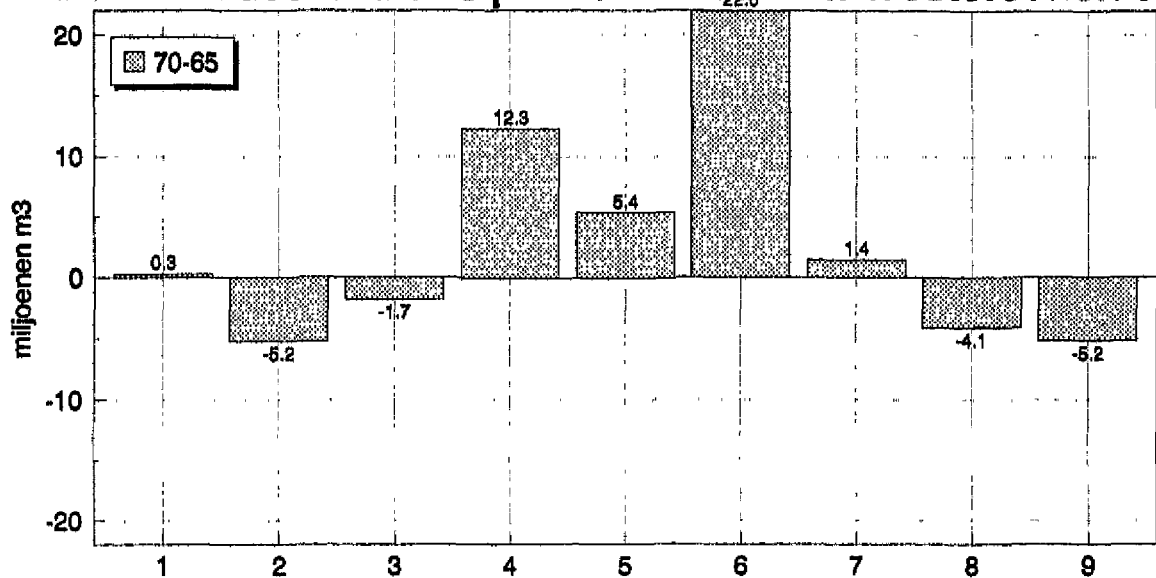
Bijlage J

Bijlage J

vakindeling De Looff

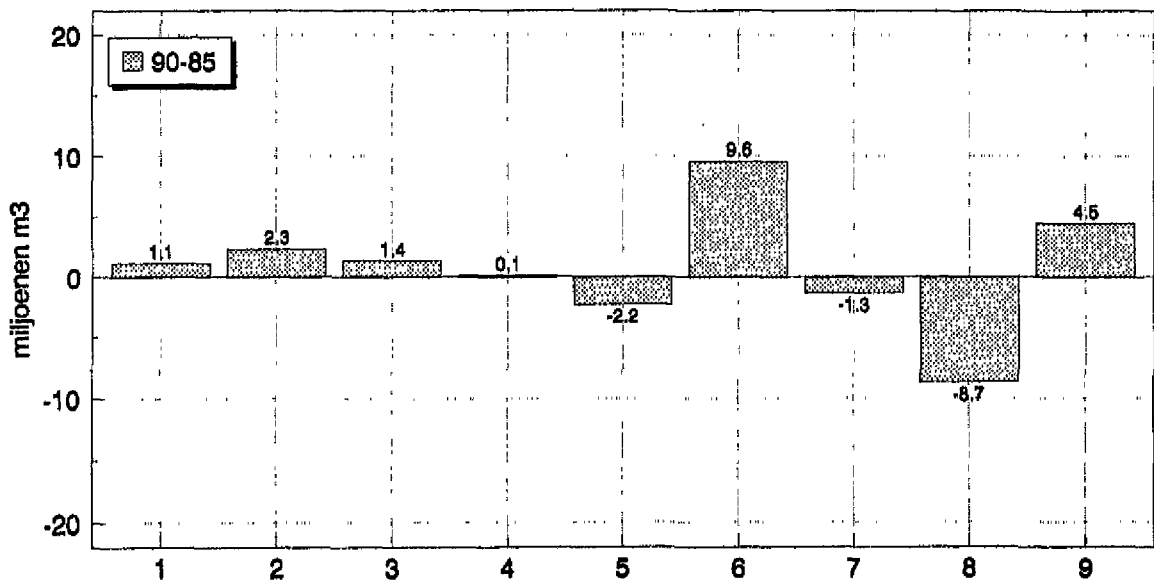
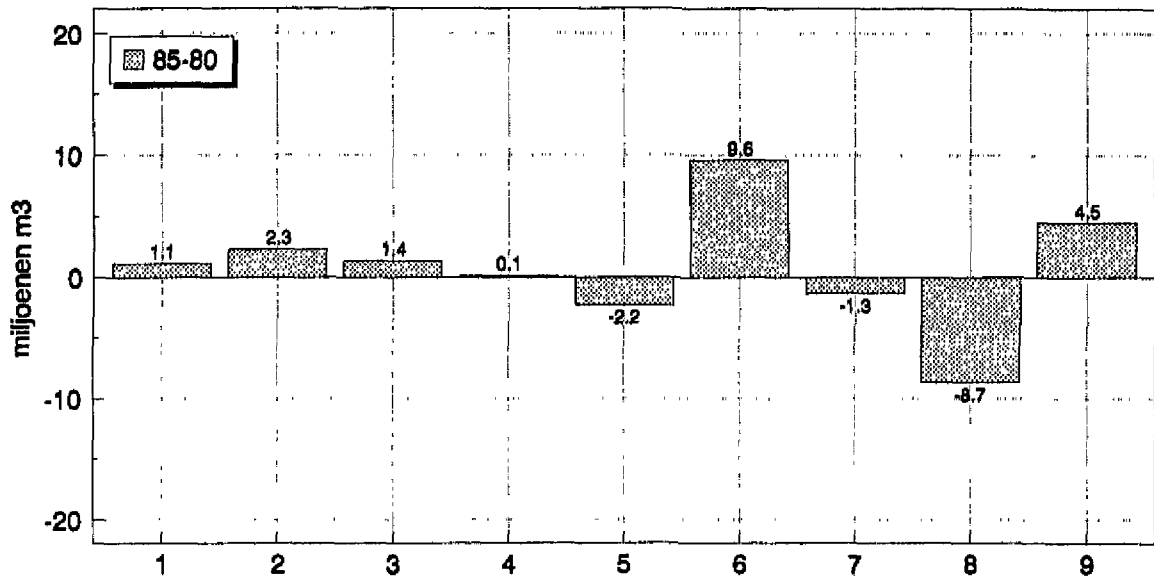


Erosie en accumulatie per vak estuarium Westerschelde



Vakindeling de Looff

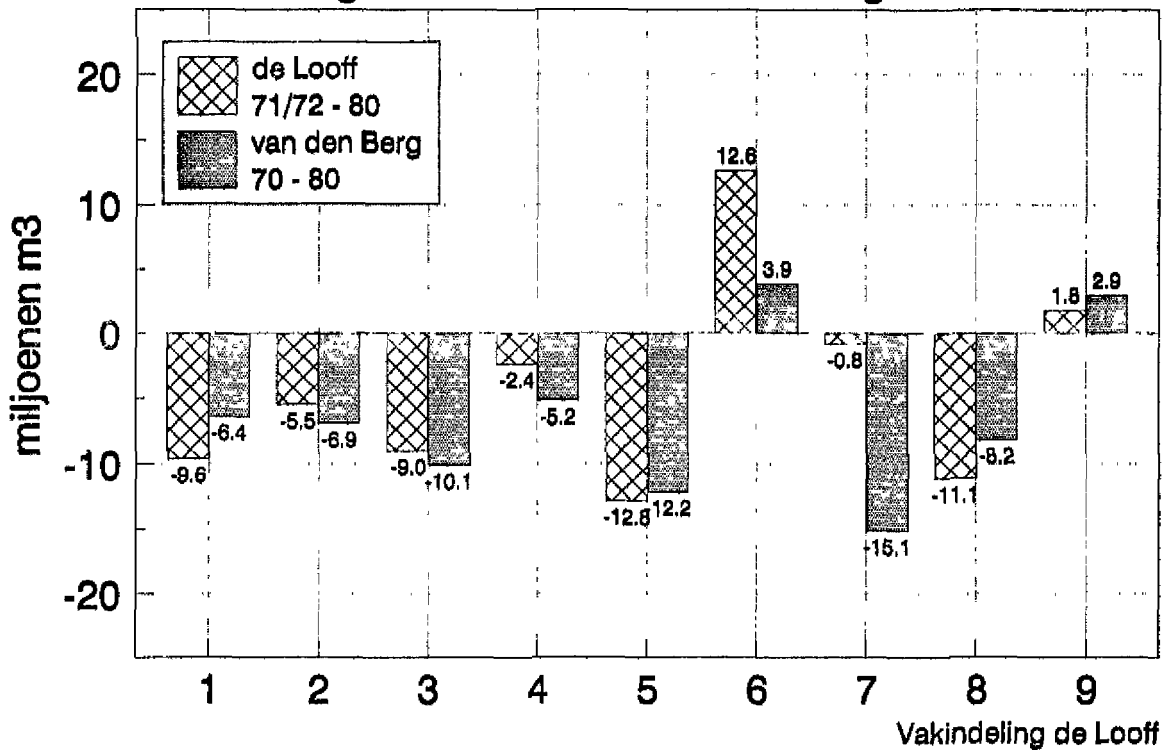
Erosie en accumulatie per vak estuarium Westerschelde



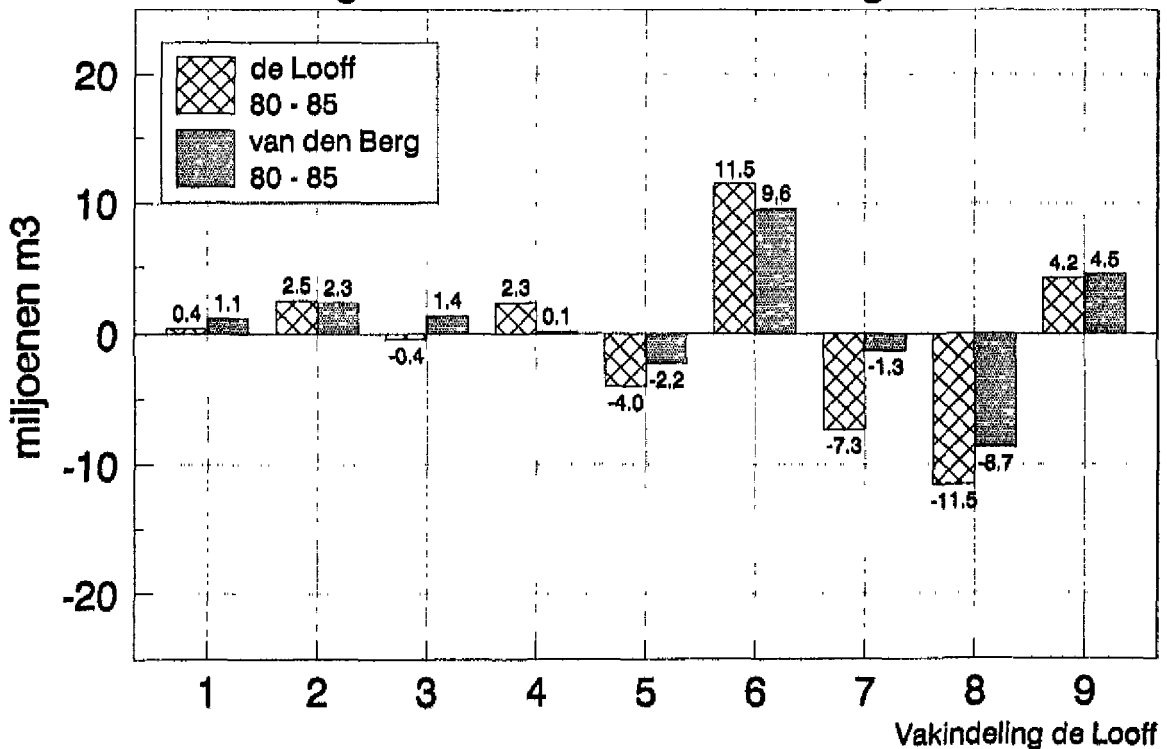
Vakindeling de Looff



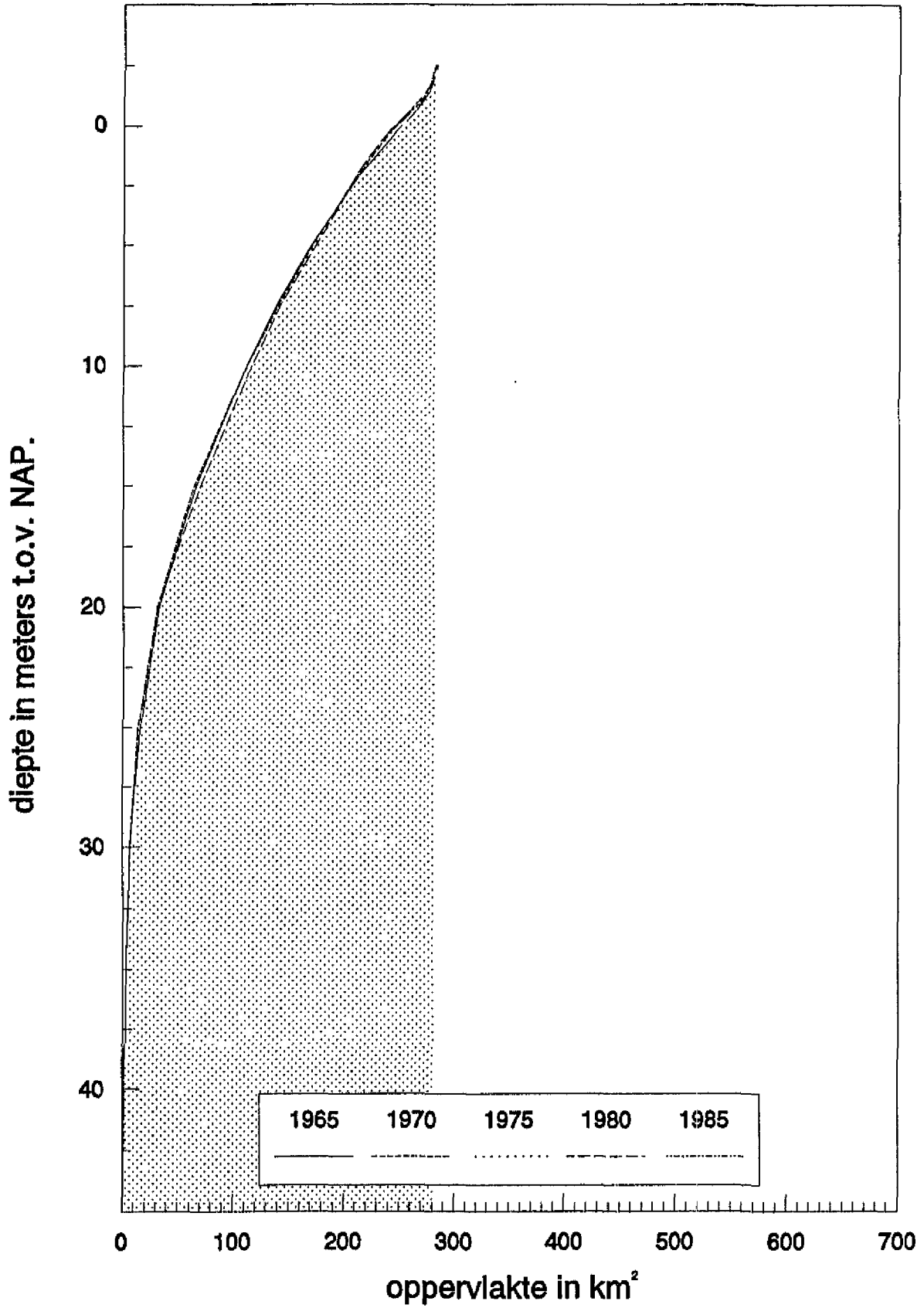
### Netto accumulatie en erosie per vak volgens de Looff en van den Berg



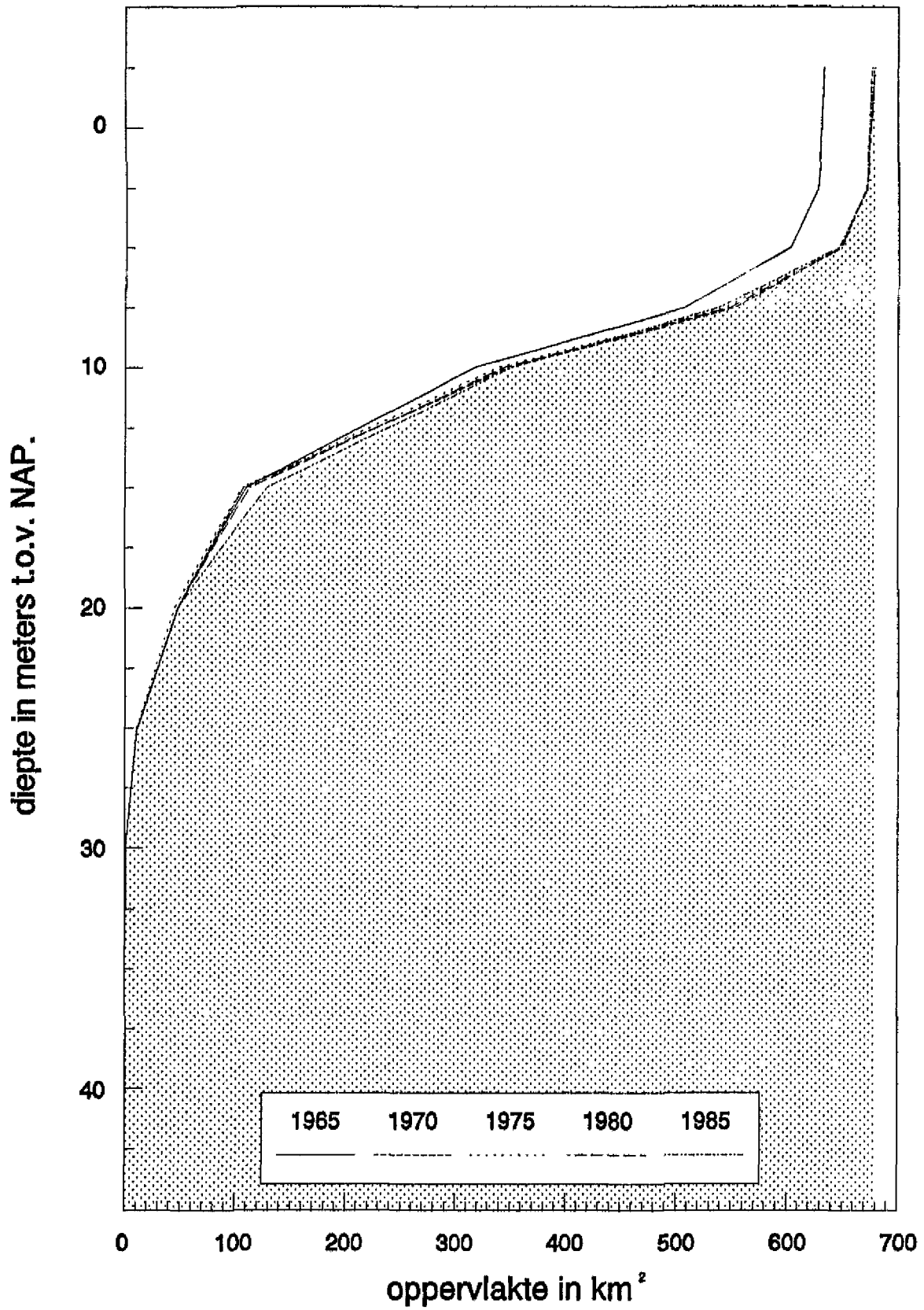
### Netto accumulatie en erosie per vak volgens de Looff en van den Berg



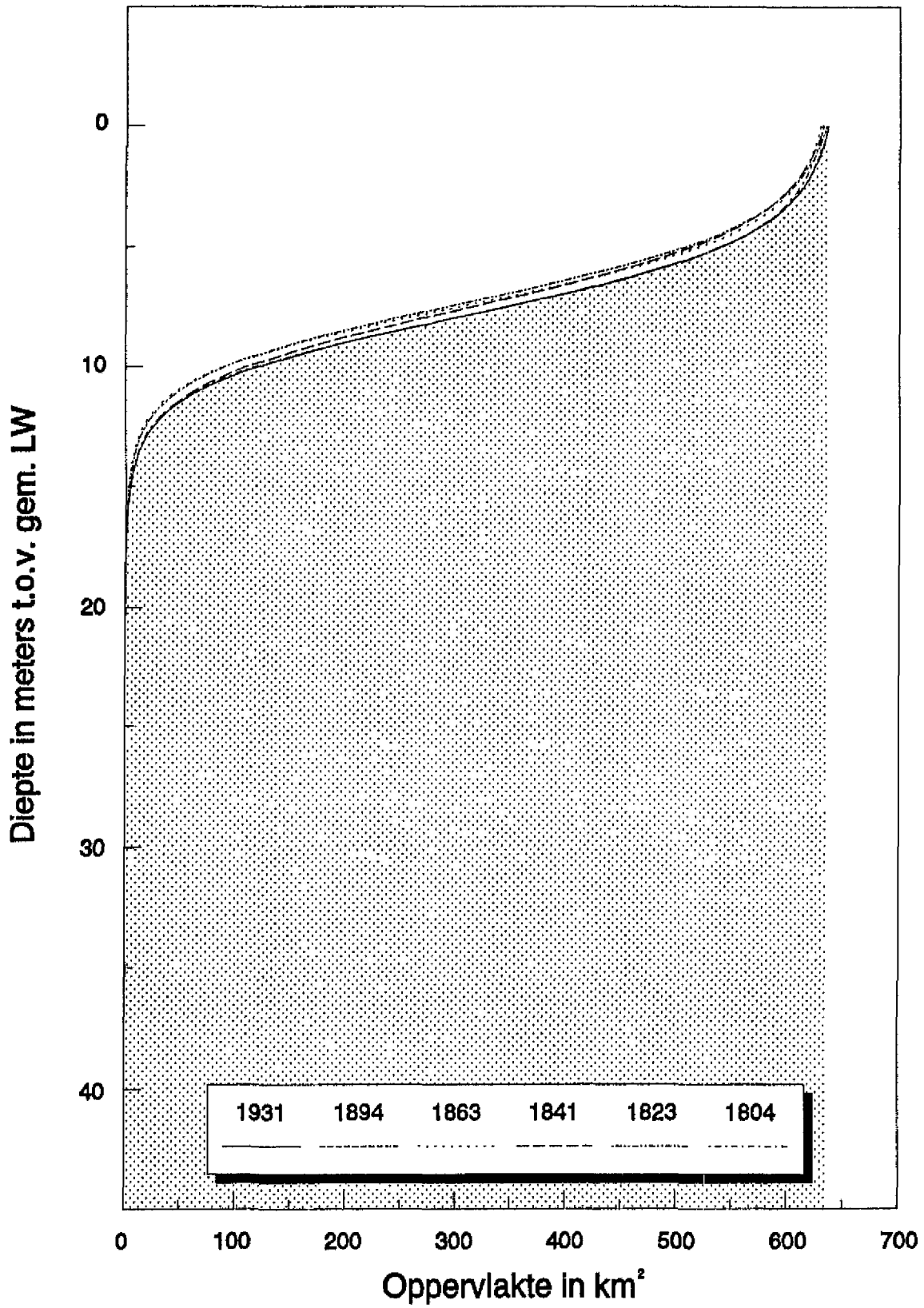
Komberging estuarium Westerschelde



### Komberging eb-getijdedelta Westerschelde

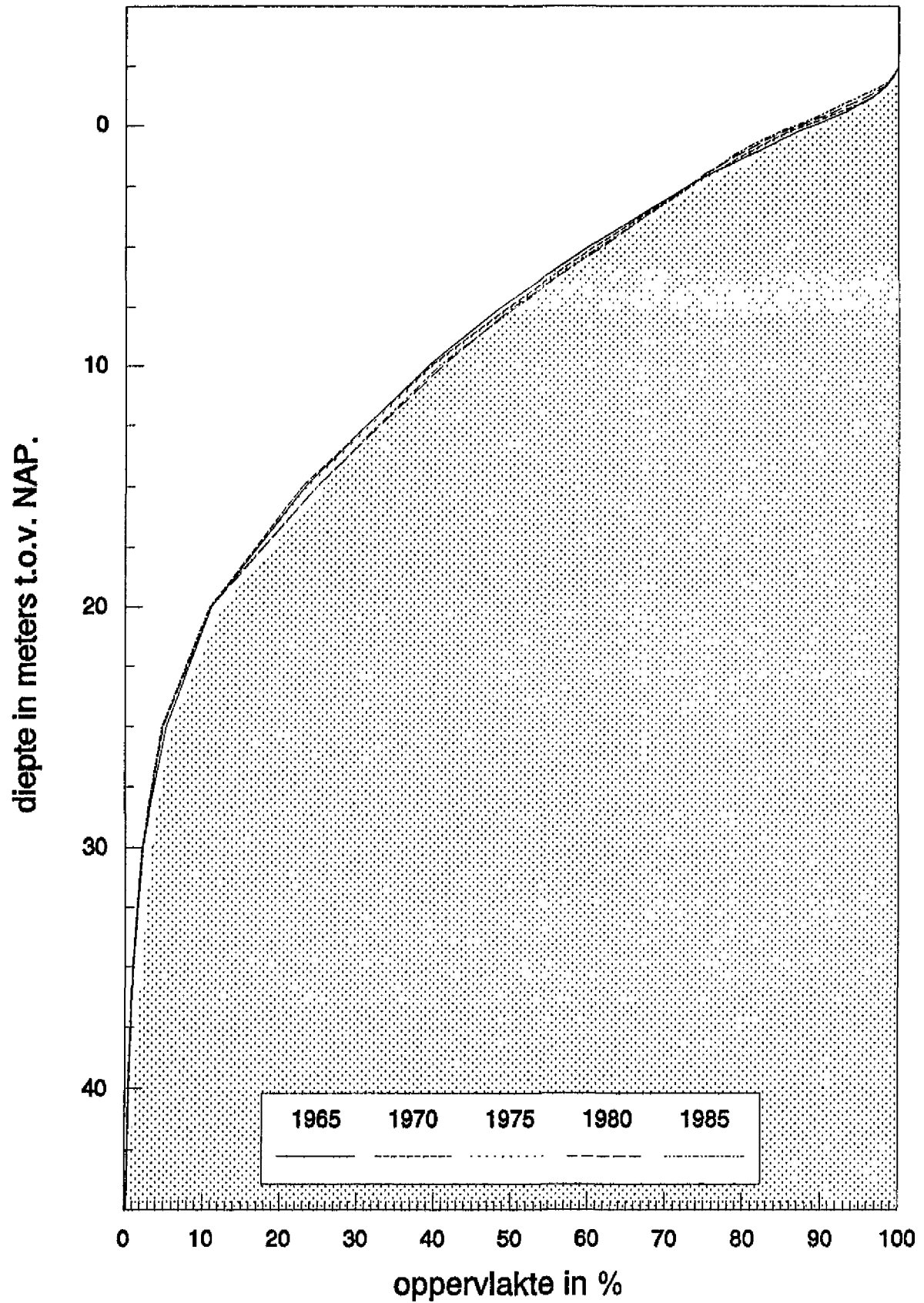


### Komberging ebdelta Westerschelde

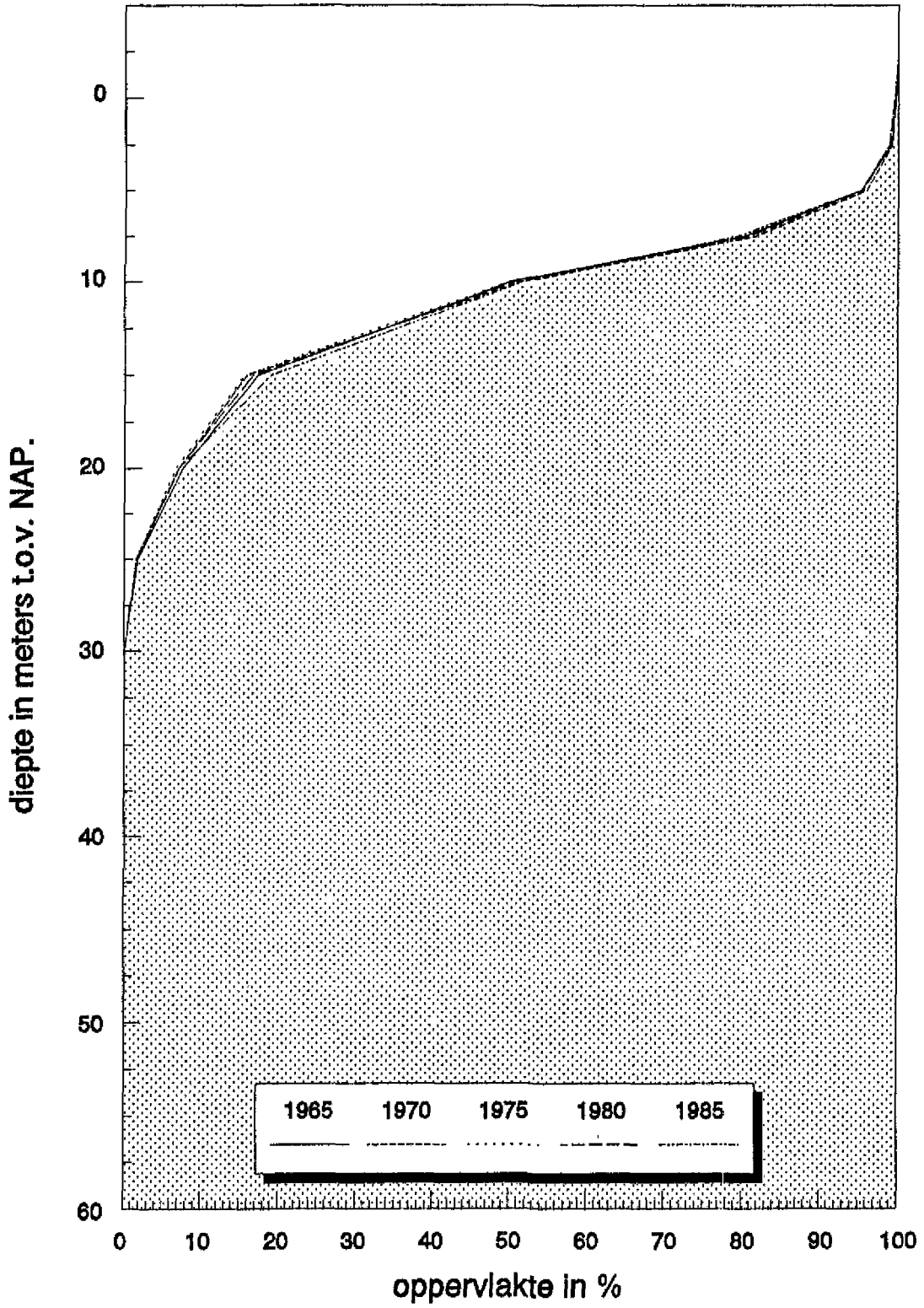


Berekent volgens methode Boon en Byme (1981)

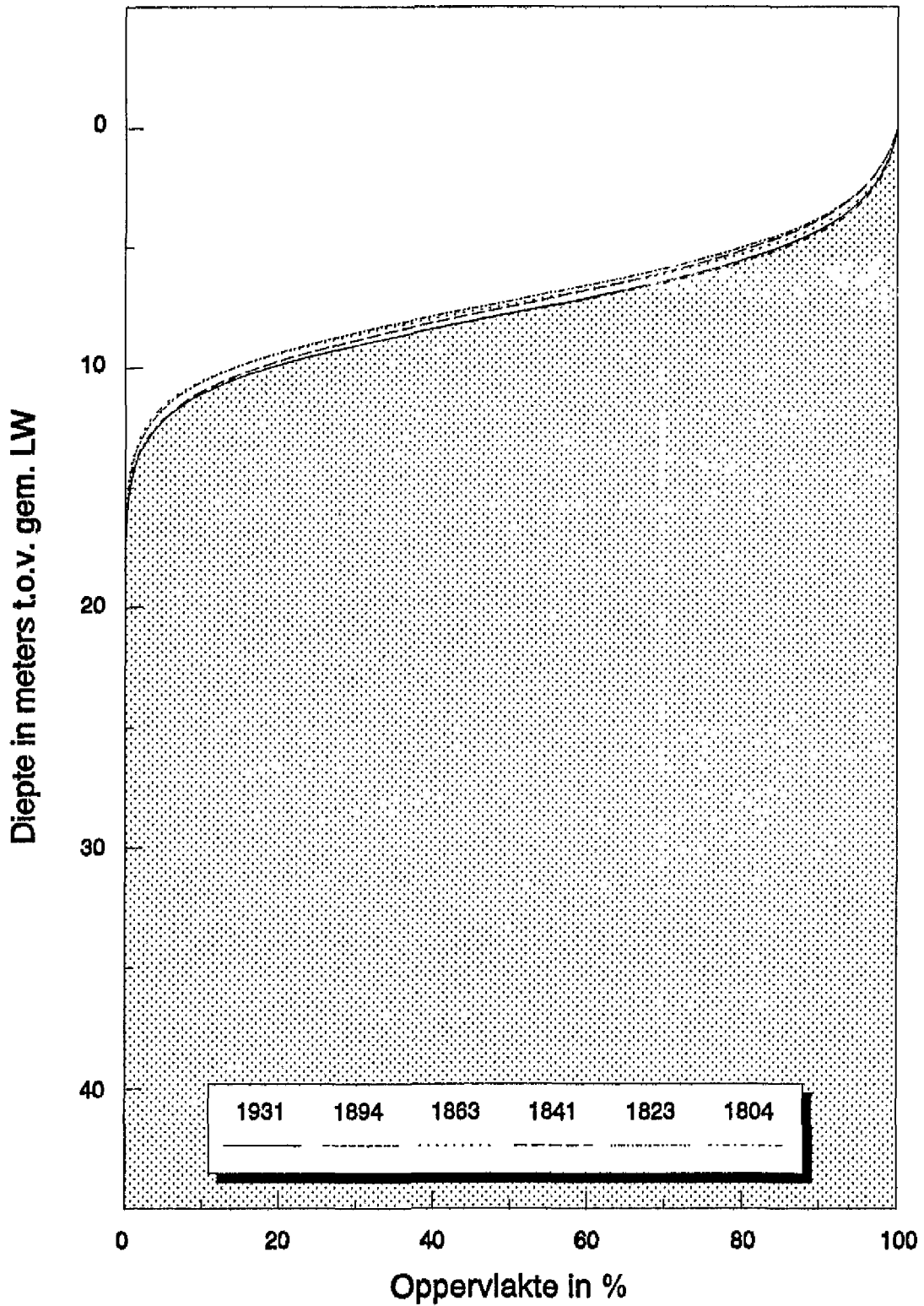
Komberging estuarium Westerschelde



Komberging eb-getijdedelta Westerschelde

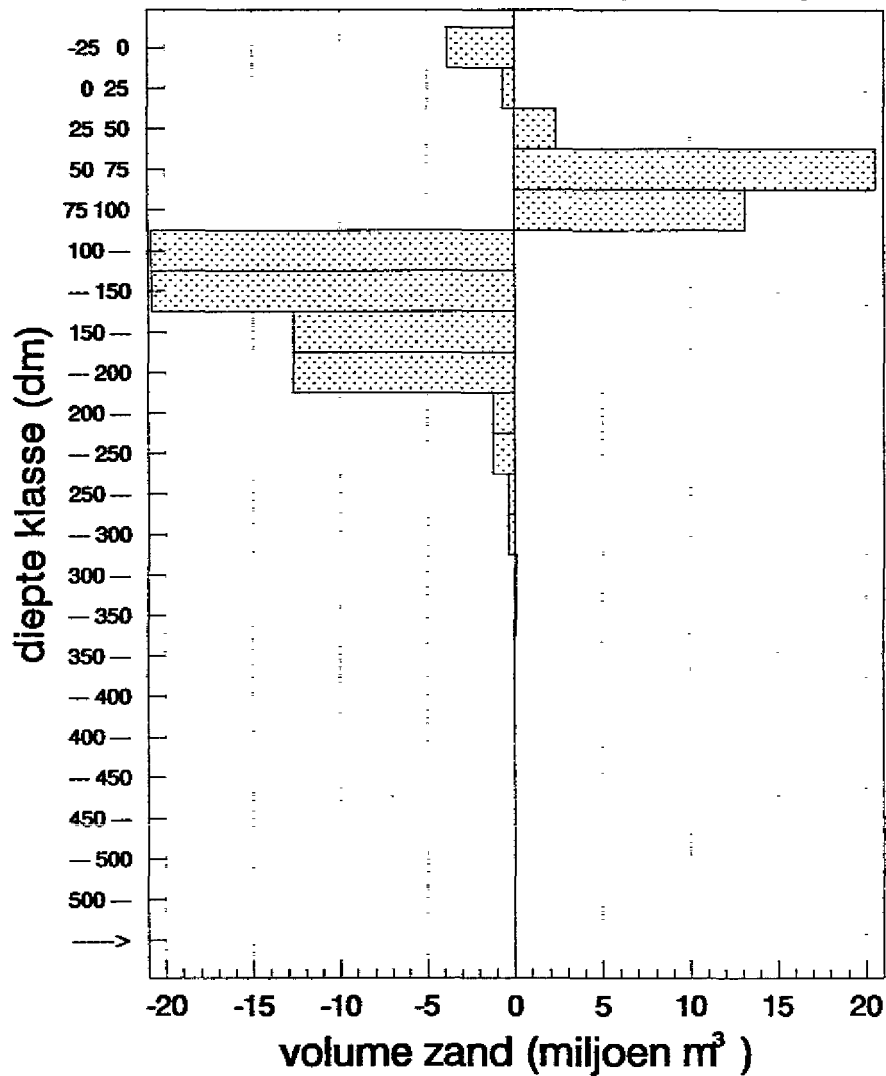


Relatieve komberging ebdelta Westerschelde

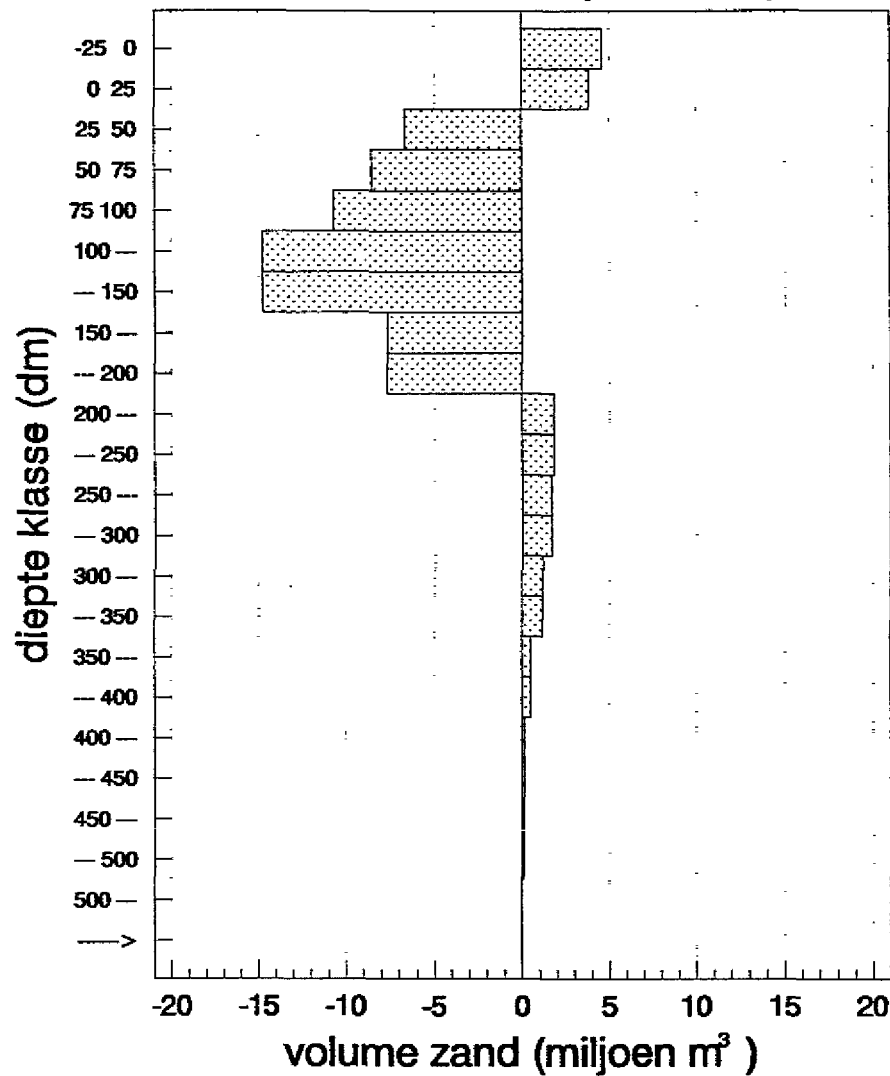


Berekend volgens methode Boon en Byrne (1981)

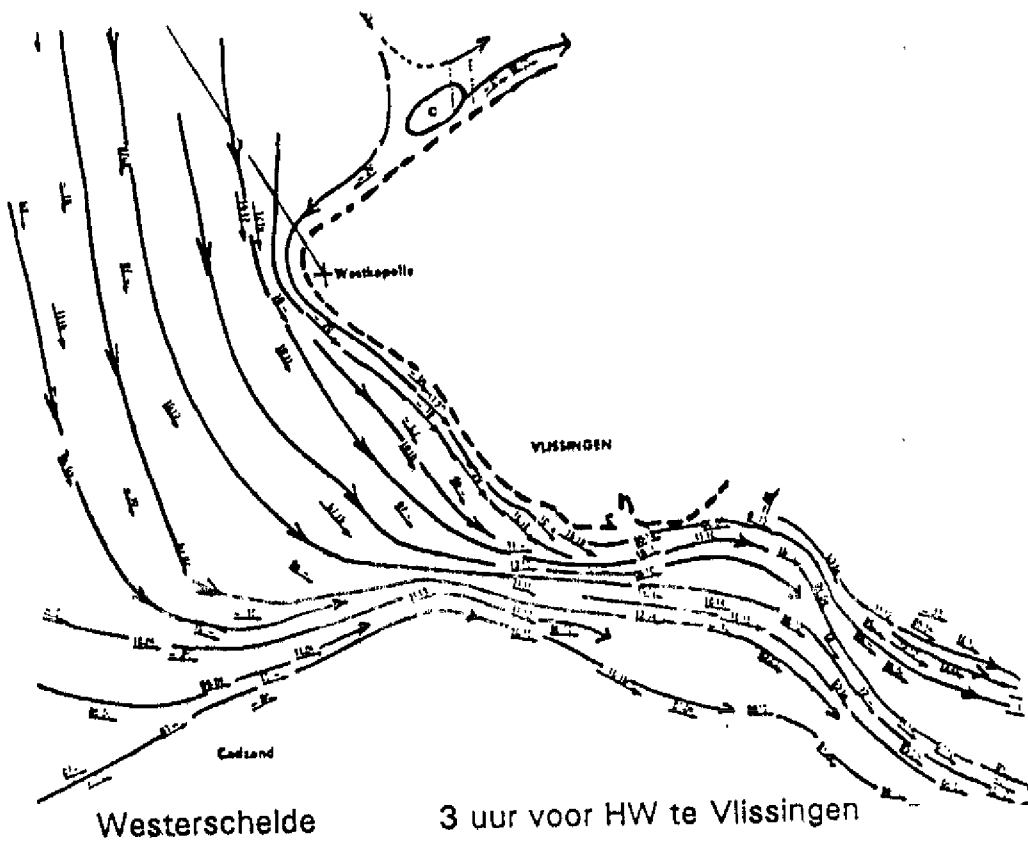
**Hoeveelheden geaccumuleerd zand per dieptezone  
Eb-getijdedelta Westerschelde (1970-1985)**



**Hoeveelheden geaccumuleerd zand per dieptezone  
Estuarium Westerschelde (1970-1985)**

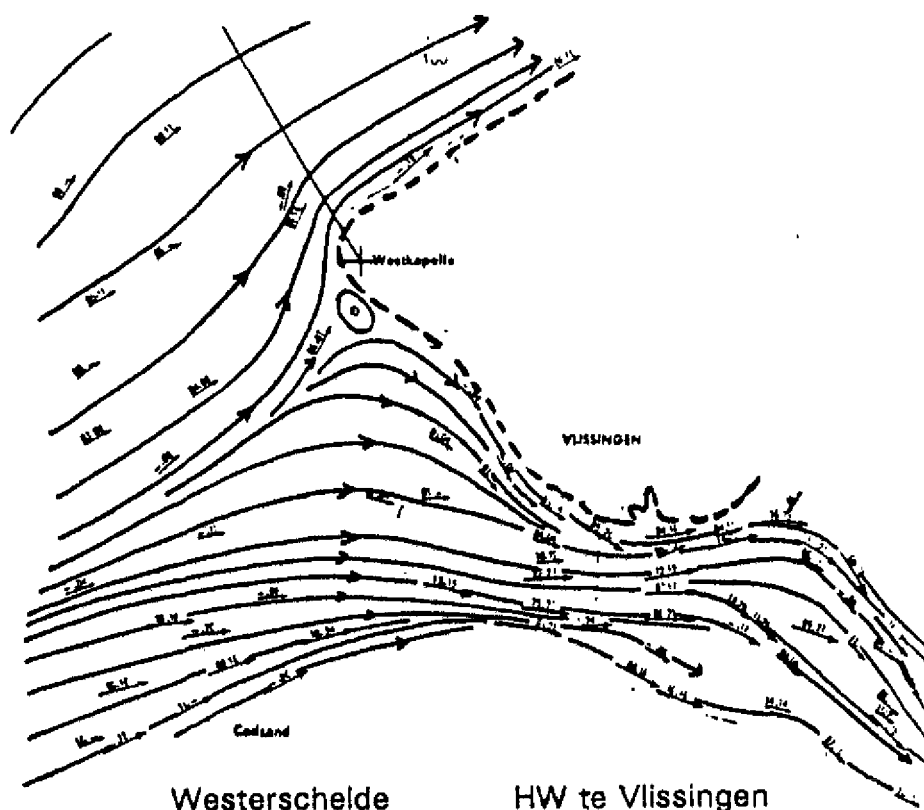






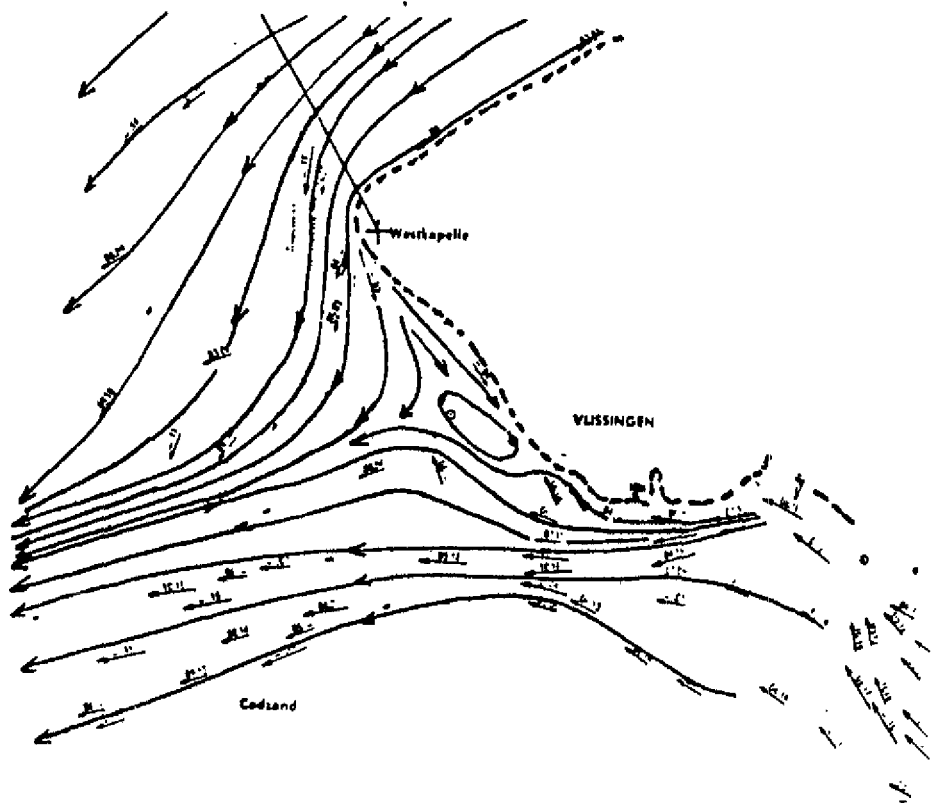
Westerschelde

3 uur voor HW te Vlissingen

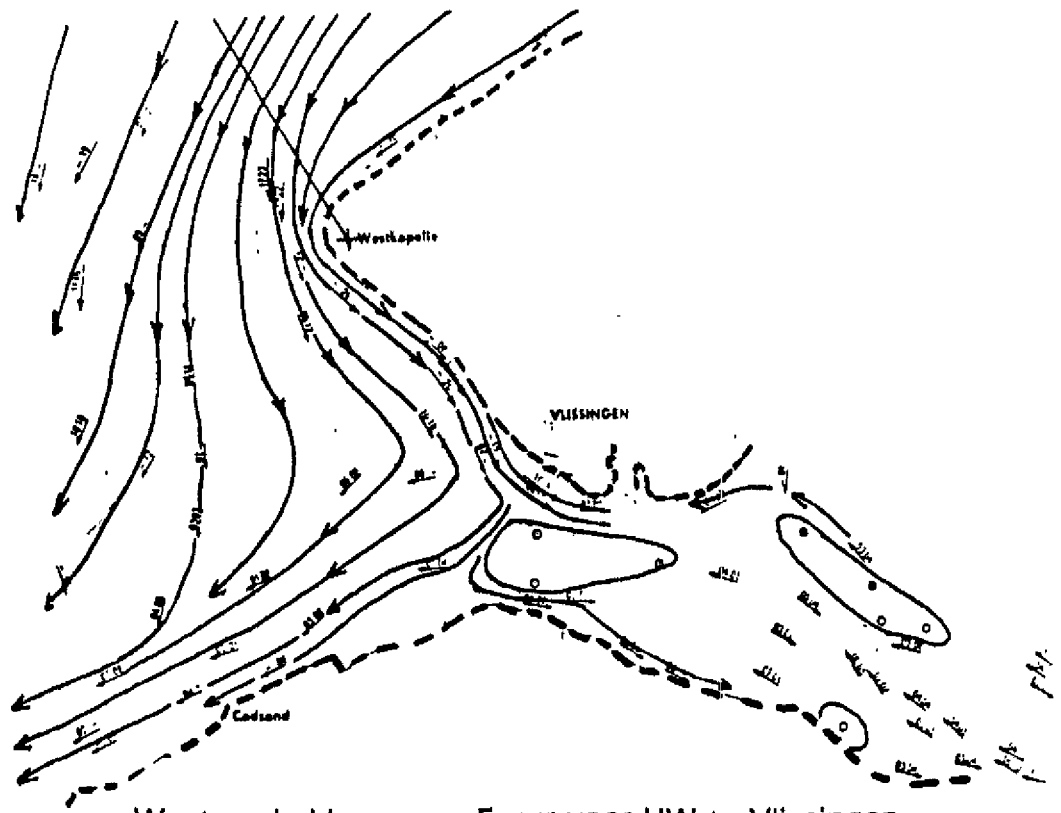


Westerschelde

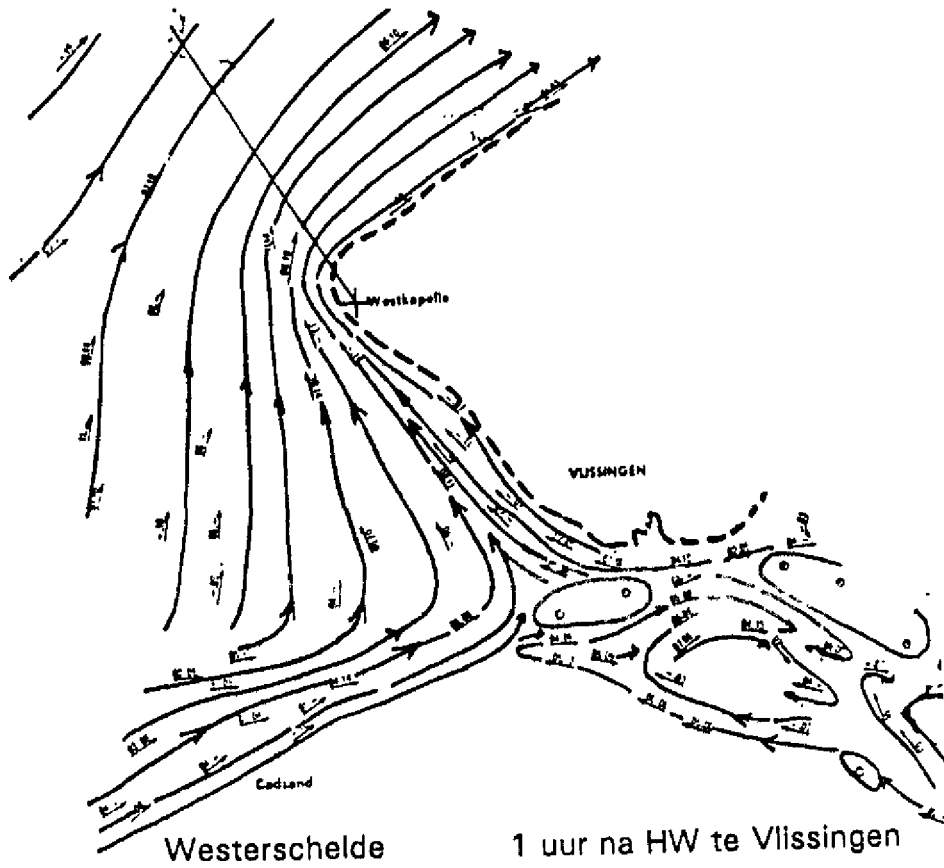
HW te Vlissingen



Westerschelde LW te Vlissingen

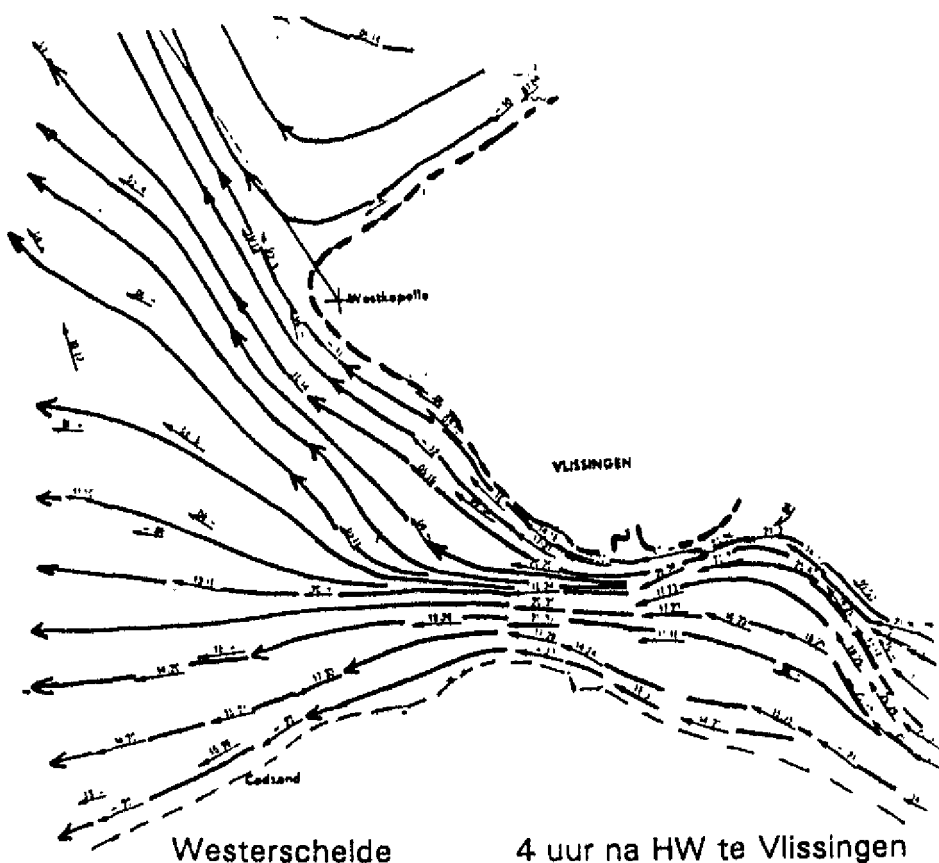


Westerschelde 5 uur voor HW te Vlissingen



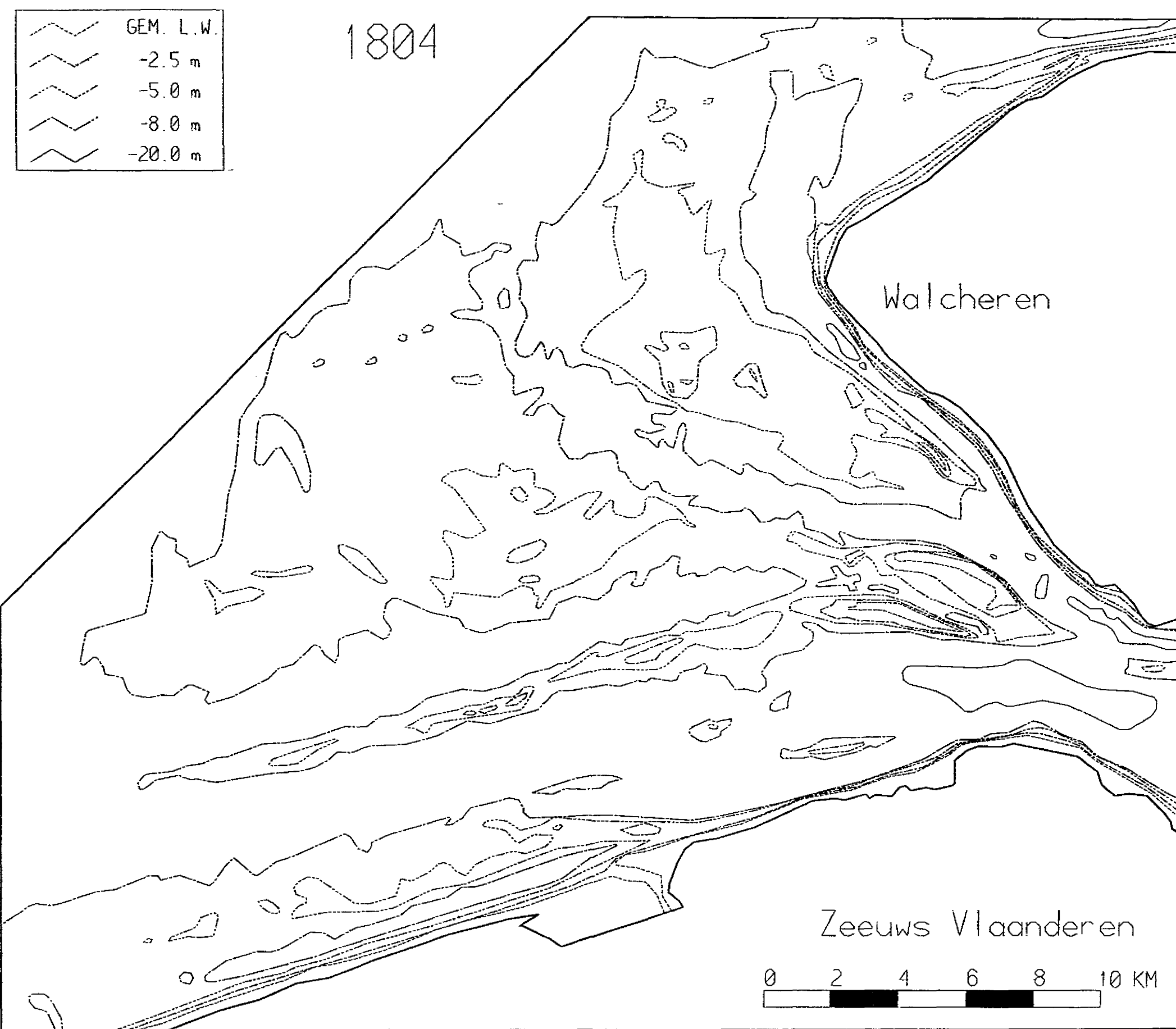
Westerschelde



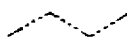

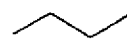
1 uur na HW te Vlissingen



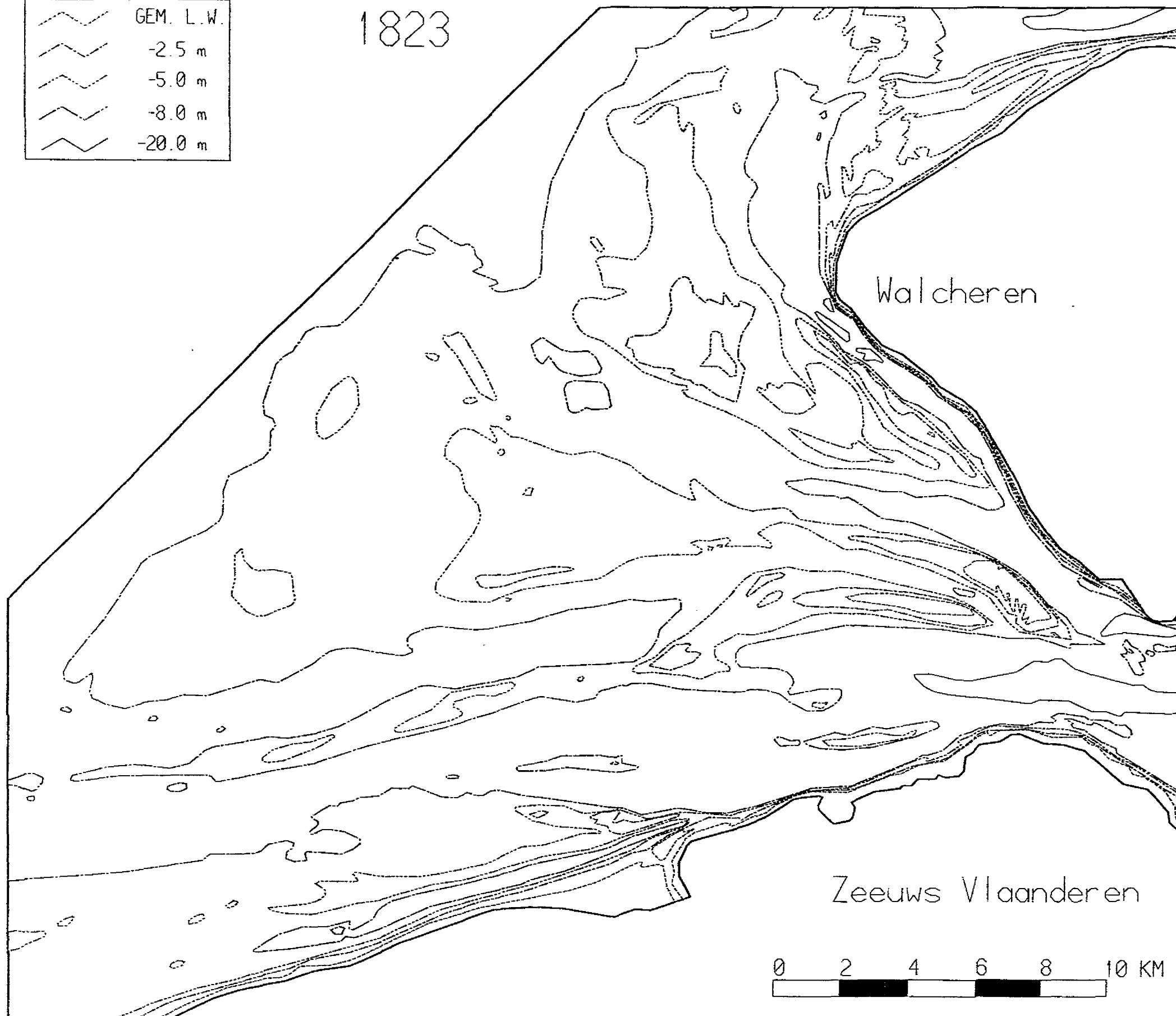
Westerschelde

4 uur na HW te Vlissingen

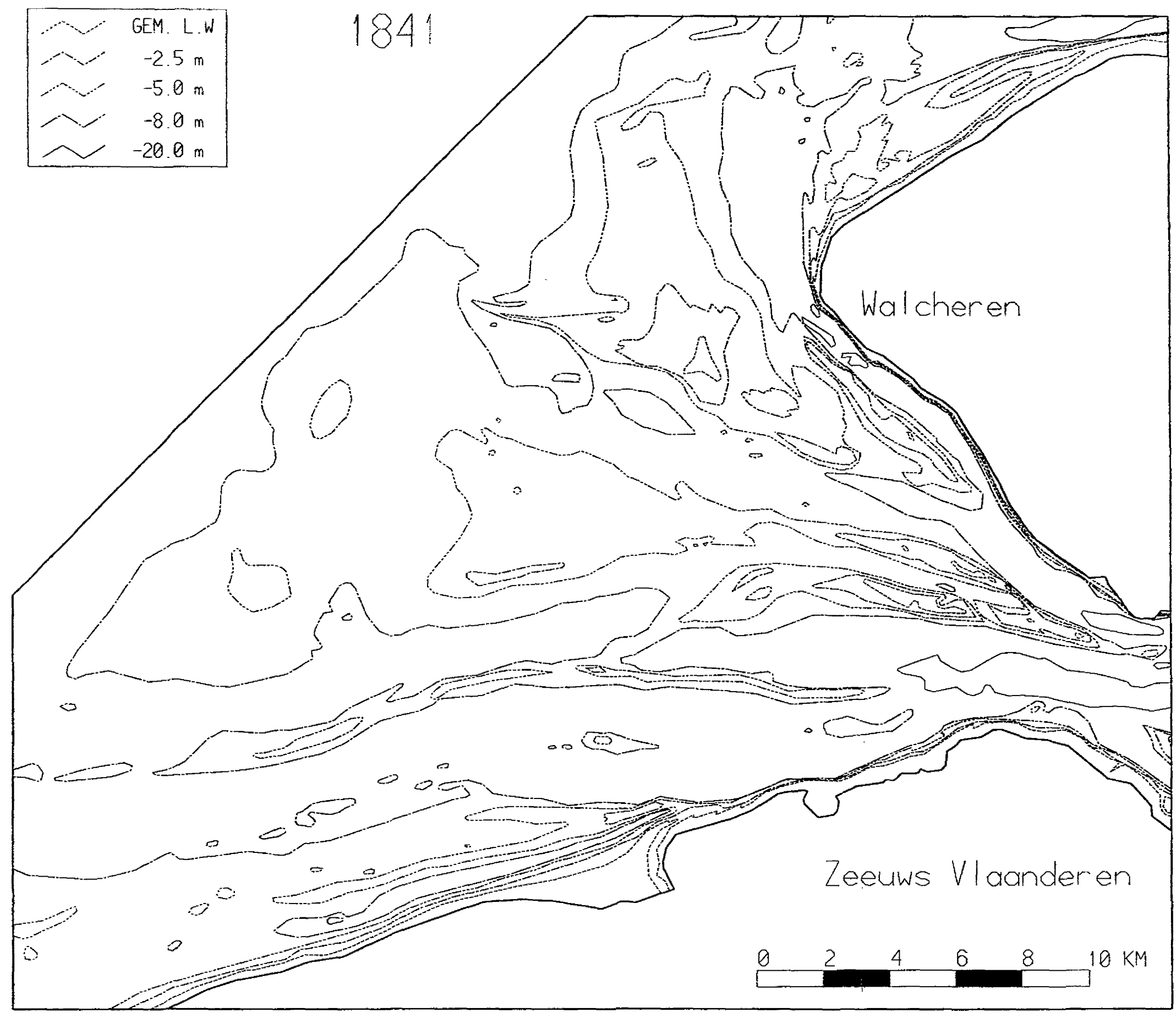







	GEM. L.W.
	-2.5 m
	-5.0 m
	-8.0 m
	-20.0 m

1823

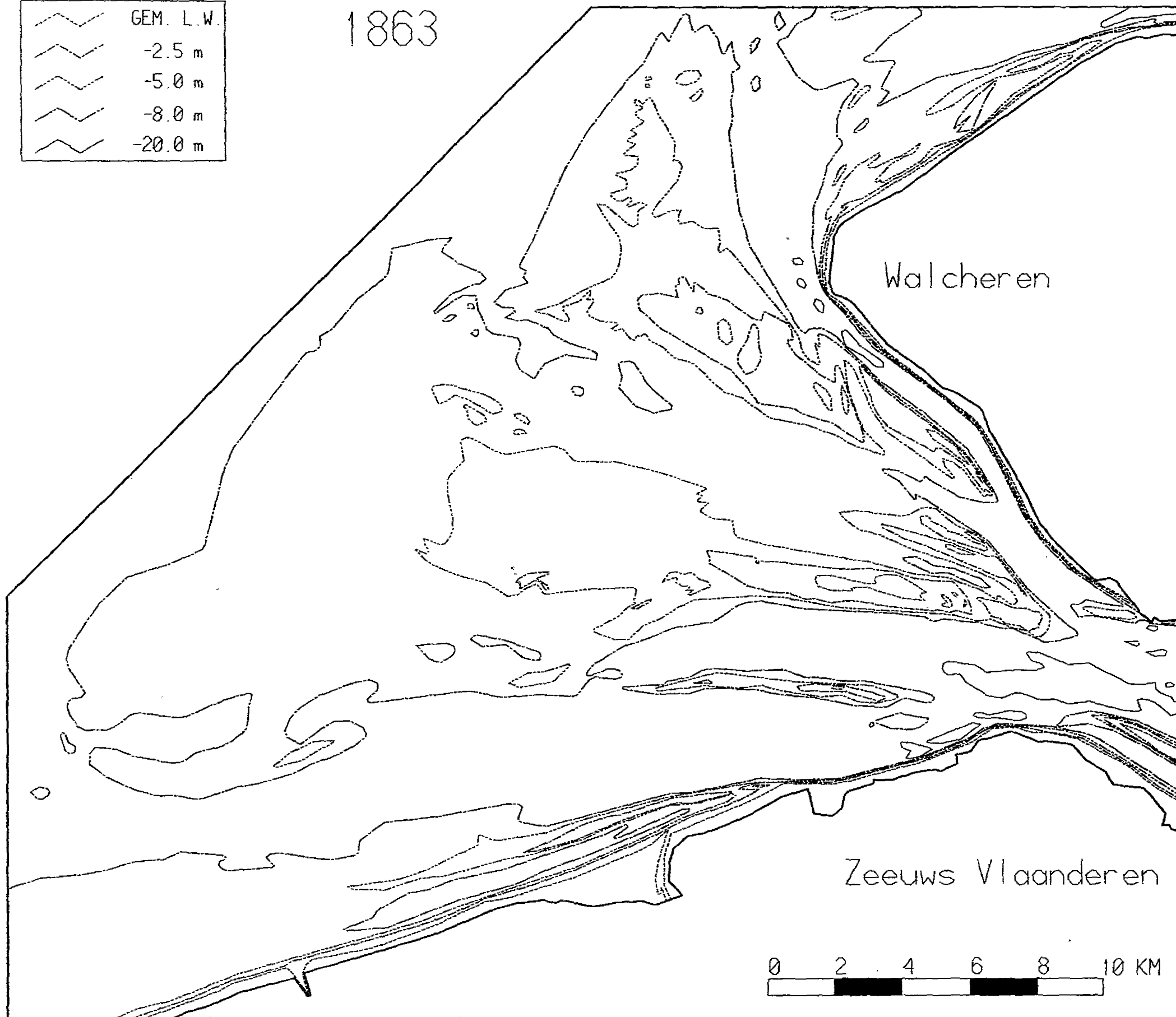


0 2 4 6 8 10 KM



	GEM. L. W.
	-2.5 m
	-5.0 m
	-8.0 m
	-20.0 m

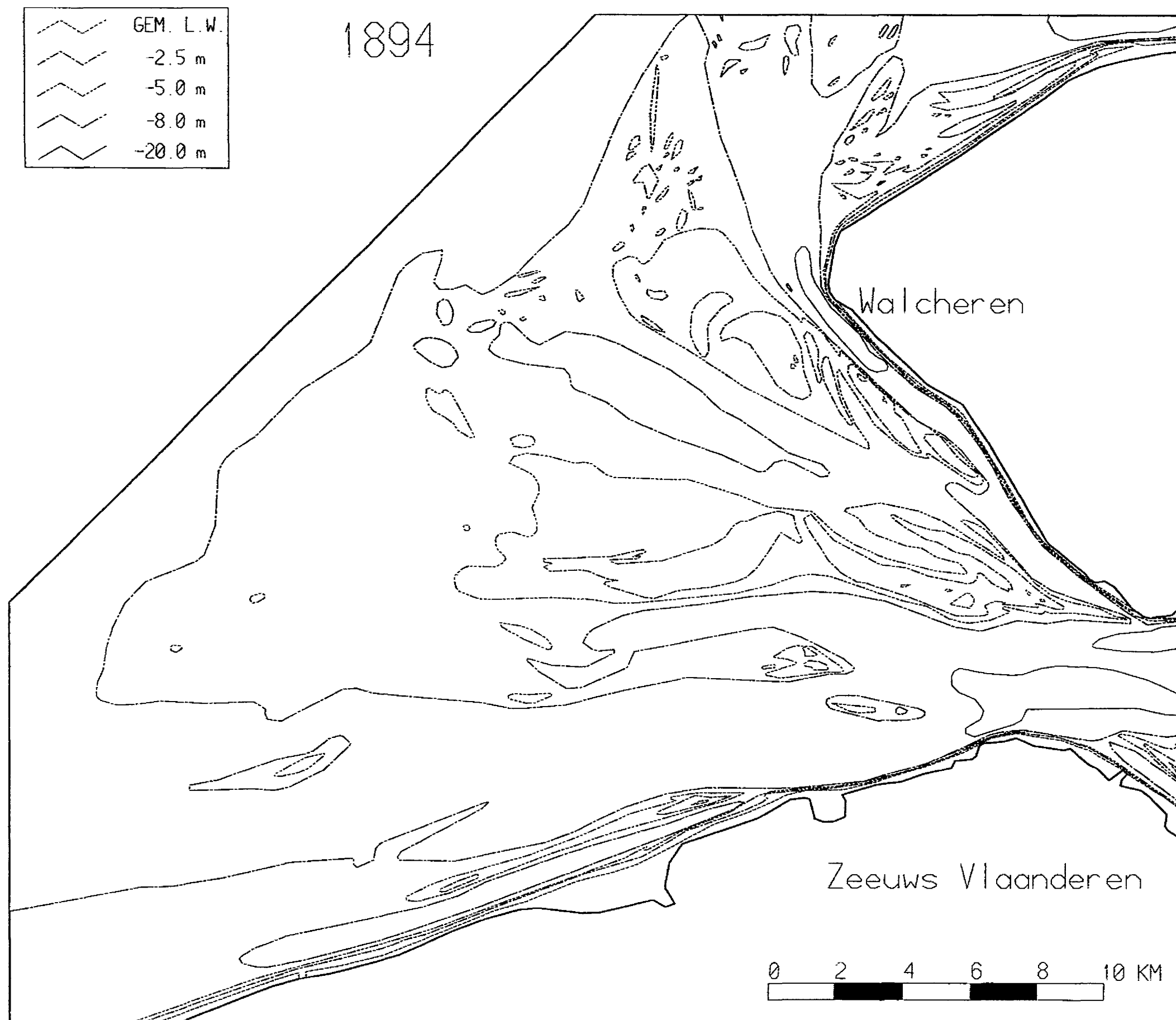
1863



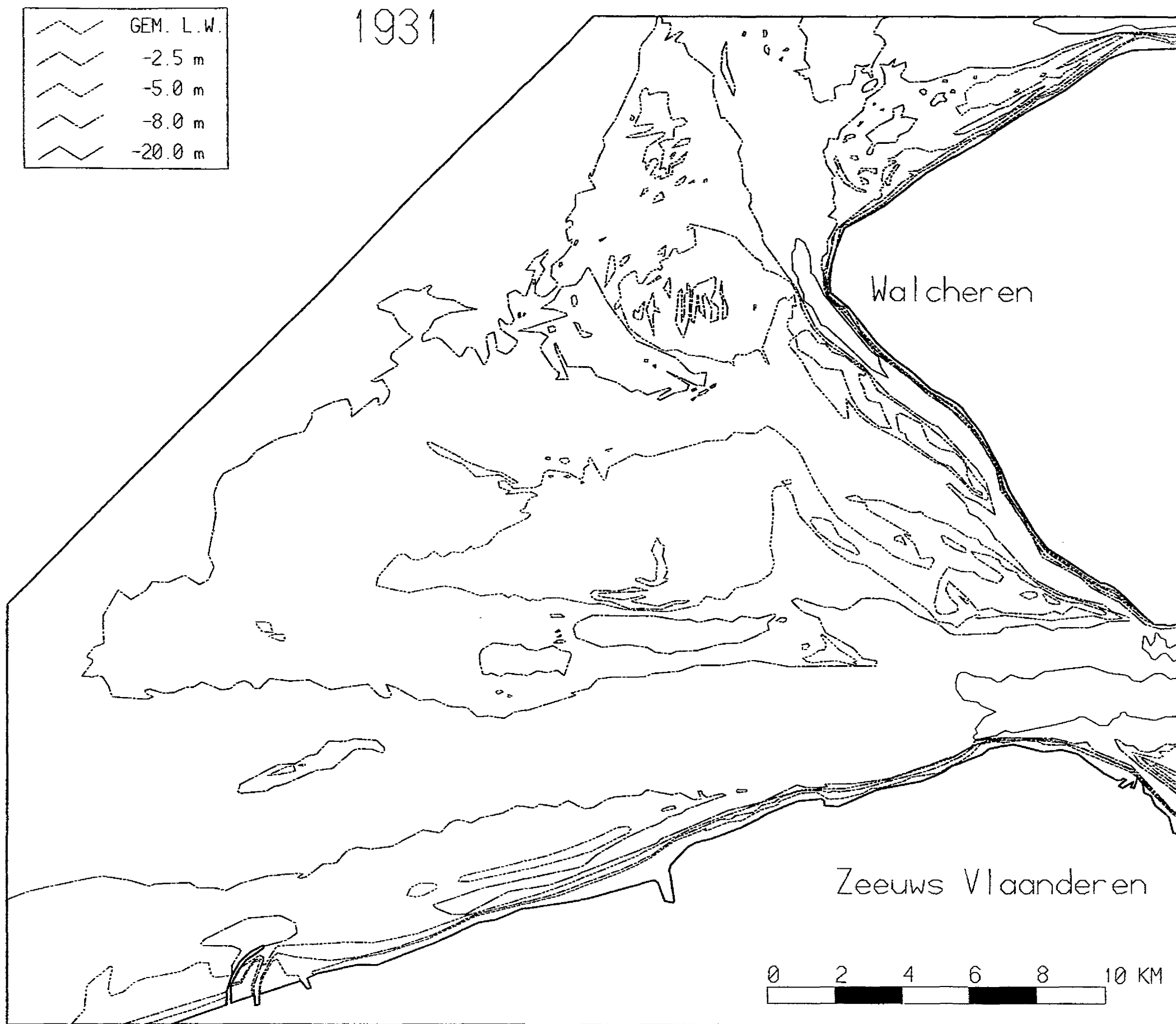
Walcheren

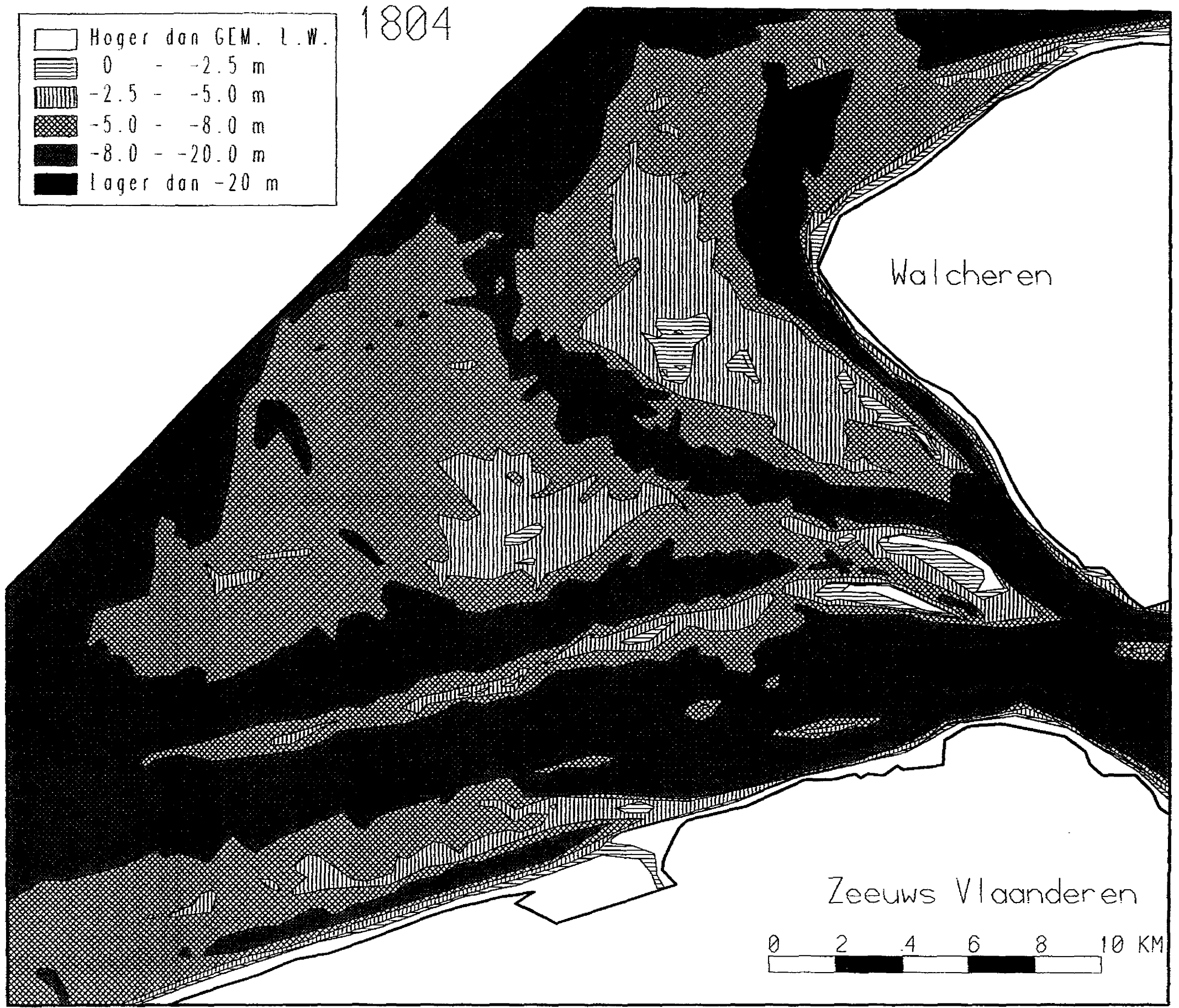
Zeeuws Vlaanderen

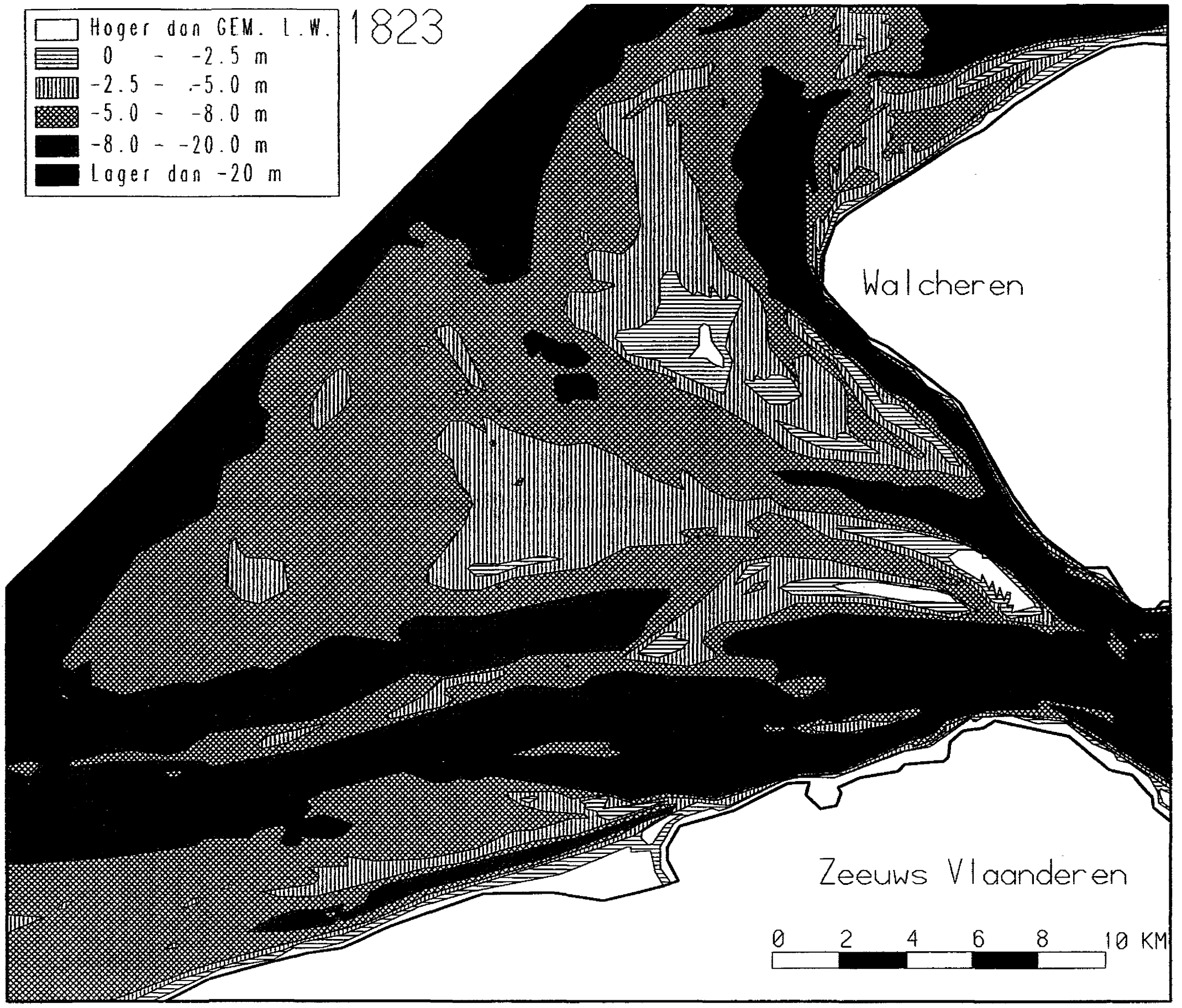
0 2 4 6 8 10 KM

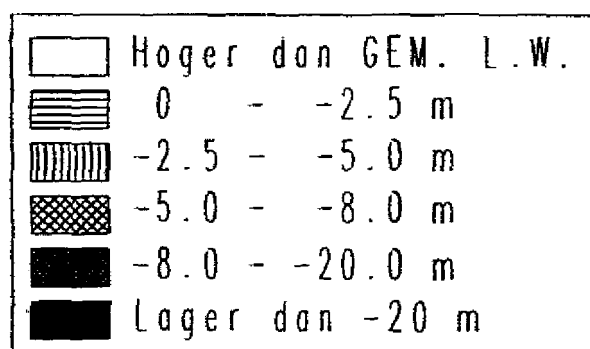




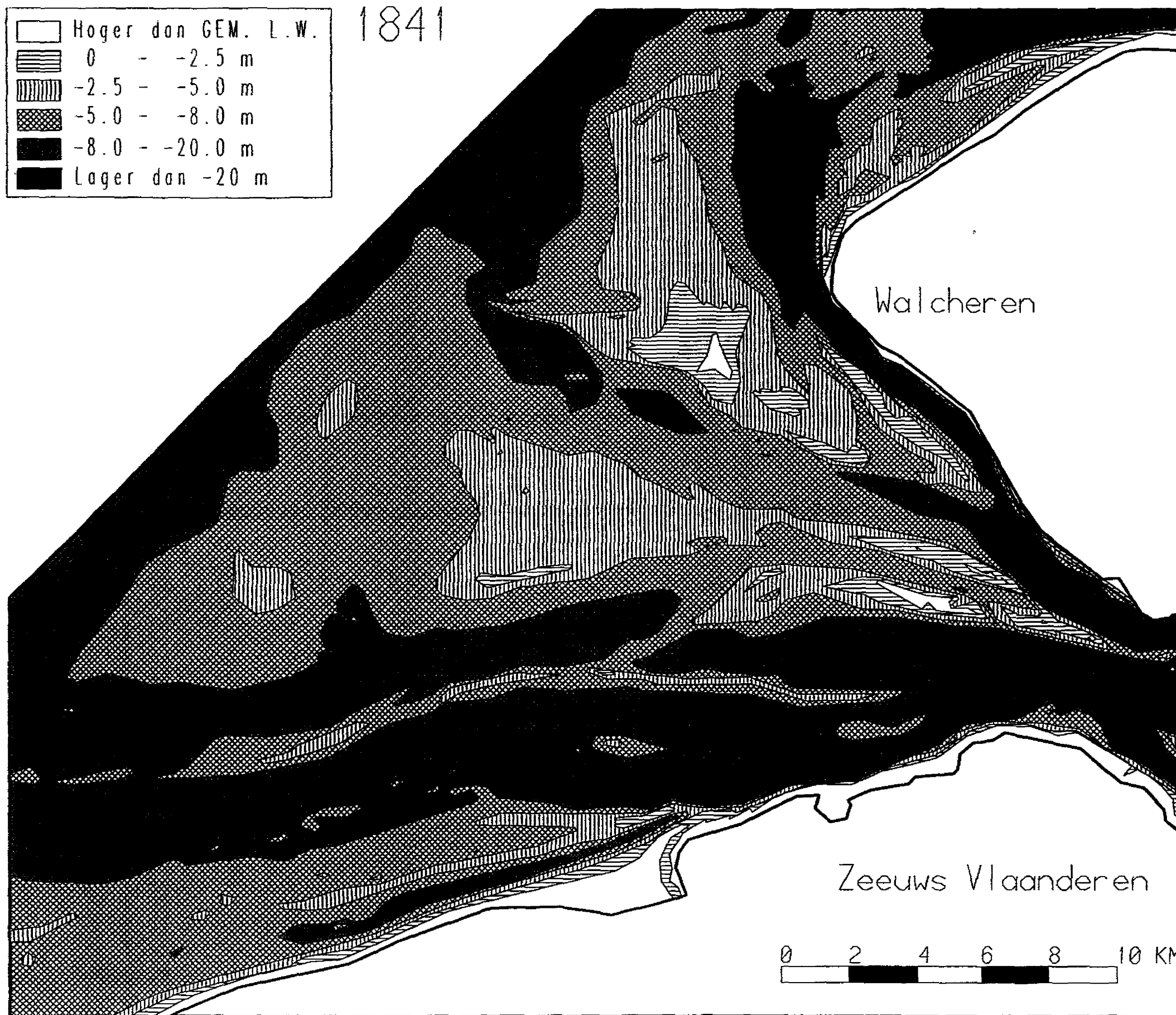






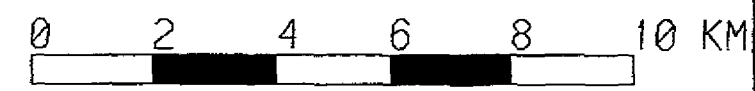


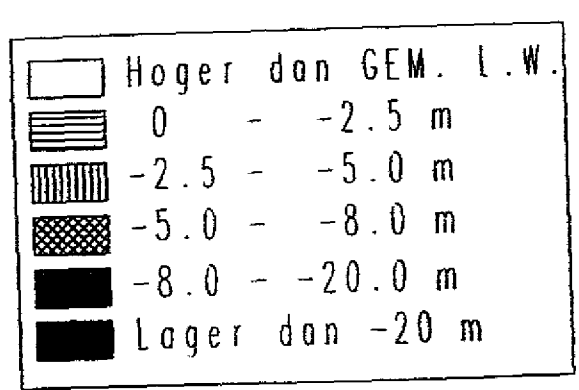
1841



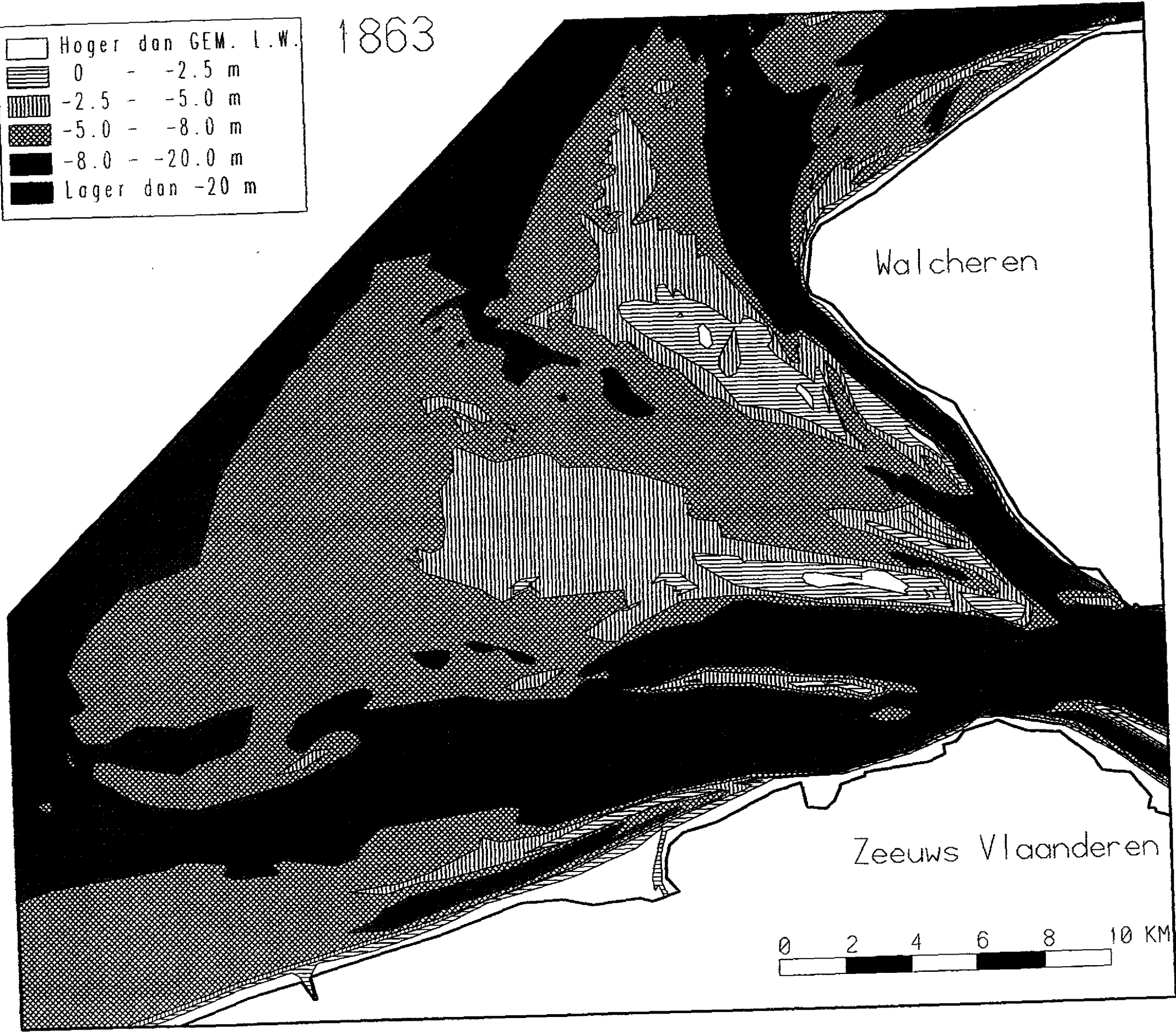
Walcheren

Zeeuws Vlaanderen



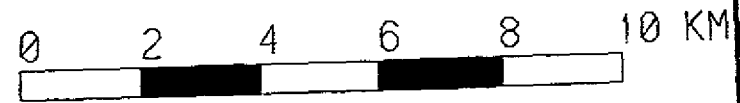


1863

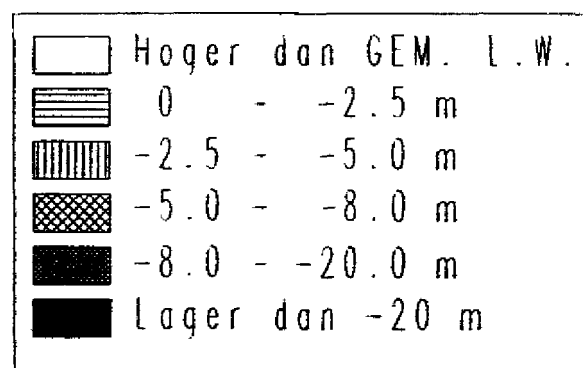


Walcheren

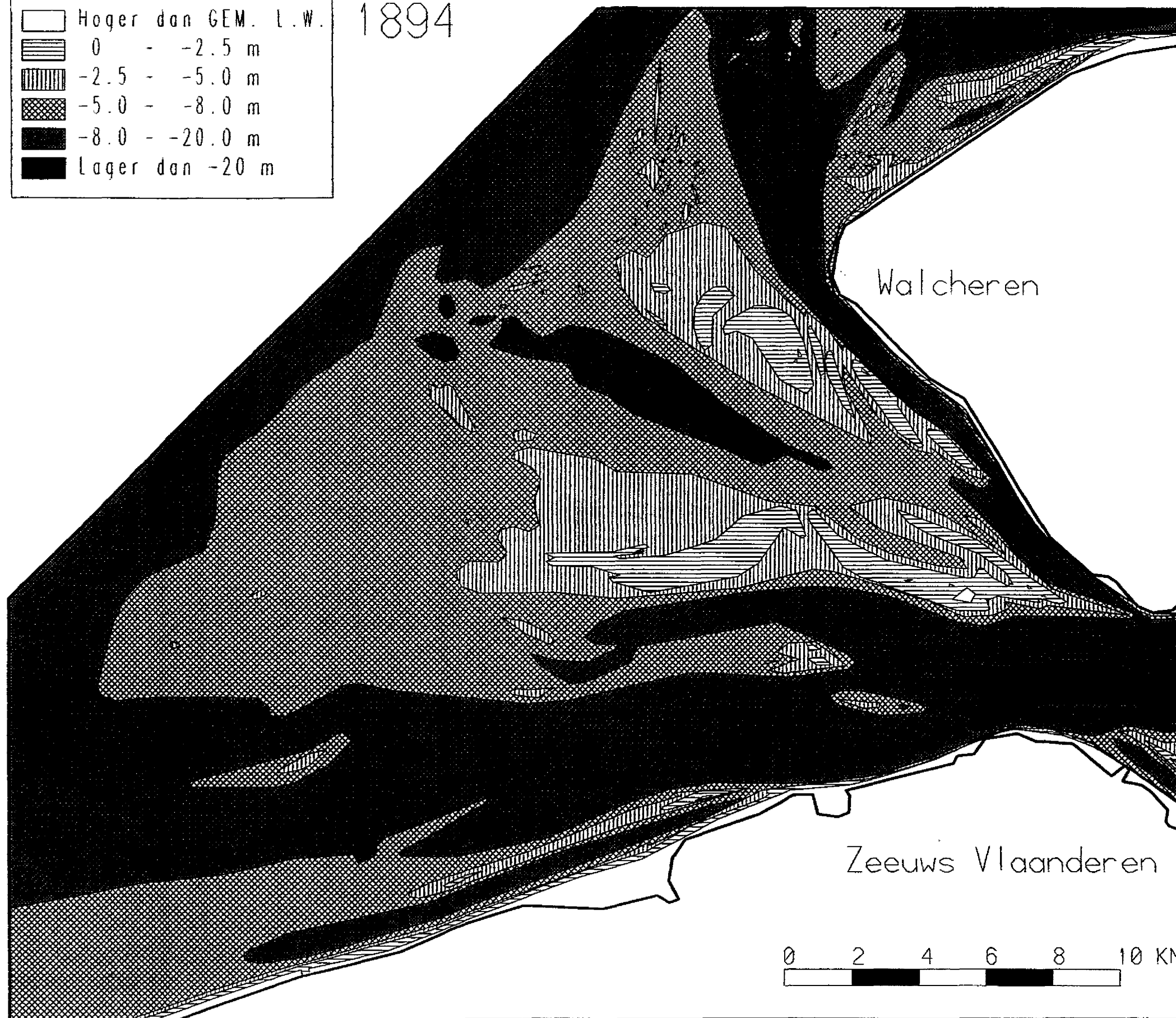
Zeeuws Vlaanderen

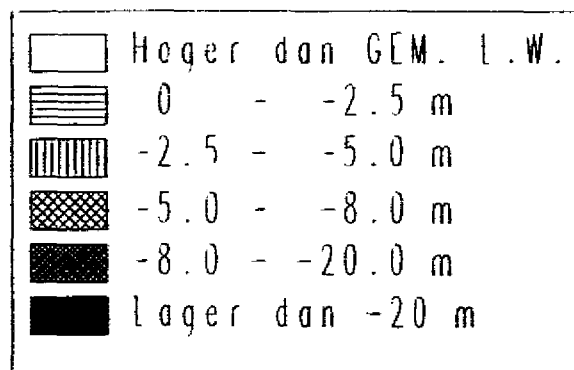




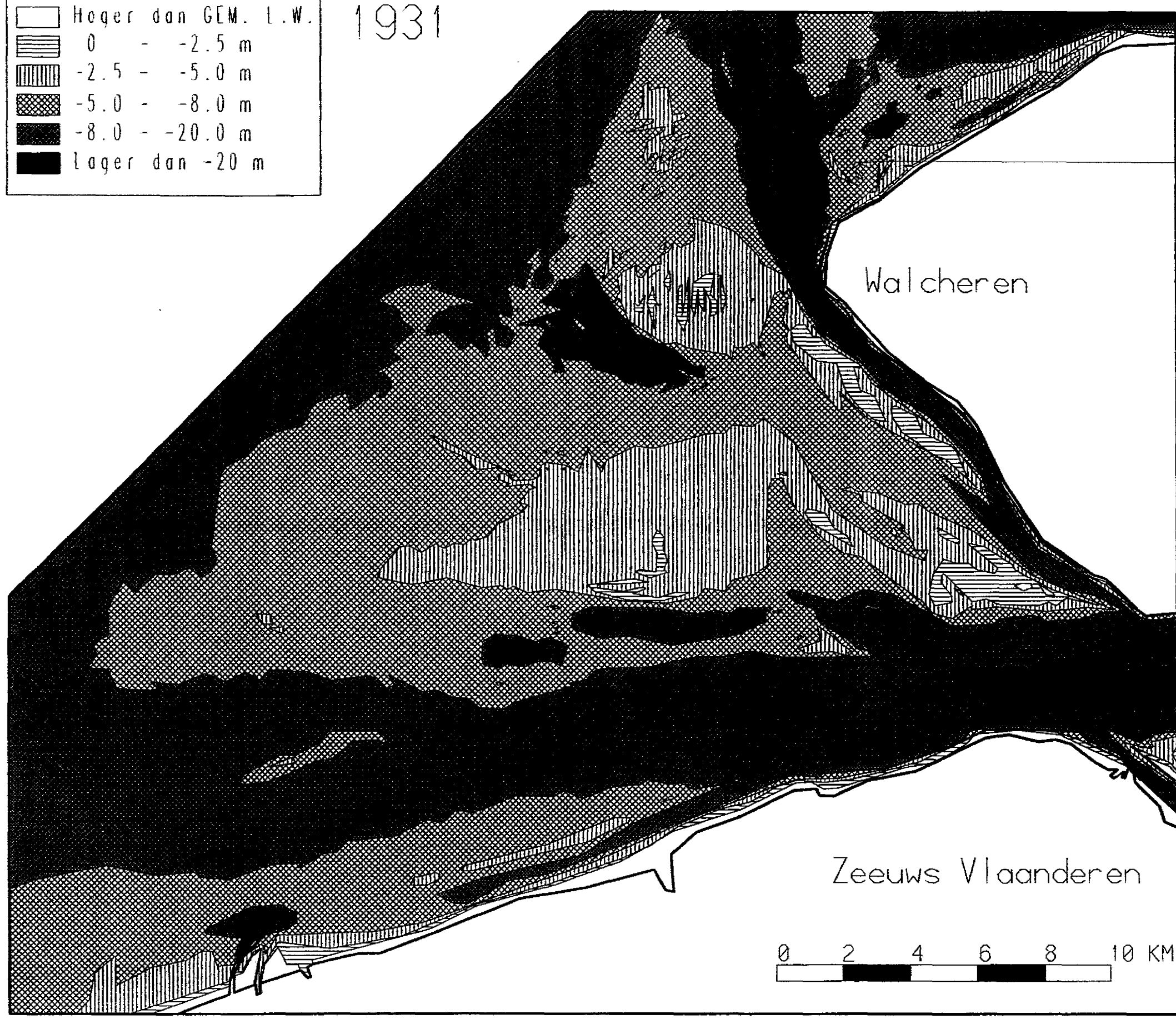


1894



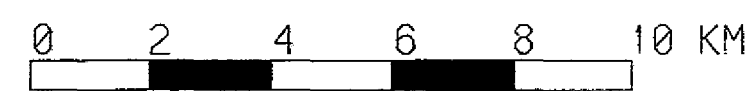


1931



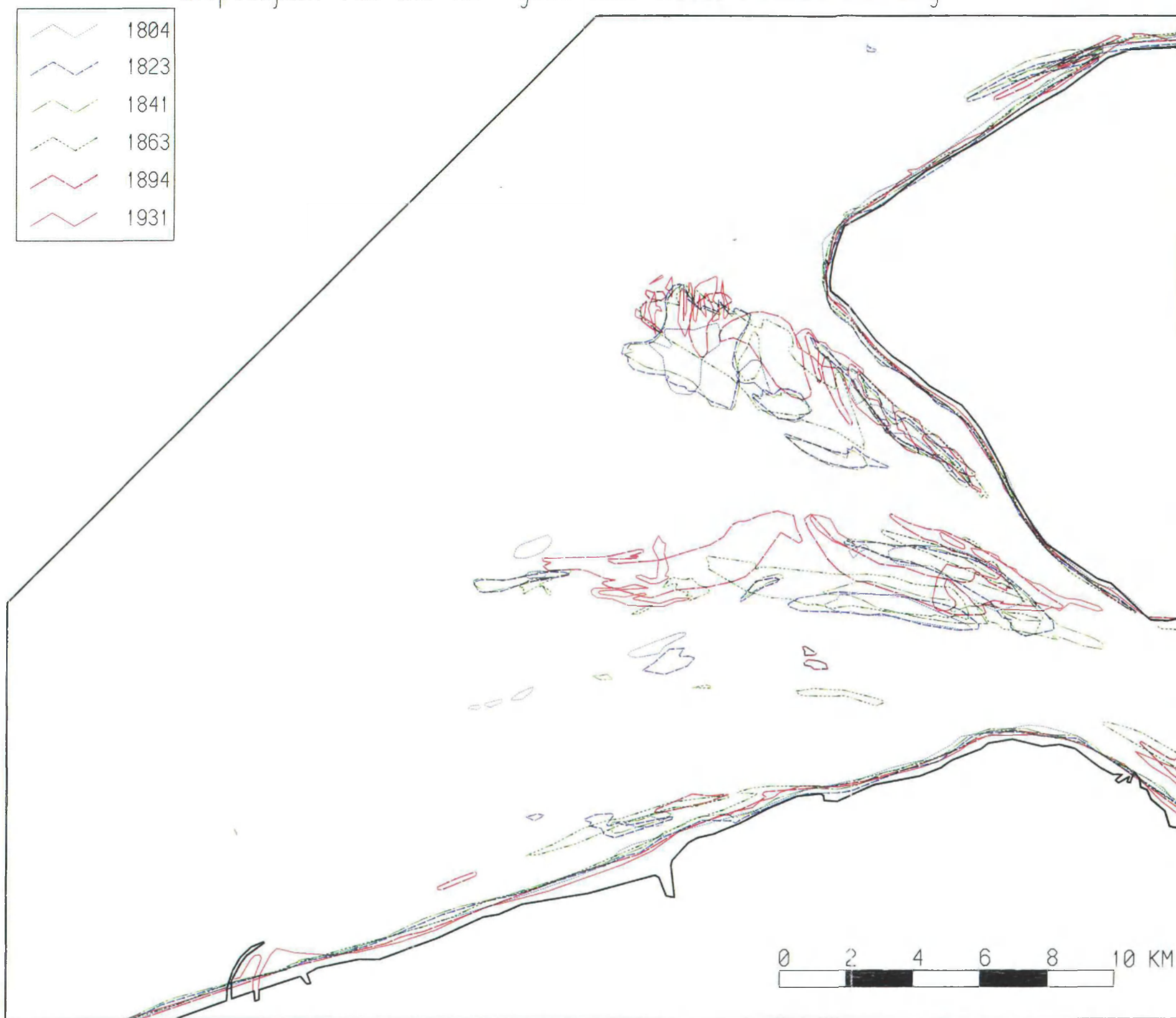
Walcheren

Zeeuws Vlaanderen



## Dieptelijnen van 2.5 m. -gem. L.W. Westerschelde monding







-2.5 m dieptelijn

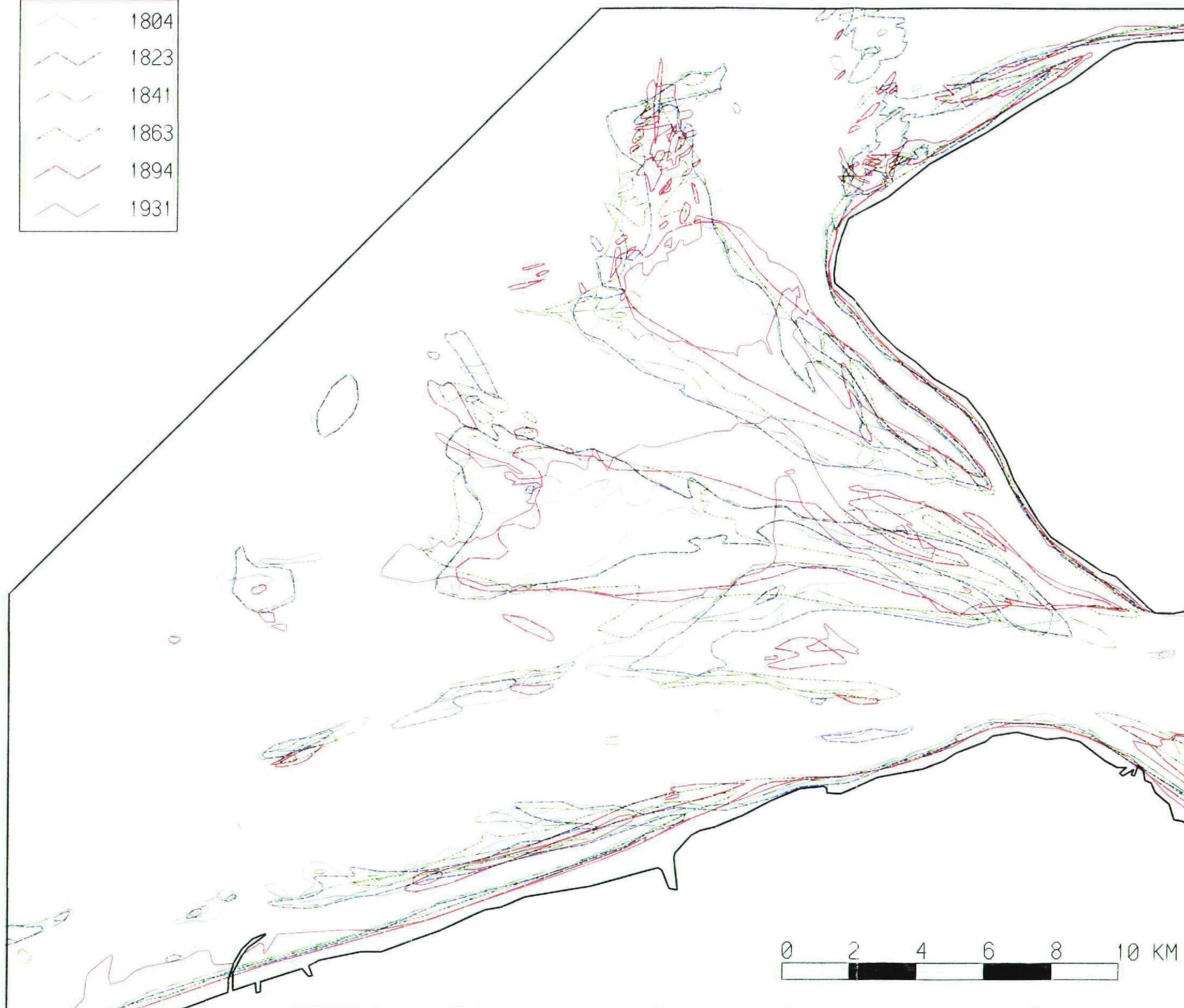




## Dieptelijnen van 5 m. -gem. L.W. Westerschelde monding

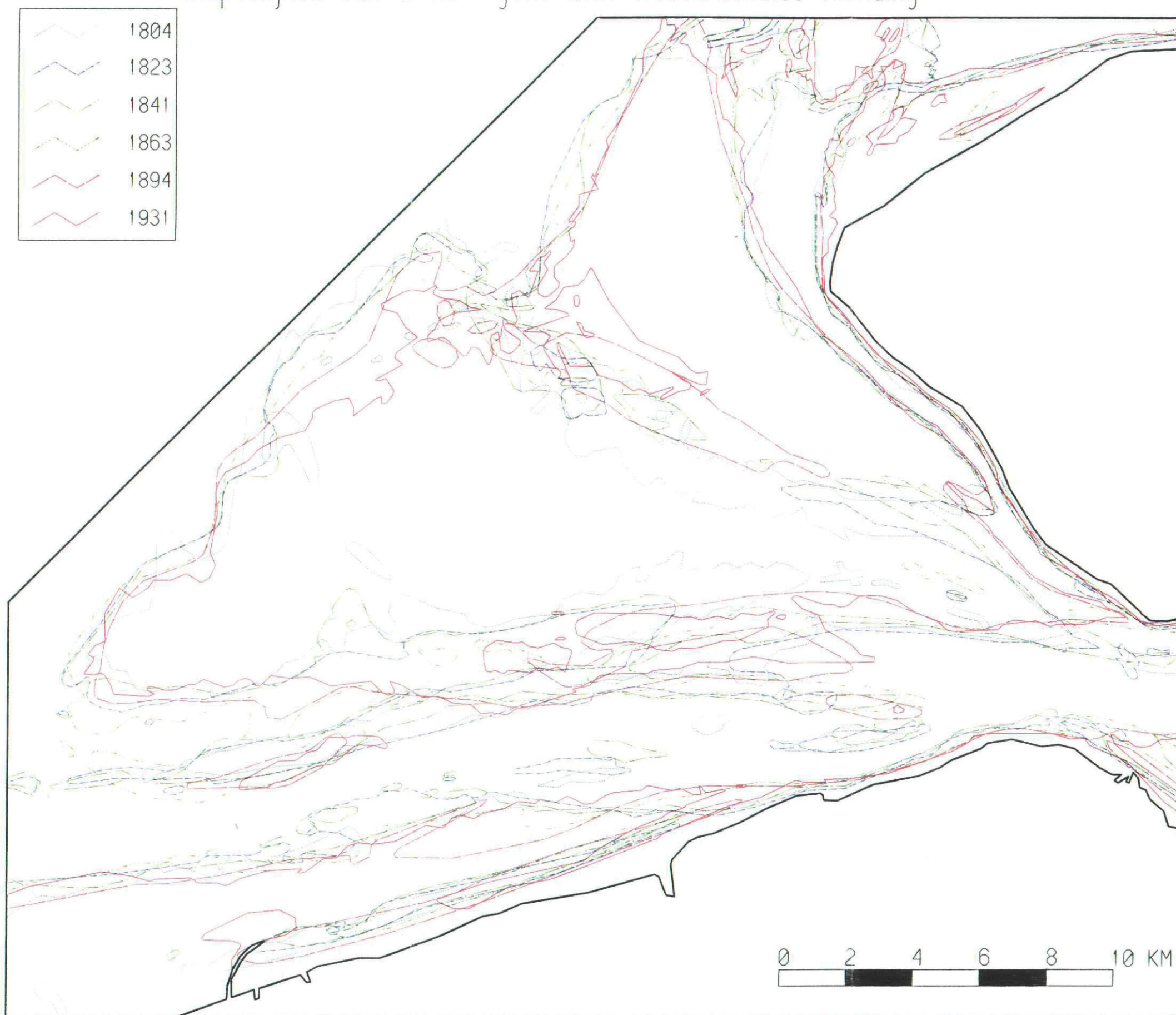
-5 m dieptelijn

	1804
	1823
	1841
	1863
	1894
	1931



## Dieptelijnen van 8 m. -gem. L.W. Westerschelde monding







-8 m dieptelijn





## Dieptelijnen van 20 m. -gem. L.W. Westerschelde monding

-20 m dieptelijn

	1804
	1823
	1841
	1863
	1894
	1931

