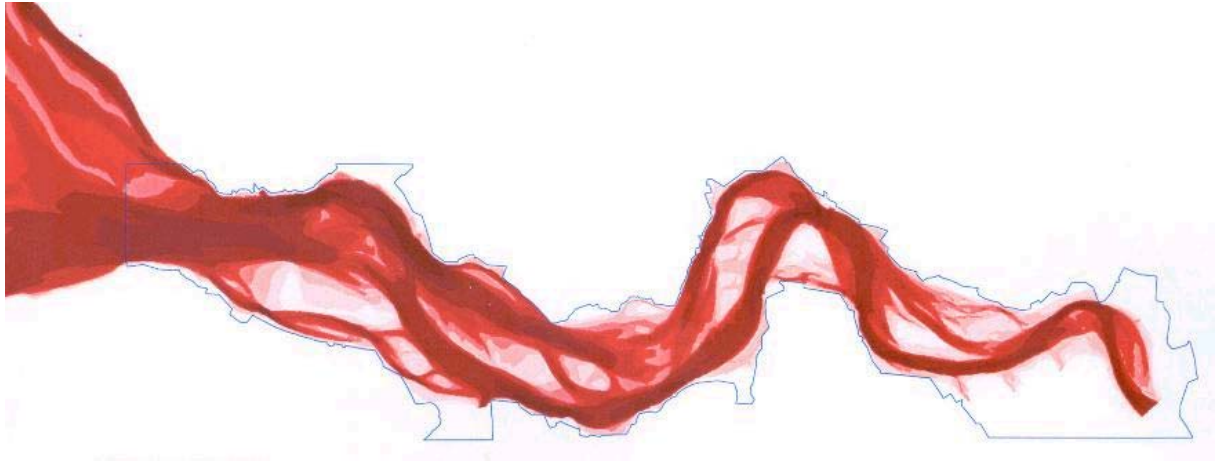


Twée eeuwen Westerschelde

Een morfologisch referentie kader



Onno Goldbach
December 2003



Twée eeuwen Westerschelde

Een morfologisch referentie kader

Instituut:

RIKZ Middelburg

Afdeling:

OSD

Auteur:

Onno Goldbach

Project:

Morfologisch Referentie Kader Westerschelde

Begeleiding:

RIKZ: Annika Hesselink, Dick de Jong

Universiteit Utrecht: Aart Kroon

Inhoudsopgave

Lijst met Figuren & Tabellen.....	6
1 Inleiding.....	7
1.1 Kader.....	7
1.2 Probleemstelling.....	7
2 Gebiedsbeschrijving.....	8
2.1 Schelde	8
2.2 Westerschelde.....	8
2.3 Menselijke invloeden.....	9
3 Werkwijze	11
3.1 Inleiding	11
3.2 Literatuuronderzoek en inventarisatie beschikbare gegevens	11
3.3 Geografische Informatie Systemen.....	11
4 Morfologische eenheden	13
4.1 Inleiding	13
4.2 Begrenzing.....	13
4.3 Geulen	13
4.4 Intergetijdegebied.....	15
4.5 Hard substraat.....	15
5 Morfologische dynamiek.....	16
5.1 Inleiding	16
5.2 Megadynamiek	17
5.2.1 Inleiding	17
5.2.2 Volumeveranderingen	18
5.2.3 Ratio waterdiepte.....	18
5.2.4 Ratio wateroppervlakte	18
5.2.5 Ratio waterdiepte en wateroppervlakte	18
5.2.6 Breedte-lengte ratio	20
5.2.7 Ratio lengte wrijvingsloze getijgolf en lengte estuarium.....	20
5.2.8 Vorm van het dwarsprofiel.....	20
5.3 Macrodynamiek.....	21
5.3.1 Inleiding	21
5.3.2 Breedtegemiddelde diepte	22
5.3.3 Breedte-diepte verhouding	22
5.3.4 Shields getal	22
5.3.5 De verhouding getijslag-waterdiepte	22
5.3.6 Verhouding korrelgrootte en breedtegemiddelde diepte.....	23
5.3.7 Verhouding getijslag en getijvolume	23

5.4 Mesodynamiek.....	23
5.5 Microdynamiek.....	23
5.6 Geschikte morfodynamische parameters	24
6 Resultaten.....	25
6.1 Hoogtemodellen	25
6.2 Megadynamiek	25
6.2.1 Morfologische situatie.....	25
6.2.2 Breedte Westerschelde	27
6.2.3 Breedtegemiddelde dieptes	27
6.2.4 Veranderingen in het dwarsprofiel.....	28
6.2.5 Volume Westerschelde.....	29
6.2.6 Sedimentbalansen.....	30
6.2.7 Ratio Waterdiepte.....	32
6.2.8 Ratio Wateroppervlak	33
6.2.9 Verhouding ratio wateroppervlak en waterdiepte	33
6.3 Macrodynamiek.....	34
6.3.1 Inleiding	34
6.3.2 Sectie1	34
6.3.3 Sectie2	35
6.3.4 Sectie3	36
6.3.5 Sectie4	37
6.3.6 Sectie5	38
6.3.7 Sectie6	39
7 Discussie	41
7.1 Nauwkeurigheid hoogtemodellen.....	41
7.2 Nauwkeurigheden datareeks	42
7.3 Discussie Megadynamiek	42
7.3.1 Breedte Westerschelde	42
7.3.2 breedtegemiddelde diepte.....	42
7.3.3 Diepteklassen	43
7.3.4 Volume verandering.....	43
7.4 Kanteling systeem.....	46
7.5 Statische sectiegrenzen.....	47
8 Conclusies.....	48
8.1 Megadynamiek	48
8.1.1 Begrenzing	48
8.1.2 Enkel versus meer geulen.....	48
8.1.3 Breedtegemiddelde diepte	48
8.1.4 Dwarsprofiel van de Westerschelde.....	48
8.1.5 Volumeverandering	49
8.1.6 Sedimenttransporten.....	49
8.1.7 Waterdiepte	49
8.1.8 Wateroppervlak	49

8.1.9 Verhouding wateroppervlak en waterdiepte	49
8.2 <i>Macrodynamiek per sectie</i>	50
9 Aanbevelingen.....	51
Literatuur.....	53

Lijst met Figuren & Tabellen

Figuren

- 2.1: *Stroomgebied Schelde*
- 2.2: *Historische inpolderingen (Schelde Atlas, 1999)*
- 3.1: *Stroomdiagram Hoogtemodel*
- 3.2: *Het relatieve oppervlak van de hoogtemodellen van de Westerschelde*
- 4.1: *Morfologische eenheden (Naar Huijs, 1996)*
- 4.2: *Schematisatie eb- en vloedscharen (Van Veen, 1950)*
- 4.3: *Topografie Westerschelde (Schelde Atlas, 1999)*
- 5.1: *Schaal cascade in de morfologie*
- 5.2: *Morfodynamische cyclus (Schipper, 2003)*
- 5.3: *De relatie tussen de verhouding waterdiepte tijdens hoog en laag water en de verhouding wateroppervlak bij hoog en laag water (Jeuken et al., 2001)*
- 5.4: *Theoretische profielen met de bijhorende histogramverdeling.*
- 5.5: *Schematisatie estuariene secties (Jeuken, 2000)*
- 5.6: *Geometrie van geulen geplot op de breedte-diepte verhouding*
- 6.1: *Schematisatie oosten Westerschelde*
- 6.2: *Schematisatie mondingsgebied*
- 6.3: *Breedte Westerschelde met exponentiële fit*
- 6.4: *Breedtegemiddelde diepte per sectie*
- 6.5: *Breedte Westerschelde met een lineaire fitting*
- 6.6: *Verdeling diepteklassen*
- 6.7: *Volumeveranderingen Westerschelde*
- 6.8: *Volumeveranderingen in Sectie1 en Sectie6*
- 6.9: *Ratio Waterdiepte*
- 6.10: *Ratio Wateroppervlak*
- 6.11: *Trend ratio wateroppervlak en waterdiepte*
- 6.12: *Estuariene Secties (naar Jeuken, 2000)*
- 6.13: *Overzicht parameters sectie1*
- 6.14: *Overzicht parameters sectie2*
- 6.15: *Overzicht parameters sectie3*
- 6.16: *Overzicht parameters sectie4*
- 6.17: *Overzicht parameters sectie5*
- 6.18: *Overzicht parameters sectie6*
- 7.1: *Onnauwkeurigheden in hoogtelijnen*
- 7.2: *Onnauwkeurigheden in Topogrid*
- 7.3: *Verdeling diepteklassen*
- 7.4: *Trend volumeveranderingen sectie1 en sectie2*
- 7.5: *Vergelijking evenwicht ($y=\sqrt{x}$) en ($y=x$)*

Tabellen

- 6.1: *Sedimenttransport in de Westerschelde*
- 7.1: *Hoogtelijnen met intervallen*
- 7.2: *Volumeveranderingen per sectie*
- 7.3: *Bepaling invloed zandwinning*

1 Inleiding

1.1 Kader

Het Nederlandse beheer van de Westerschelde is een taak van Rijkswaterstaat, Directie Zeeland. Deze directie heeft de doelstelling de veiligheid, de toegankelijkheid en de natuurlijkheid van de Westerschelde te waarborgen. Hiervoor moet Directie Zeeland de belangen van natuur, scheepvaart, industrie en andere menselijke activiteiten tegen elkaar afwegen. Om een beter inzicht te krijgen in het functioneren van de Westerschelde hebben zij het project Zeekennis opgesteld.

De doelstelling van het project Zeekennis is het leveren van kennis op het gebied van hydrodynamica, morfologie en ecologie, en de samenhang daartussen. Deze kennis is nodig om vragen van Directie Zeeland op het gebied van goederen en diensten van het Schelde-estuarium (met name ten aanzien van Veiligheid, Toegankelijkheid en Natuurlijkheid) te kunnen beantwoorden. Het huidige beleid van Rijkswaterstaat (Directie Zeeland) garandeert de natuurlijkheid van de Westerschelde. Beleidsmaatregelen zijn gericht op het behoud van het meergeulen stelsel in de Westerschelde. De vraag is echter of de Westerschelde niet natuurlijk “degenereert” van een meer geulensysteem naar een enkel geulsysteem. Om deze vraag te kunnen beantwoorden is het nodig om de morfologische ontwikkeling van de Westerschelde te reconstrueren. Hierbij is het belangrijk dat de morfologie van de Westerschelde niet een statisch gegeven is, maar als een dynamisch proces wordt gezien (Vroon *et al.*, 1997). Dat betekent dat voor een referentie van een morfologische toestand meer gekeken wordt naar de trends in de ontwikkelingen dan naar de toestand van een bepaald moment. Het onderzoek binnen dit morfologische referentiekader zoekt naar tendensen die inzicht geven in het gedrag van het geulensysteem in de Westerschelde.

1.2 Probleemstelling

Doel van dit onderzoek is het bepalen van het morfologische referentie kader van de Westerschelde op basis van de ontwikkelingen in de afgelopen twee eeuwen. Omdat het morfologisch referentiekader een dynamisch proces omschrijft zijn er parameters nodig die eenduidig de morfologische dynamiek beschrijven. De vragen die in dit onderzoek centraal staan zijn:

- Hoe is de morfologische ontwikkeling verlopen van 1800 tot 2002?
- Wat is de invloed van de natuur en van de menselijke ingrepen op de morfologische ontwikkeling?
- Welke parameters beschrijven de morfodynamiek?
- Zijn er morfodynamische evenwichten waarneembaar met behulp van de huidige gegevens?

2 Gebiedsbeschrijving

2.1 Schelde

De Westerschelde is het estuarium in het stroomgebied van de Schelde (Figuur 2.1). Deze rivier ontstaat in noord Frankrijk en mondt bij Vlissingen in zee uit. De lengte van de Schelde is 355 km en wordt gevoed door een stroomgebied van 21860 km². De Schelde is een regenrivier. Het getij in de Schelde reikt tot de stuw bij Gent. Het deel van de Schelde van Gent tot Antwerpen wordt de Zeeschelde genoemd.



Figuur 2.1: Stroomgebied Schelde

2.2 Westerschelde

De Westerschelde behoort tot de getij-gedomineerde estuaria met een meso tot macro getijde-regiem (Dalrymple *et al.*, 1992). Het getijde-regiem is gedefinieerd als het niveauverschil tussen gemiddeld hoogwater en gemiddeld laagwater. Het gemiddelde getijde-regiem is bij Vlissingen 3,8 meter en circa 80 kilometer stroomopwaarts bij Antwerpen 5,2 meter. De amplitude van de getijdegolf neemt van Vlissingen tot Antwerpen toe. Dit komt door het versmallen van het estuarium, door wrijving van de bodem en door het deels reflecteren van de getijdegolf. Stroomopwaarts van Antwerpen neemt de getijdeslag weer af.

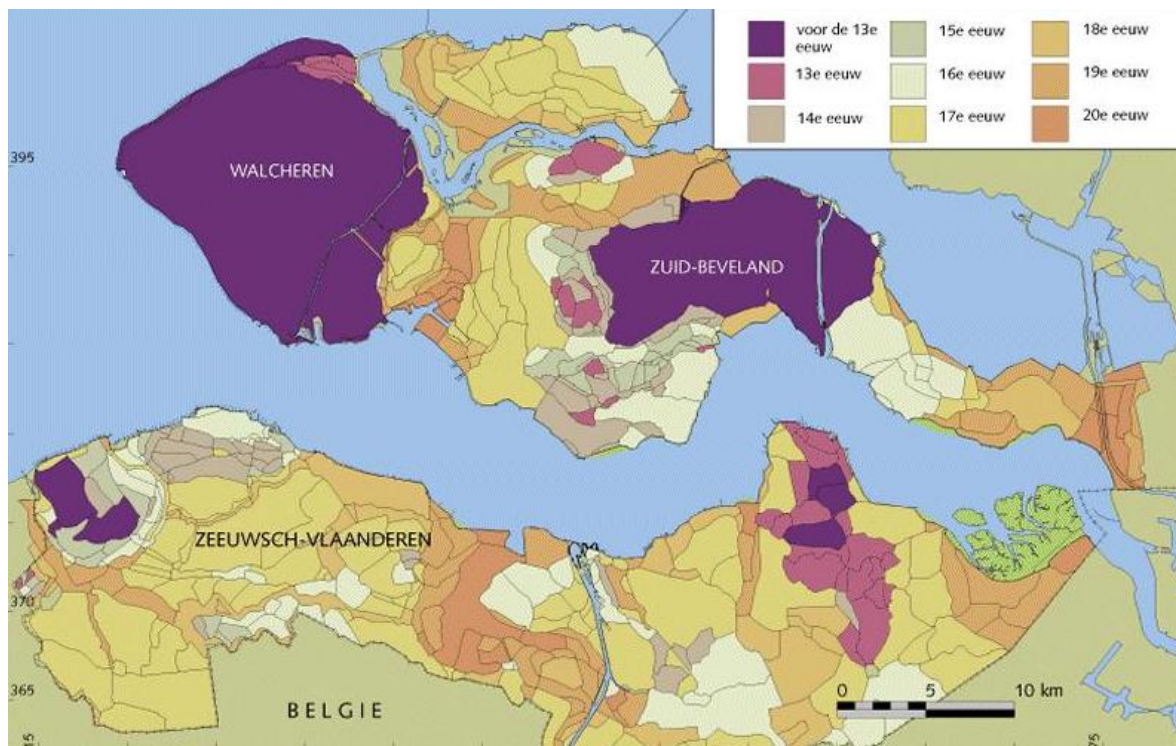
Tweemaal daags treedt er in de Westerschelde vloed op. Dit komt door de primair sturende kracht M2. De M2 is een harmonische kracht, uitgeoefend door de massa van de maan op het water, die tweemaal daags het getij beïnvloed. In het hele Schelde-estuarium duurt de vloed korter dan de eb. Dit verschil wordt groter naarmate de getijdegolf meer landinwaarts komt en de getijdeslag groter wordt (Claessens en Meyvis, 1994; Vroon *et al.*, 1997).

De toevoer van zoutwater vanaf de Noordzee is 240 maal groter dan de toevoer van zoetwater vanuit de Schelde (Jeuken, 2000; De Kraker 2002). Er stroomt ieder getij $1.1 \cdot 10^9$ m³ zeewater

de Westerschelde in. De Schelde levert gemiddeld 120 m³/s zoet water aan de Westerschelde (De Kraker, 2002) en heeft een verwaarloosbare invloed op het getij in de Westerschelde.

2.3 Menselijke invloeden

Sinds de Romeinse tijd hebben mensen rond de Westerschelde gewoond en proberen ze het water te bedwingen. In het begin gebeurde dit door het afdammen van kreken. Later werd men door overstromingen gedwongen ringdijken aan te leggen. Sinds de 11^e eeuw wordt er ingepolderd (Schelde Atlas, 1999). De meeste inpolderingen hebben in de 17^e eeuw plaats gevonden (Figuur 2.2). De laatste twee eeuwen hebben een belangrijke rol gespeeld in het karakter van de Westerschelde. Door de aanleg van de Kreekrakdam (1866-1868) en de Sloedam (1871) is de Westerschelde van de Oosterschelde gescheiden (Pieters, 1993). Tevens is vanaf 1800 nog eens een derde deel ingepolderd (15600 ha, Huijs, 1996) en momenteel is er nog 30% over van de maximale omvang van het estuarium (30.930 ha, De Kraker, 2002). De laatste grote inpolderingen hebben plaats gevonden rond 1950. De Westerschelde is helemaal vastgelegd door dijken. De hogere gebieden (schorren en slikken) worden door kribben beschermd.



Figuur 2.2: Historische inpolderingen (Schelde Atlas, 1999)

In 1905 beginnen de eerste kleinschalige baggerwerkzaamheden in de Westerschelde. Vanaf 1925 zijn er jaarlijkse onderhoudsbaggerwerkzaamheden (Brand, 1983). De eerste grote baggerwerkzaamheden vinden in 1970 in het oostelijk deel van het estuarium plaats. Om de natuurlijkheid van de Westerschelde zo min mogelijk aan te tasten zijn in de loop der jaren de strategieën voor baggerwerkzaamheden, baggerstort en het winnen van zand veranderd. Er wordt onderscheid gemaakt tussen een oude en een nieuwe bagger-, stort- en zandwin strategie:

Oude bagger-, stort- en zandwinstrategie: Hier is voornamelijk gebaggerd in de hoofdgeul (ebgeul) in het ondiepere oostelijke deel van de Westerschelde. De stort heeft in de parallelle geulen (vloedscharen) plaatsgevonden en in het westelijke deel van de Westerschelde is zand gewonnen. Deze strategie heeft tot 1997 plaatsgevonden.

Nieuwe bagger-, stort- en zandwinstrategie: In het oosten wordt er zoveel mogelijk zand gewonnen zodat daar minimaal gebaggerd hoeft te worden. Het gebaggerde materiaal wordt in het westelijke deel gestort. Deze strategie wordt vanaf 1997 toegepast.

In het verleden hebben ook twee grote verruiming van de Westerschelde plaats gevonden. Deze verruiming hebben als doel een vaargeul met een bepaalde minimale diepte te garanderen.

1970-1975: de eerste grote verruiming. Deze verruiming had als doelstelling een vaargeul te garanderen van -14.5 m NAP. De oude bagger-, stort- en zandwinstrategie werd aangepast op deze verruiming.

1997-1998: de tweede grote verruiming. Deze verruiming was noodzakelijk om een vaargeul te garanderen van -16 m NAP. Tijdens en na deze verruiming is de nieuwe bagger-, stort- en zandwinstrategie toegepast.

Ter bevordering van de landwinning is er in 1924 in de Westerschelde een experiment uitgevoerd, waarbij Engels slijkgras (*Spartina anglica*) is geïntroduceerd. Dit experiment met Slijkgras sloeg goed aan en in 1925 werd er besloten om 40.000 plantjes te planten. Als gevolg hiervan versnelde de verzanding van de Braakman en andere slikken. De oorspronkelijke begroeiing, het Klein slijkgras, is door de introductie van het Engels slijkgras bijna geheel verdwenen.

3 Werkwijze

3.1 Inleiding

Om de morfologische ontwikkeling van Westerschelde zo goed mogelijk te reconstrueren is literatuuronderzoek en kaartonderzoek gedaan. De beschikbare ruimtelijke gegevens zijn geïnventariseerd en in een G.I.S. (Geografisch Informatie Systeem) bewerkt. Hierbij zijn er duidelijke en bruikbare digitale kaarten ontstaan. Deze kaarten hebben betrekking op de morfologie van de Westerschelde en hebben uiteindelijk gediend voor de analyse van de morfologische evolutie van het Westerschelde estuarium.

3.2 Literatuuronderzoek en inventarisatie beschikbare gegevens

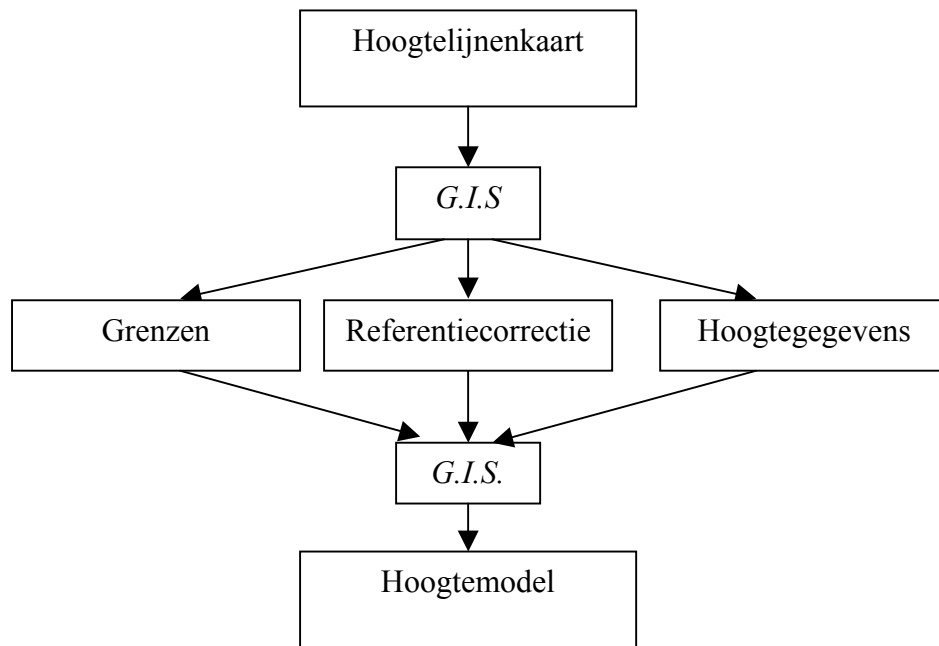
Het literatuuronderzoek bestaat uit meerdere fasen, een inventariserende fase en een gedetailleerd literatuuronderzoek. In de inventariserende fase staat de algemene morfologie, topografie en de hydrodynamica van de Westerschelde centraal. In de gedetailleerde literatuurstudie is specifiek gekeken naar kennis over morfologische eenheden, de morfodynamiek en over antropogene invloeden. Ten behoeve van gegevensbewerkingen zijn er verschillende handleidingen van G.I.S. op nageslagen.

Na het literatuuronderzoek zijn alle beschikbare gegevens geïnventariseerd. De bruikbare en digitale toegankelijke gegevens zijn topografische kaarten, lodingkaarten en dieptelijnen kaarten (Bijlage 1). Lodingen bevatten hoogte en diepte informatie (z) op bepaalde punten in de ruimte (x,y). Van alle lodingen is de bijbehorende referentiehoogte geïnventariseerd.

3.3 Geografische Informatie Systemen.

De morfologische ontwikkeling is onderzocht met een G.I.S. Met dit systeem is de ruimtelijke data bewerkt waardoor het mogelijk is om een reeks kaarten in de tijd te maken. G.I.S. bewerkingen zijn nodig om de oorspronkelijke hoogtelijnkaarten om te zetten in hoogtemodellen. De belangrijkste G.I.S. bewerking is het interpoleren. De interpolatie is nodig om lodingen (hoogtelijnen) om te rekenen naar continu veld met hoogtegegevens (hoogtemodel). De toegepaste interpolatie methode binnen de gebruikte G.I.S.-programmatuur *Arc* is de module: *Topogrid*.

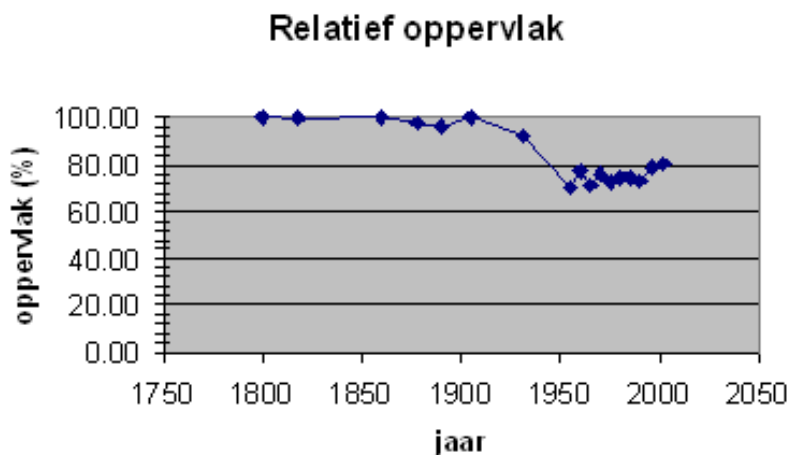
De hoogtelijnkaarten bevatten naast hoogtelijnen ook informatie over dijken, kribben en schorren. Gegevens die geen hoogte beschrijven mogen niet mee geïnterpoleerd worden. De hoogtegegevens bepalen het verloop van het oppervlak in het hoogtemodel. De grens van het hoogtemodel bepaalt waarbinnen de interpolatie plaatsvindt en het referentieveld bepaalt hoeveel er gecorrigeerd moet worden om de hoogtegegevens naar NAP te refereren. Dit laatste speelt een rol in de kaarten uit de 19^e eeuw. Hierbij zijn de hoogtegegevens niet standaard gerefereerd aan NAP. In Figuur 3.1 is in een stroomdiagram weergegeven waarbij staat aangegeven hoe het hoogtemodel tot stand is gekomen.



Figuur 3.1 Stroomdiagram Hoogtemodel

De kaarten tussen 1800 en 1905 moeten aan het NAP gerefereerd worden zodat alle kaarten aan NAP gerefereerd zijn. Volgens de kopieën van Rijkswaterstaat zijn de oorspronkelijke dieptes gerefereerd aan het oude referentievlak G.L.L.W.S. (Gemiddeld Laag Laagwater Spring). Echter bestaat het referentievlak G.L.L.W.S. pas sinds 1921 (Doekes, Mond. Med. 2003). Volgens Doekes (Mond. Med. 2003) moet de referentie van de oorspronkelijke kaarten het voormalige M.E. (Middelbaar Eb) zijn. De toegepaste correctie is gedaan met behulp van de getijgegevens uit Bijlage 3.

Het is gebleken dat de ondiepe delen van de Westerschelde door de tijd heen niet consequent zijn gekarteerd (Land van Saeftinge, Braakman, de Kaloot, Schor van Waarde, Hooge Platen; Bijlage 5). Op de oude kaarten staat meer areaal gekarteerd dan op de nieuwe kaarten (Figuur 3.2).



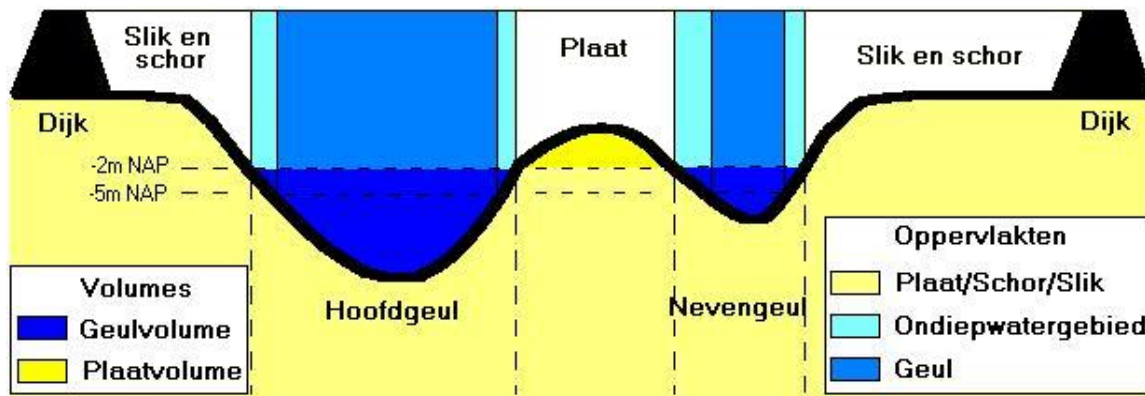
Figuur 3.2 Het relatieve oppervlak van de hoogtemodellen van de Westerschelde (relatief ten opzichte van het maximale gekarteerde oppervlak)

Het is van belang dat er gebruik gemaakt wordt van hoogtemodellen die exact hetzelfde gebied beschrijven. Zo kunnen er door de tijd heen trends bepaald worden van variabelen zoals het watervolume, het wateroppervlak en de breedtegemiddelde diepte.

4 Morfologische eenheden

4.1 Inleiding

Om de morfologie zo goed mogelijk te onderzoeken zijn morfologische eenheden onderscheiden en vervolgens beschreven. Met behulp van deze beschrijving kan een morfologisch beeld van de Westerschelde als geheel gecreëerd worden. De verschillende morfologische eenheden zijn geulen, slikken, platen en schorren, de laatste drie eenheden vormen samen het intergetijdengebied (Figuur 3.1).



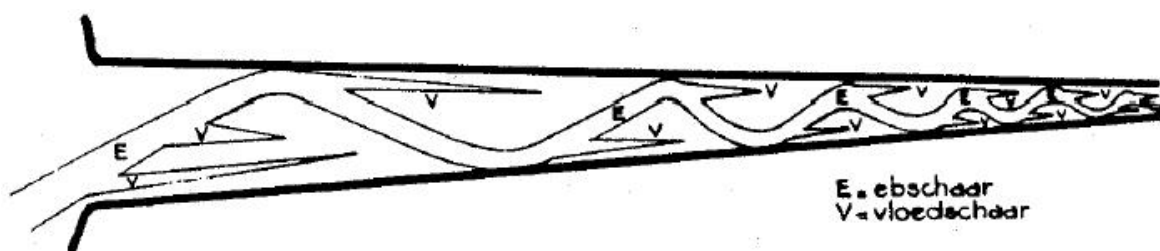
Figuur 4.1 Morfologische eenheden (naar Huijs, 1996)

4.2 Begrenzing

Het is noodzakelijk om de grens van het Westerschelde-estuarium te bepalen om de morfologische eenheden van de Westerschelde te kunnen definiëren. Deze grens is vrij constant en wordt bepaald door de ligging van moeilijk erodeerbare veen- en kleilagen in de ondergrond van de slikken en schorren. Sinds de Romeinse tijd wordt de grens van het Westerschelde-estuarium ook bepaald door versterkingen die zijn aangelegd om het water te bedwingen. Tevens zijn er kunstwerken aangelegd om geulen, platen, schorren en slikken vast te leggen (geulwandversterkingen, leidammen en kribben). In dit onderzoek wordt de noordelijke en de zuidelijke begrenzing van de Westerschelde bepaald door de huidige bandijken. Het oosten van de Westerschelde wordt in dit onderzoek bepaald door de Nederlands-Belgische grens. De westelijke grens is een denkbeeldige lijn tussen Vlissingen en Breskens.

4.3 Geulen

Geulen voeren het grootste deel van het getijde water van en naar zee. Er bestaat een onderscheid tussen eb- en vloedgeulen. Volgens Van Veen (1950) karakteriseert de ebgeul zich door van de ene oever naar de andere oever te meanderen en stroomafwaarts te migreren. De vloedscharen richten zich stroomopwaarts vanuit de bochten van de ebgeul (Figuur 4.2).



Figuur 4.2 Idealisatie eb- en vloedgeulen (Van Veen, 1950)

Eb- en vloedgeulen verschillen in morfologie en dynamiek als gevolg van de getij-asymmetrie (Van den Berg *et al.*, 1996). Wanneer bij vloed de hoogste waterstanden bereikt zijn begint het eb. Het water stroomt dan via de laagste delen richting zee af. Omdat het water door de laagste plekken in het estuarium stroomt wordt het doorstroomoppervlak kleiner. Er ontstaan grote stroomsnelheden die leiden tot een diep uitgeslepen, doorgaande ebgeul (Zuurdeeg, 1974). De ebgeul gedraagt zich als een rivier die zich wil uitbochten en meandert door de Westerschelde (Van Veen, 1950). De ebgeulen zijn de hoofdgeulen en worden als hoofdvaarwater gebruikt.

Door de relatieve korte vloedduur en de grote getijslag stroomt er in een korte periode veel water de Westerschelde in. Het inkomende water stroomt zoveel mogelijk in een rechte lijn. Vanuit het benedenstroomse deel van de ebgeulen vormen zich brede en diepe geulen, dit zijn vloedgeulen (Van Veen, 1950). Zolang de geulen niet gevuld zijn treedt een concentratie van het water op. Hierdoor ontstaan grote stroomsnelheden. Wanneer de geulen gevuld zijn, stroomt de geul over en wordt de gehele breedte van het estuarium gevuld. Hierdoor neemt het doorstroomprofiel toe waardoor de stroomsnelheden afnemen. Het uitschurende vermogen van het water neemt af waardoor de geul dood loopt (Zuurdeeg, 1974). Voorbeelden van vloedgeulen zijn de Scharen van Spijkerplaat, Waarde en Bath (Figuur 4.3). De meeste vloedgeulen vormen de nevengeulen in de Westerschelde.



Figuur 4.3 Topografie Westerschelde (Schelde Atlas, 1999)

De eb- en vloedgeulen worden door langgerekte plaatgebieden van elkaar gescheiden. Als tussen beide zijden van een plaat een waterstandsverschil is, kunnen er kortsluitgeulen ontstaan. Deze waterstandsverschillen worden veroorzaakt door verschillende looptijden van de getijdegolf in de afzonderlijke geulen. Hoe groter het tijdverschil is, des te groter is het verhang in de kortsluitgeul (Vroon *et al.*, 1997). De kortsluitgeulen kunnen een herverdeling van het getijdewater tot gevolg hebben maar spelen als sedimenttransport medium nauwelijks een rol (Jeuken, 2000). Kortsluitgeulen zijn volgens Jeuken (2000) zowel in tijd als in ruimte cyclisch. Er zijn drie fasen in deze cyclus te onderscheiden. De eerste fase is het ontstaan van een kortsluitgeul. In fase twee expandeert de kortsluitgeul en migreert deze stroomafwaarts. In de derde fase vermindert de hydraulische effectiviteit doordat de geullengte groter wordt. Dit resulteert in degeneratie van de kortsluitgeul en het ontstaan van een nieuwe kortsluitgeul elders.

4.4 Intergetijdegebied

Het intergetijde gebied in de Westerschelde is gedefinieerd als het gebied dat met extreem laagwater droog valt en dat bij extreem hoogwater onderstroomt. In het intergetijdegebied zijn op grond van de morfologie een aantal eenheden te onderscheiden: platen, slikken en schorren.

Platen worden gedefinieerd door de gebieden boven Gemiddeld Laag Laagwater Spring (G.L.L.W.S.). Huijs (1996) heeft het G.L.L.W.S. vereenvoudigd naar -2 m NAP. Dit is niet correct omdat het G.L.L.W.S. door het estuarium verschuift en door de tijd heen niet constant is. Binnen de platen maakt Huijs (1996) onderscheid tussen lage plaatdelen (van -2 m tot aan NAP) en de hogere plaatdelen (boven NAP). De platen verplaatsen zich als gevolg van erosie en sedimentatie.

Slikken zijn gebieden die aan de dijk grenzen en die bij laagwater boven water komen. Een ander onderscheid met platen is de ondergrond. In de Westerschelde liggen de slikken voor het grootste deel op veenbanken. Deze veenbanken zijn moeilijk erodeerbaar en beschermen de slikken tegen erosie. Door de stugge ondergrond zijn slikken statische eenheden.

Wanneer slikken en platen hoog opslibben en er vegetatie op gaat groeien spreekt men over schorren. Er zijn verschillende verlandingsstadia te onderscheiden van primair schor tot oud schor. Dit onderscheid wordt gemaakt op basis van het type vegetatie en de bedekkingsgraad van de vegetatie (Schelde Atlas, 1999). Ondanks het vlakke verloop van schorren zijn er karakteristieke hoogteverschillen. Schorren worden doorsneden door krekens. Het reliëf bestaat uit de hogere oeverwallen langs diepere krekens. Lagere kommen bevinden zich achter deze oeverwallen. De schorren in de Westerschelde liggen vaak op een harde veenbanken. Deze veenbanken zijn moeilijk erodeerbaar en beschermen de schorren tegen afkalvingen. Op plaatsen waar de geulen in de schorren snijden zijn erosiekliffen aanwezig. Deze kunnen soms enkele decimeters hoog zijn (Schelde Atlas, 1999). Het grootste aaneengesloten schorren en slikken gebied is het Verdrongen Land van Saeftinghe.

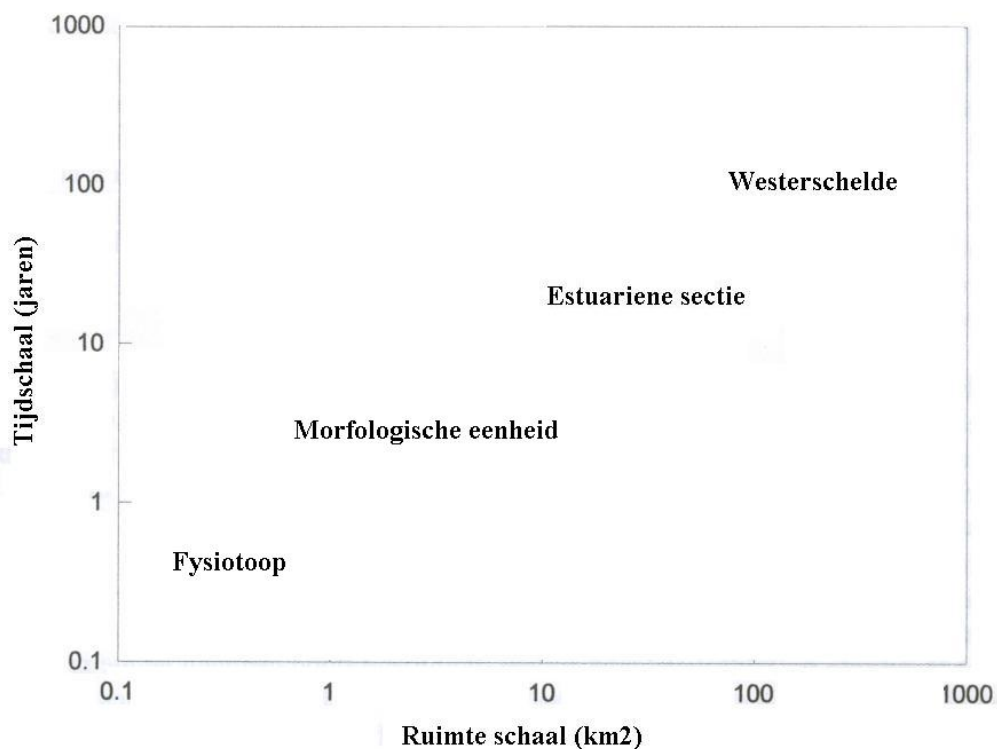
4.5 Hard substraat

De Westerschelde is een morfologisch systeem dat ingeperkt wordt door resistente grenzen. Deze grenzen worden van oudsher bepaald door natuurlijke stugge veen- en kleibanken. Naast de veen- en kleibanken wordt de Westerschelde vanaf de Middeleeuwen bedijkt. Door beide factoren wordt de Westerschelde als systeem beperkt in zijn migratiemogelijkheden. Binnen de grenzen van het systeem kunnen platen en geulen zich vrij bewegen. De uiterste begrenzing van de beweging wordt bepaald door inpolderingen. Sinds de eerste inpolderingen in de Westerschelde is de omvang door bedijkingen afgenomen.

5 Morfologische dynamiek

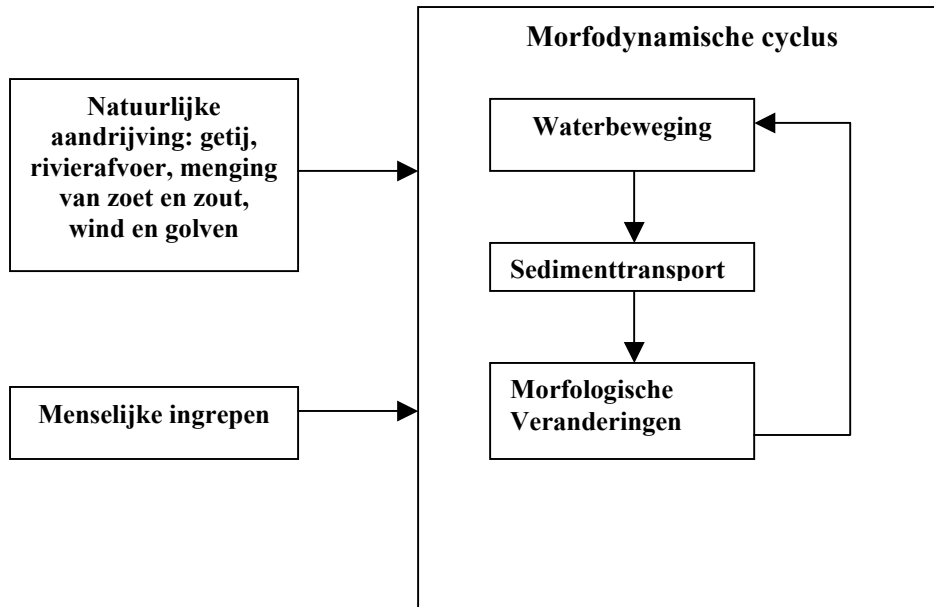
5.1 Inleiding

Het is van belang onderscheid te maken tussen verschillende schalen waarin morfodynamische processen plaatsvinden. Het fysische systeem wordt gekenmerkt door verschillende tijd- en ruimteschalen (Figuur 5.1) met verschillende morfodynamische processen (Jeuken *et al.*, 2001).



Figuur 5.1 *Schaal cascade in de morfologie*

Op iedere schaal in de Westerschelde is een interactie tussen de waterbeweging, het sedimenttransport en de morfologie (Jeuken, 2000). Zowel natuurlijke invloeden (getij, rivierafvoer, menging door dichtheidsverschil van zee- en rivierwater, wind, golven) als antropogene invloeden (regulatie geometrie Westerschelde) bepalen deze interactie (Figuur 5.2, Schippers, 2003).



Figuur 5.2 Morfodynamische cyclus (Schippers, 2003)

De morfologische dynamiek wordt bepaald door de intensiteit en de frequentie van morfologische veranderingen en de daaraan gekoppelde sedimenttransporten (Stive *et al.*, 1998). In de Westerschelde wordt de morfologische dynamiek vooral bepaald door het getij. Het gerelateerde sedimenttransport bestaat hoofdzakelijk uit zand (Stive *et al.*, 1998). Wanneer het morfologische systeem meer instabiel wordt, neemt ruimtelijke variabiliteit in morfologie toe (Jeuken *et al.*, 2001). Om de morfologische dynamiek te kunnen onderzoeken zijn per schaalniveau (mega- macro, meso en microschaal) de morfodynamische parameters geïnterpreteerd.

5.2 Megadynamiek

5.2.1 Inleiding

De megadynamiek heeft betrekking op het gehele estuarium. De volgende parameters zijn morfodynamisch interessant om het estuarium te karakteriseren:

- Volumeveranderingen van het estuarium (m^3). Hieruit valt af te leiden of de Westerschelde sediment importerend of exporterend is.
- De ratio van de waterdiepte tijdens gemiddeld hoogwater en tijdens gemiddeld laagwater: $(H_{hw}) / (H_{lw})$. Deze verhouding geeft een indicatie van de geuldiepte in relatie tot de getijslag.
- De ratio tussen het wateroppervlak bij gemiddeld hoogwater en bij gemiddeld laagwater $(S_{hw}) / (S_{lw})$. Dit is een maat voor het relatieve areaal platen en slikken.
- De breedte-lengte ratio (B/L) van het estuarium
- De ratio tussen de lengte van de wrijvingsloze getijgolf L_g en de lengte van het estuarium (L_g/L)
- De vorm van het dwarsprofiel van het estuarium

Deze parameters worden in de volgende paragrafen uitgewerkt.

5.2.2 Volumeveranderingen

Volumeveranderingen van de watermassa zijn een maat voor het verruimende karakter van een estuarium. Volumeveranderingen zijn het gevolg van het sedimenttransport in en uit het systeem. Bij een toenemend watervolume is het systeem sediment exporterend, het systeem wordt ruimer. Het systeem is sediment importerend wanneer het watervolume kleiner wordt. Veranderingen binnen een bepaald gebied kunnen alleen worden begrepen wanneer er over de grenzen aanvoer of afvoer van sediment plaatsvindt (sedimentbalans). Sedimenttransporten zijn niet herkenbaar in volumeveranderingen wanneer het sediment zich binnen een balansgebied verplaatst en er geen netto transport plaatsvindt over de grenzen van het gebied. Zowel van het gehele estuarium als van verschillende secties kunnen volumeveranderingen bepaald worden. Wanneer de volumeveranderingen ten opzichte van een vast referentie vlak worden gedaan spelen zeespiegelfluctuaties geen rol in volumeveranderingen. Indien de volumes bepaald worden aan de hand van zeespiegelniveaus dan kunnen volumeveranderingen het gevolg zijn van zowel zeespiegelfluctuaties als van sedimenttransporten

5.2.3 Ratio waterdiepte

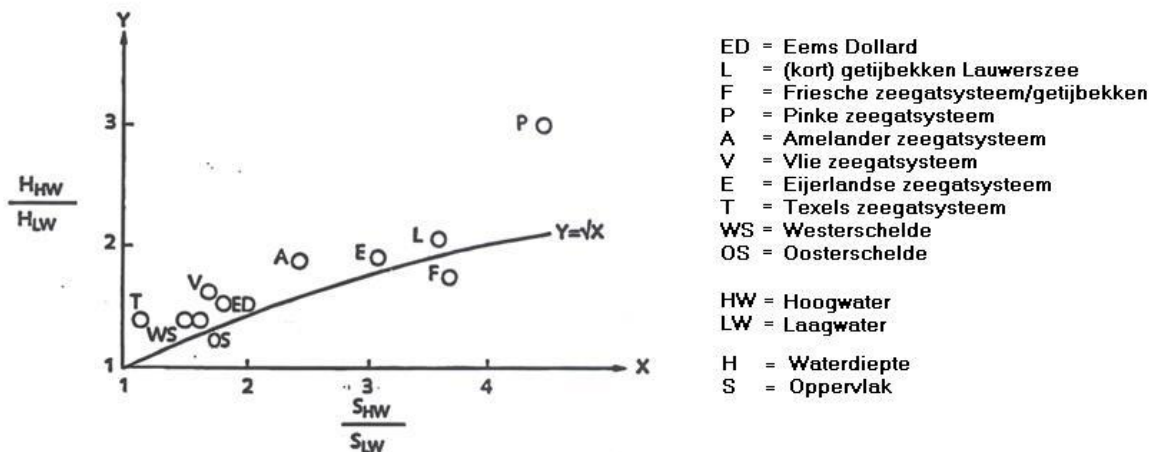
De ratio van de waterdiepte tijdens gemiddeld hoogwater en tijdens gemiddeld laagwater (H_{hw}/H_{lw}) geeft de geuldiepte in relatie tot de getijslag weer. Hoe groter de ratio is, des te groter is de getijslag. De morfologische verscheidenheid wordt kleiner als de getijslag kleiner wordt (Jeuken *et al.*, 2001).

5.2.4 Ratio wateroppervlakte

De ratio tussen het wateroppervlak bij gemiddeld hoogwater en bij gemiddeld laagwater (S_{hw}/S_{lw}) is een maat voor het relatieve areaal intergetijdegebied. Hoe groter de ratio is, des te groter is het areaal intergetijdegebied. Wanneer de ratio groter wordt, wordt de kans op morfologische verscheidenheid groter (Jeuken *et al.*, 2001).

5.2.5 Ratio waterdiepte en wateroppervlakte

Er is een morfologisch evenwicht in een estuarium als de verhouding tussen (H_{hw}/H_{lw}) en (S_{hw}/S_{lw}) zich kwadratisch verhoudt ($y=\sqrt{x}$) (Jeuken *et al.*, 2001). Wanneer het systeem zich boven deze lijn bevindt ($y>\sqrt{x}$) dan worden de geulen gekenmerkt door sedimentatie en de platen door erosie. Geldt $y<\sqrt{x}$, dan eroderen de geulen en zijn de platen opbouwend. In Figuur 5.3 zijn de morfologische situaties van de Nederlandse getijbekkens weergegeven. Uit het Figuur blijkt dat de meeste getijbekkens uit evenwicht zijn en gekenmerkt worden door geulen die sedimenteren en platen die eroderen.



Figuur 5.3 De relatie tussen de verhouding waterdiepte tijdens hoog- en laagwater en de verhouding wateroppervlak bij hoog en laag water (Jeuken *et al.*, 2001). De lijn $y=\sqrt{x}$ stelt het morfologische evenwicht voor.

De verschillen in morfologie tussen de verschillende getijbekkens blijken uit Figuur 5.3. De Westerschelde en de Oosterschelde vertonen relatief diepe geulen en een klein areaal intergetijdengebied terwijl de korte getijbekkens in de Waddenzee ondiepe geulen en een groot areaal intergetijdengebied hebben. Figuur 5.3 suggereert dat de Oosterschelde en het Texels zeegatsysteem op een gelijkwaardige manier uit het evenwicht zijn. Het Texels zeegatsysteem verdiept zich echter, terwijl de Oosterschelde ondieper wordt. Het geschatte evenwicht kan alleen gelden voor systemen die geheel vrij zijn in hun bewegingen. Dit geldt niet voor de Westerschelde, waar resistente lagen in de ondergrond de ligging en beweging van geulen en slikken beïnvloedt en hindert.

Schuttelaars en De Swart (2000) concluderen aan de hand van hun geïdealiseerde morfologische modellen dat de Westerschelde gekenmerkt wordt door twee hypothetisch morfologische evenwichten. Het eerste evenwicht heeft een zwak concaaf en relatief ondiep longitudinaal profiel (maximaal 30 meter). Het tweede evenwicht is een diep estuarium met een sterk concaaf longitudinaal profiel. De diepte bij de monding is gelijk aan die van het eerste evenwicht. Echter meer land inwaarts wordt de Westerschelde zeer diep (100 meter) om vervolgens weer ondieper te worden. De oorzaak van deze twee evenwichten is het gedrag van de getijgolf. In theorie kan de getijgolf in de Westerschelde gekenmerkt worden door of een lopende golf of een staande golf. Indien het estuarium ondiep is, dan is de getijgolf een lopende golf. Een diep estuarium heeft een staande getijgolf als gevolg. Deze twee theoretische evenwichten zijn in strijd met het morfologische evenwicht van Jeuken *et al.* (2000; Figuur 5.3). De twee evenwichten van Schuttelaars en De Swart (2000) zijn volgens Jeuken *et al.*, (2001) situaties waarin de estuaria uit evenwicht zijn (Figuur 5.3). Het ondiepe evenwicht ($y > \sqrt{x}$) heeft dan sedimenterende geulen en eroderende platen. Het diepe evenwicht ($y < \sqrt{x}$) wordt gekenmerkt door eroderende geulen en opbouwende platen. Het eerste evenwicht (gekenmerkt door een zwak concaaf en relatief ondiep longitudinaal profiel) zou dus de huidige morfologische situatie van de Westerschelde kunnen zijn. Indien de Westerschelde sediment exporterend is kan de Westerschelde naar het tweede evenwicht streven met diepe geulen en hoge platen.

5.2.6 Breedte-lengte ratio

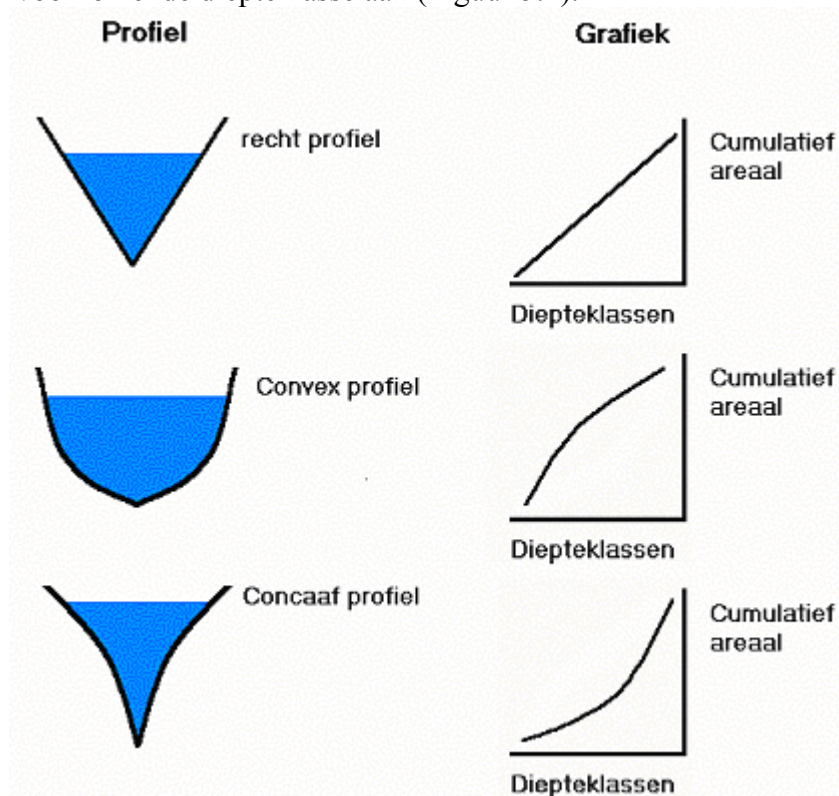
De Westerschelde wordt smaller door inpolderingen. Dit heeft als gevolg dat de morfologische verscheidenheid lateraal beperkt en meer uniform wordt (Jeuken *et al.*, 2001). Theoretisch hebben de B/L-ratio en het areaal intergetijdegebied ($S_{hw}/(S_{lw})$) een positieve lineaire relatie. Inpolderingen zijn onnatuurlijk en gaat in sprongen. Inpolderingen zouden dus in de trends van de breedte/lengte ratio te herkennen zijn.

5.2.7 Ratio lengte wrijvingsloze getijgolf en lengte estuarium

De ratio tussen de lengte van de wrijvingsloze getijgolf L_g en de lengte van het estuarium (L) is een parameter die niet met de lodinggegevens gegevens bepaald kan worden. L_g moet uit literatuur komen. De lengte van het estuarium is niet veranderd in de laatste twee eeuwen. Deze ratio is een indicatie voor resonantie tussen de inkomende en uitgaande getijgolf. Indien de ratio L_g/L in de buurt komt van 0,25 dan leent de Westerschelde zich ideaal voor resonantie van de getijgolf.

5.2.8 Vorm van het dwarsprofiel

Met behulp van een histogramverdeling van de diepteklassen kan men onderzoeken hoe het profiel van de Westerschelde zich heeft ontwikkeld. Wanneer men de verdeling van diep naar ondiep cumulatief weergeeft zijn trends in de ontwikkeling van het profiel te herleiden. Een rechtlijnige grafiek geeft aan dat het profiel gelijkmatig verloopt. Een versteiling in de grafiek geeft een veel voorkomende diepteklasse aan (Figuur 5.4).

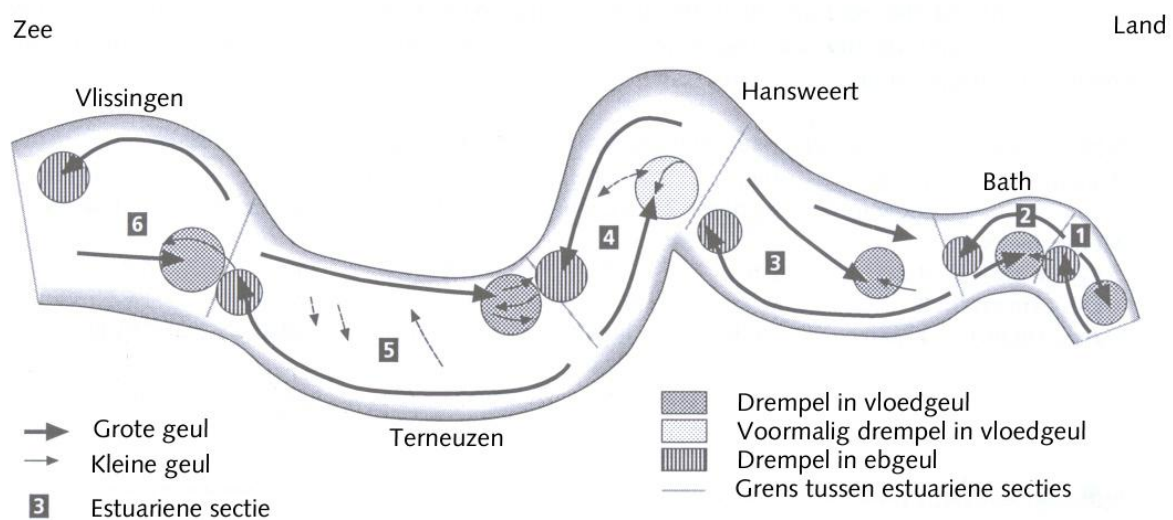


Figuur 5.4 Theoretische profielen met de bijhorende histogramverdeling

5.3 Macrodynamiek

5.3.1 Inleiding

Om de macrodynamiek te bepalen is een ruimtelijke dimensie gedefinieerd waarbinnen deze dynamiek een rol speelt. Deze ruimtelijke dimensie wordt gedefinieerd als de estuariene secties van Jeuken (2000; Figuur 5.5). Jeuken (2000) beschouwd deze secties als individuele systemen, elk gekenmerkt door een eb- en een vloedsgaar, gescheiden door een, door kortsluitgeulen versneden plaat. Door in dit onderzoek uit te gaan van deze estuariene secties kunnen tussen beide studies koppelingen gemaakt worden. Jeuken (2000) heeft in haar onderzoek de morfologie over de periode vanaf 1955 bekeken. De estuariene secties in deze studie zijn statisch, in tegenstelling tot Jeuken (2000). De secties hebben dan een constante oppervlakte waardoor tijdreeksen analyses mogelijk zijn van het temporele en ruimtelijke gedrag van de morfologie.



Figuur 5.5 Schematisatie estuariene secties (Jeuken, 2000)

De macrodynamiek wordt bepaald door de migraties van de grote geulen (eb- en vloedgeulen). De macro-dynamiek wordt ingeperkt door dijken, kribben, geulwandversterkingen en vaste oevers (Vroon *et al.*, 1997). De inperkingen zorgen samen met inpolderingen en baggerwerkzaamheden voor het vast leggen van de hoofdgeul. Vroon *et al.* (1997) zien dat de hoofdgeul over een grotere lengte tegen de dijk aan ligt dan vroeger.

De parameters die bij de macrodynamiek een rol spelen zijn:

- de breedtegemiddelde diepte,
- de breedte-diepte verhouding (β)
- het Shields-getal (θ , een overschrijdingswaarde voor sedimenttransport)
- de verhouding tussen de getijslag (u) en de breedtegemiddelde diepte (H),
- de verhouding tussen de getijslag (u) en het getijvolume (V).
- de verhouding korrelgrootte (μ) en breedtegemiddelde diepte (H).

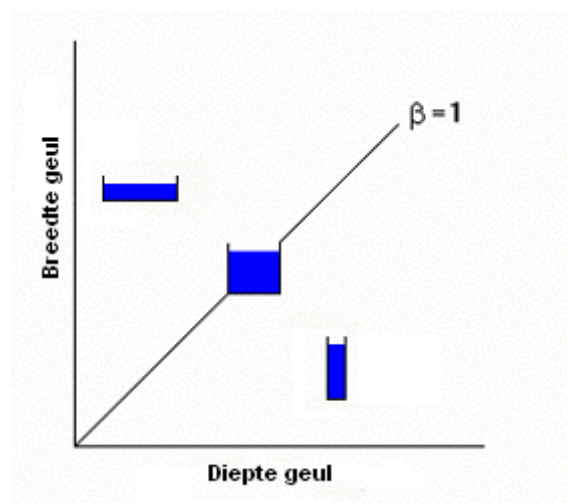
De diepte in de breedte-diepte verhouding (β) is opgesteld met het diepste punt op een bepaalde breedte. De breedtegemiddelde diepte is de gemiddelde diepte over een bepaalde breedte.

5.3.2 Breedtegemiddelde diepte

De trend in de breedtegemiddelde diepte is een gevolg van het sedimenttransport in het systeem. Bij een temporele breedtegemiddelde verdieping is het systeem exporterend, het systeem wordt ruimer. Het systeem is sediment importerend wanneer de breedtegemiddelde diepte temporeel kleiner wordt. Van elke estuariene sectie wordt de breedtegemiddelde diepte bepaald om af te leiden of het systeem importerend of exporterend is in de tijd.

5.3.3 Breedte-diepte verhouding

De breedte-diepte ratio (β) is een indicator voor de vorm van het estuarium. Indien geldt $\beta=1$, dan is het estuarium even breed als diep. Wanneer de ratio groter wordt ($\beta>1$), dan wordt het estuarium respectievelijk relatief breed en ondiep. Een relatief smal en diep estuarium levert een kleine ratio op ($\beta<1$). (Figuur 5.6).



Figuur 5.6 Geometrie van geulen geploot op de breedte-diepte verhouding

Ook van de platen kan de geometrische parameter (β_{plaat}) bepaald worden. Deze parameter ontstaat uit hoogte-breedte verhouding van de plaat. Uit onderzoek (Huijs, 1995) blijkt dat tussen 1959 en 1989 de gemiddelde plaathoogte toeneemt. De parameter β_{plaat} kan dit aantonen indien de platen een areaal met gelijke oppervlakte beslaan.

5.3.4 Shields getal

Het Shields-getal is een parameter die aangeeft wanneer sediment door stroming in beweging komt. Het Shields-getal is afhankelijk van de bodemschuifspanning, de dichtheden van het sediment en het water en de korreldiameter van het sediment. Als de bodemschuifspanning boven een kritische waarde komt zal het sediment in beweging komen. Het morfologische systeem wordt stabiel naarmate het bodemtransport domineert over het suspensietransport. Gegevens over dichtheden van het water (variërend van zout naar brak water) en bodemschuifspanningen zijn niet uit de hoogtemodellen te verkrijgen. Het Shields-getal (θ) is ongeschikt als morfodynamische parameter in dit onderzoek.

5.3.5 De verhouding getijslag-watervdiepte

De verhouding getijslag-watervdiepte (u/H) kan bepaald worden. Wanneer deze verhouding groter wordt neemt de bodemschuifspanning toe. Dit leidt tot een ruimtelijk meer variabele

morfologie (zie Shields-getal). De verhouding getijslag-waterdiepte kan zowel op macroschaal als op megaschaal (het gehele estuarium) bepaald worden. Deze parameter is vanwege beperkte onderzoeksmogelijkheden niet bepaald.

5.3.6 Verhouding korrelgrootte en breedtegemiddelde diepte

Deze ratio is een indicator voor de stabiliteit van het systeem. Hoe groter de korrelgrootte is ten opzichte van de breedte gemiddelde diepte, des te instabieler is het systeem. De korrelgrootte is zowel in ruimte als in tijd niet goed te definiëren en vertoont in een natuurlijke situatie grote ruimtelijke variatie. De verhouding korrelgrootte (μ) en breedtegemiddelde diepte (H) is in deze studie een ongeschikte parameter.

5.3.7 Verhouding getijslag en getijvolume

Deze verhouding is een indicator voor de stabiliteit van het systeem. Hoe groter het relatieve getijvolume, des te groter zijn de stroomsnelheden in het estuarium en des te instabieler is het systeem. De verhouding tussen de getijslag (u) en het getijvolume (V) is een parameter die bepaald kan worden zonder gebruik te maken van het G.I.S. Deze parameter is een aanvulling naast de parameters voortkomende uit deze studie, maar wordt niet in deze studie opgenomen.

5.4 Mesodynamiek

Mesodynamiek wordt bepaald door de verplaatsing van geulen en platen binnen een estuariene sectie (Jeuken, 2000). Om de mesodynamiek een dimensie te geven worden de verplaatsingsnelheden van platen en geulen bepaald.

- verplaatsingsnelheden van platen (V_{plaat})
- verhouding omtrek en oppervlakte platen
- verplaatsingsnelheden van geulen (V_{geul})
- periode cycliciteit kortsluitgeulen (T)

Door dwarsdoorsneden te maken op de migratierichting van de platen en geulen wordt een beeld verkregen van de verplaatsingen. Men kan onderscheid maken tussen de grote en kleine geulen. Bij de kortsluitgeulen kan een periodiek gedrag met een herhalingsfactor bepaald worden. Deze herhalingsfactor wordt bepaald door de periode tussen twee migrerende kortsluitgeulen te bepalen.

De verhouding tussen de omtrek en de oppervlakte van de plaat geeft een beeld over de ecologische toestand van de platen. De ecologische toestand van een plaat wordt beter naarmate de omtrek van de plaat relatief groter wordt ten opzichte van het oppervlak. De plaat wordt meer door intergetijdegebied omsloten bij een grotere waarde van de relatieve omtrek.

5.5 Microdynamiek

De microdynamiek wordt bepaald door de instabiliteit van het bovenste deel van de bodem en heeft een grote invloed op bodemorganismen. De dynamiek bepaald of deze organismen zich al dan niet kunnen vestigen. In de geulen is de morfodynamiek hoog vanwege de hoge transportcapaciteiten. Laag dynamische gebieden liggen op relatief beschutte locaties. Slikken zijn over het algemeen laag dynamisch. Aanwezige megaribbels duiden op hoogdynamische gebieden. Voor de ecologie is zowel de inundatieduur als de energiedissipatie van belang.

Crosato *et al.*, (1999) hebben voor de inundatieduur van intergetijdegebieden een parameter voor gebieden boven het Laagwater Spring opgesteld:

Inundatieduur: $I = HWS - D / TRS$

waarbij

HWS = hoogwaterstand tijdens springtij

D = maximum waterdiepte bij springtij

TRS = de getijslag tijdens springtij

5.6 Geschikte morfodynamische parameters

Niet alle parameters zijn geschikt om de Westerschelde door middel van G.I.S. te beschrijven. Hieronder zijn in een overzicht de geschikte parameters samengevat.

De parameters voor de morfodynamiek van het gehele estuarium

- De ratio van de waterdiepte tijdens gemiddeld hoogwater en tijdens laag water: $(H_{hw}) / (H_{lw})$,
- De ratio tussen het wateroppervlak bij gemiddeld hoog water en bij gemiddeld laag water $(S_{hw}) / (S_{lw})$,
- De breedte-lengte ratio (B/L)

De parameters voor de morfodynamiek van de estuariene secties

- De breedtegemiddelde diepte,
- de breedte-diepte verhouding (β),
- de verhouding tussen de getijslag (u) en de gemiddelde waterdiepte (H)

De parameters voor de morfodynamiek van de platen en geulen

- verplaatsingsnelheden van platen (V_{plaat}),
- verhouding omtrek en oppervlakte platen,
- verplaatsingsnelheden van geulen (V_{geul}),
- periode cycliciteit kortsluitgeulen (T),

6 Resultaten

6.1 Hoogtemodellen

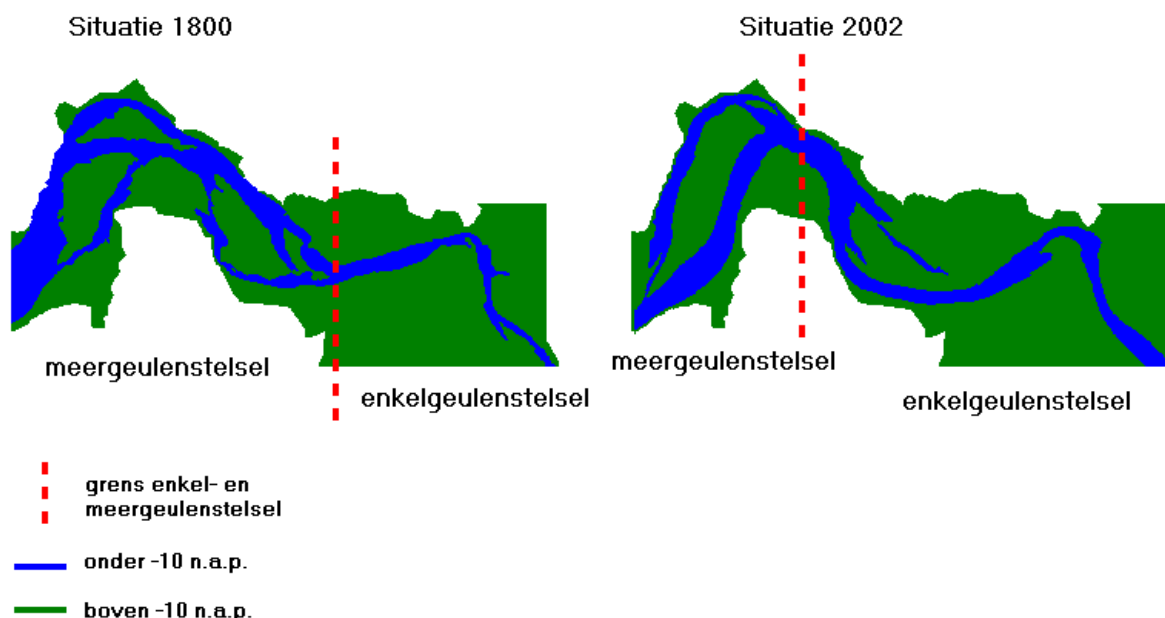
Het eerste resultaat van dit onderzoek is de serie hoogtemodellen van de Westerschelde van 1800 tot 2002. Deze modellen hebben een grid van 20 bij 20 meter. De minimale en maximale coördinaten zijn: (24030; 371650) tot (77670; 387190). De modellen zijn gerefereerd aan het NAP. Vanuit deze basis is de morfologische ontwikkeling van de Westerschelde bepaald. De serie hoogtemodellen (van 1800 tot en met 2002) zijn weergegeven in Bijlage 5.

6.2 Megadynamiek

6.2.1 Morfologische situatie

Grensgebied: enkel geulsysteem

In het oosten van de Westerschelde is er één geul. Deze geul is het verlengde van de Zeeschelde. In 1800 gaat het enkel geulsysteem ter hoogte van Baalhoek over in een meer geulensysteem. Dit meer geulensysteem bevat een eb- en een vloodschaar waarbij de vloodschaar het meest is ontwikkeld. Bij Hansweert komen de eb- en de vloodschaar samen in de Put van Hansweert. Door de tijd heen wordt het meer geulensysteem steeds minder diep. In 1800 waren er onder -10 m NAP meer geulen aanwezig. Anno 2002 is onder -10 m NAP het meer geulensysteem naar het westen verplaatst (Figuur 6.1). De geulen dieper dan -10 m NAP representeren de echte stroomdoorvoerende geulen. Uit Figuur 6.1 blijkt dat de hoofdgeul (ebgeul) zich verder heeft ontwikkeld en dat de nevengeul (vloodschaar) in de periode 1800-2002 sedimenteert.



Figuur 6.1 Schematisatie oosten Westerschelde

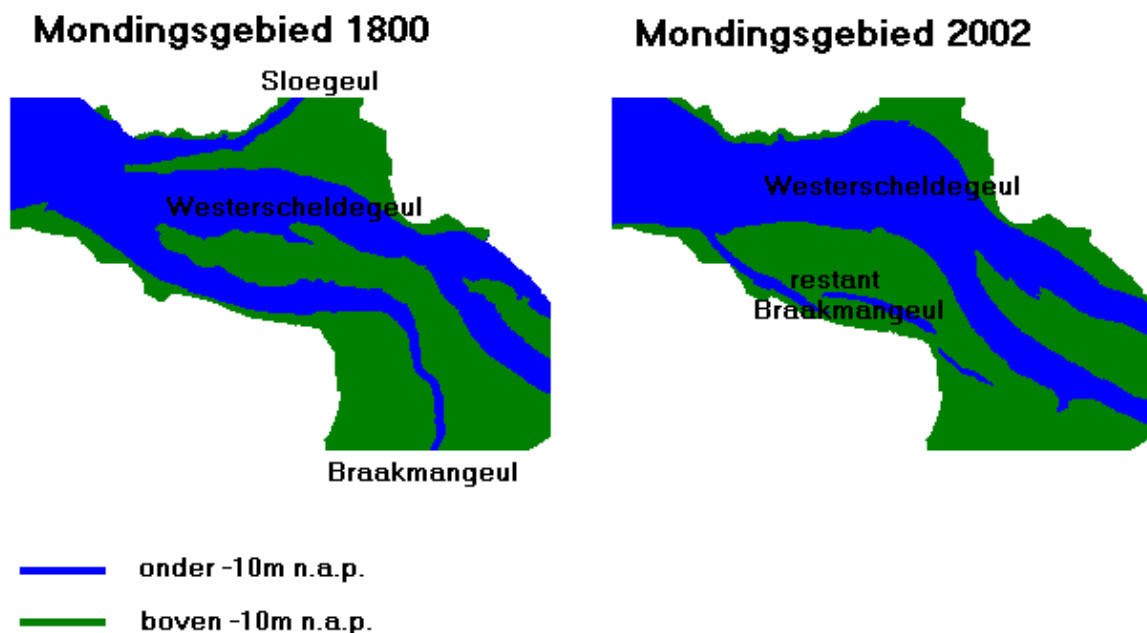
Middendeel

In het midden van de Westerschelde is het meest opvallende dat de dominantie van de ebschaar wordt overgenomen door de vloodschaar. Vanaf 1800 ontwikkelt deze vloodschaar (Overloop van Hansweert) zich steeds meer en snijdt de ebschaar (Middelgat) af. Vanaf 1970

wordt de dominantie van de ebschaar door de vloodschaar overgenomen. In 1975 verdiept men de drempel tussen de Overloop van Hansweert en de Put van Hansweert ten behoeve van de scheepvaart (Schouwenaar, 2001). Het Middelploaatcomplex is onderhevig aan een constante morfodynamiek. Het complex wordt door de tijd heen versneden door een vloodschaar en enkele kortsluitgeulen. De vloodschaar ligt steeds op dezelfde plek, terwijl de kortsluitgeulen elkaar opvolgen en migreren. De kortsluitgeulen ontstaan vanuit de ebschaar en migreren met de ebstroom westwaarts.

Monding: drie geulen

In 1800 zijn er in het mondingsgebied van de Westerschelde drie geulen. Elke geul heeft een eigen achterland. De noordelijke geul gaat via het Sloe naar het Veerse Meer en het Zandkreek systeem. De middelste geul voedt de Westerschelde. Deze geul kan beschouwd worden als het verlengde van de Zeeschelde. De zuidelijke geul voedt de Braakman. De “Sloegeul” en de “Braakmangeul” verlanden vanaf 1800. De inpolderingen van het Sloe en de Braakman hebben plaatsgevonden rond 1890. De laatste gedeeltelijke inpolderingen in het Sloe en de Braakman vonden plaats in het midden van 20^e eeuw. Deze laatste inpolderingen perkten de “Sloegeul” en de “Braakmangeul” in. De geul naar het Sloe wordt in zijn geheel overgenomen door de middelste geul. De zuidelijke geul, de oorspronkelijke geul naar de Braakman, verliest het contact met de Braakman. Al in 1860 wordt de Braakman verbonden met de middelste geul. De zuidelijke geul blijft tot in 2002 herkenbaar als het Vaarwater langs Hoofdplaat en Vaarwater langs Paulinapolder en wordt verdrongen door het Hooge Platen complex. In 2002 is van de drie geulen uit 1800 alleen de middelste geul nog zichtbaar als stoomdoorvoerende geul aanwezig. Van de zuidelijke geul zijn slechts restanten herkenbaar (Figuur 6.2).

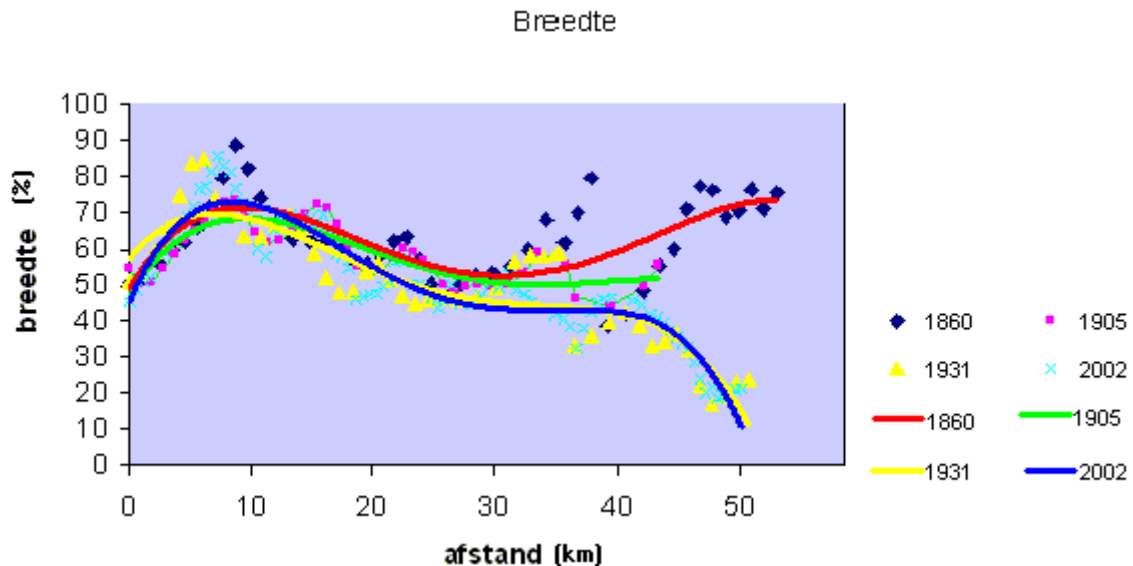


Figuur 6.2: Schematisatie mondingsgebied.

Het verdwijnen van de “Sloegeul” en de “Braakmangeul” heeft geresulteerd in een meer trechtervormig estuarium. Doordat de breedtegemiddelde diepte groter is geworden, dissipeert de energie van de getijdegolf minder. Het gevolg hiervan is dat de getijdegolf meer reflecteert en landwaarts grotere amplitudes vertoont (van 440 cm naar 490 cm ter hoogte van Bath, Bijlage 4). Het faseverschil tussen Vlissingen en Antwerpen is de laatste 200 jaar met 1,5 uur afgenomen door de betere en snellere getijdoordringing (Van der Spek, 1997).

6.2.2 Breedte Westerschelde

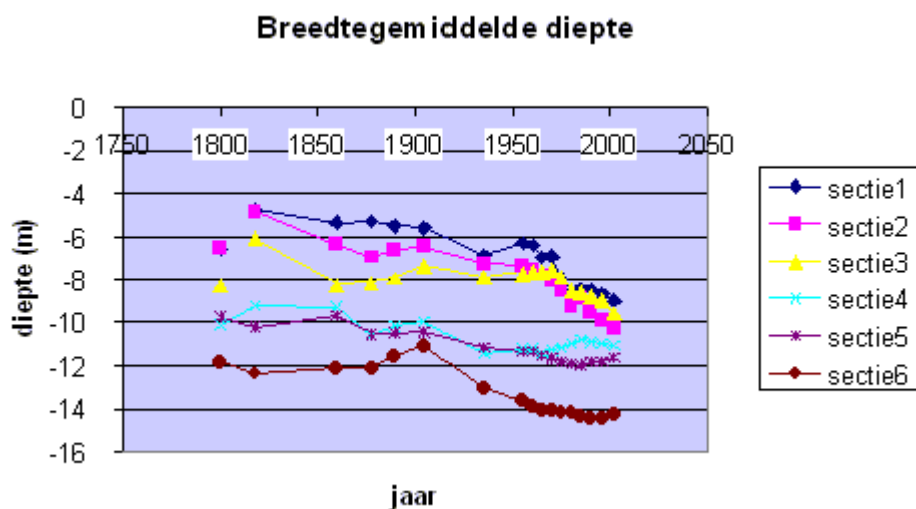
De breedte van de Westerschelde is op vier tijdstippen bepaald door Schuttelaars (2003). Schuttelaars (2003) heeft de breedte gedefinieerd als de afstand tussen de 0 m NAP-isolijnen (aan de oevers) loodrecht op de as van de Westerschelde. Uit Figuur 6.3 blijkt dat het oostelijke deel van de Westerschelde door de tijd smaller wordt. Zowel de lineaire fit als de exponentiële fit visualiseren deze versmalling (Bijlage 6). De Westerschelde versmalt het meest in de periode van 1860 tot 1931 en is tussen 1931 en 2002 nauwelijks meer veranderd.



Figuur 6.3: *Breedte Westerschelde met exponentiële fit*
(0 km is monding Westerschelde, hoe groter de afstand, hoe verder landinwaarts)

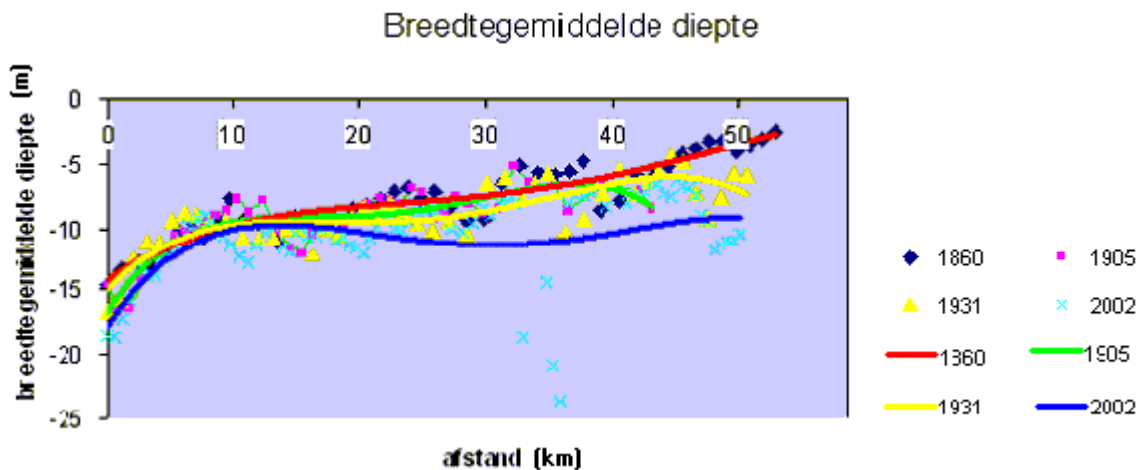
6.2.3 Breedtegemiddelde dieptes

De breedtegemiddelde dieptes zijn berekend in die gebieden waar de hoogtemodellen elkaar in de tijd overlappen. De breedtegemiddelde diepte is de absolute diepte ten opzichte van het wateroppervlak. De diepste delen worden vooral in het westen van het estuarium gevonden (Figuur 6.4).



Figuur 6.4: *Breedtegemiddelde diepte per sectie (sectie1 t/m sectie6 is van oost naar west)*

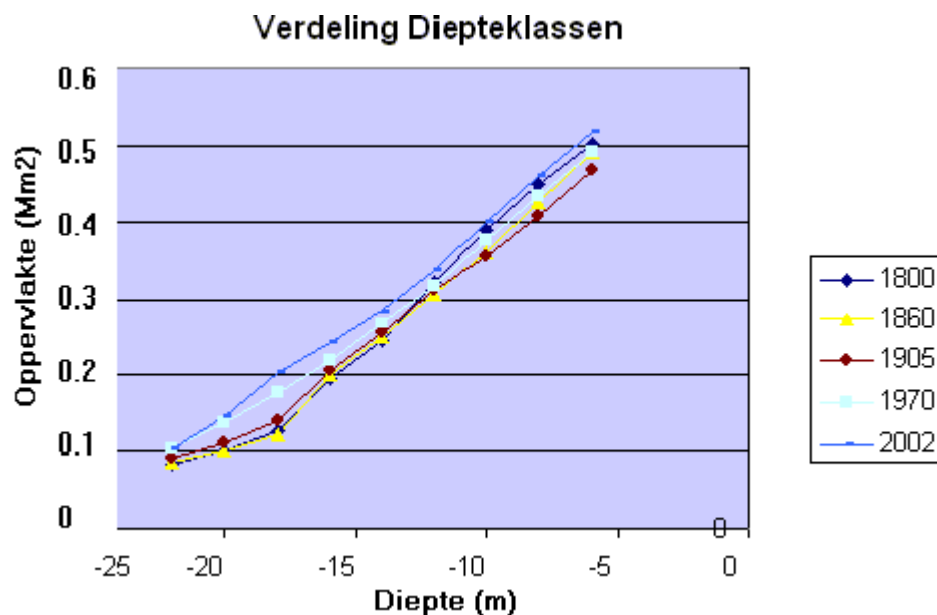
Uit Figuur 6.4 blijkt dat de breedtegemiddelde diepte de laatste 200 jaar toeneemt en dat ruimtelijk de breedtegemiddelde dieping naar het oosten toe verder toe neemt. Uit een lineaire trend analyse (fitting) blijkt dat het mondingsgebied een temporeel constante breedtegemiddelde diepte heeft van 12 m (Bijlage 7). Een exponentiële fit laat zien dat 10 kilometer landinwaarts een temporeel constante breedtegemiddelde diepte is van 10 meter en dat in het oosten de breedtegemiddelde verdieping maximaal is (Figuur 6.5).



Figuur 6.5: *Breedte Westerschelde met een exponentiële fit*

6.2.4 Veranderingen in het dwarsprofiel

Er zijn diepteklassen gedefinieerd om te onderzoeken hoe de Westerschelde zich temporeel op verschillende dieptes heeft ontwikkeld. De verdeling van de diepteklassen wordt bepaald door het profiel van de Westerschelde. Het temporele verloop van de cumulatieve oppervlakte van de geulen per diepteklassen geeft aan of het profiel veranderd is (Figuur 6.6). De diepteklassen hebben een interval van 2 meter en lopen van -20 m tot -6 m NAP. Gebieden dieper dan 20 meter zijn niet in meer klassen onderverdeeld omdat deze klasse minder dan 10% van het geheel uitmaakt. De gebieden boven -6 m NAP zijn vanwege te grote verschillen tussen de afzonderlijke kaarten buiten beschouwing gelaten.



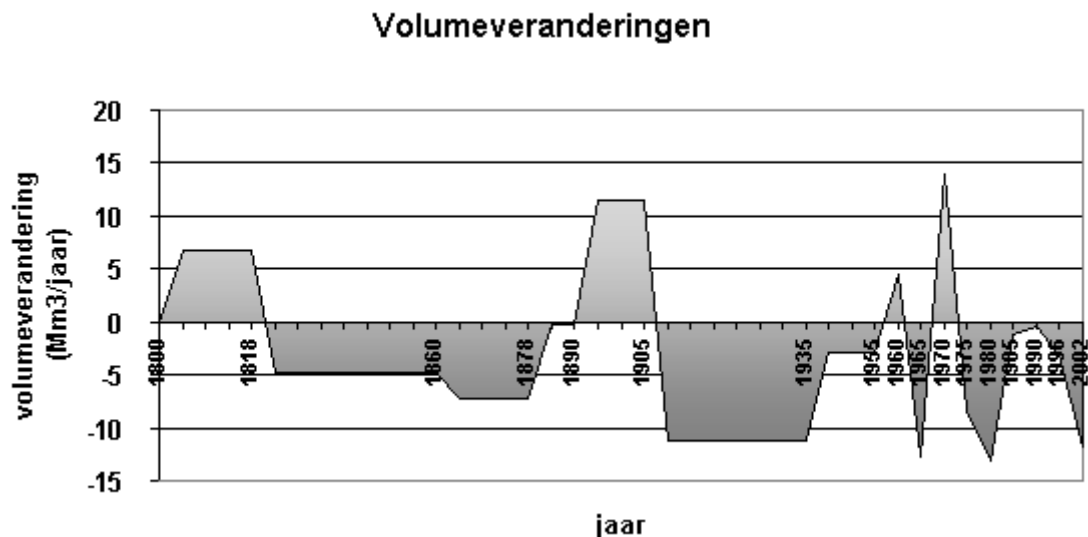
Figuur 6.6: *Verdeling diepteklassen*

Uit het bovenstaande Figuur blijkt een constante trend in de cumulatieve diepteklassen. De richtingscoëfficiënten zijn over alle jaren gelijk. Dit impliceert dat ondanks morfodynamische processen het profiel in de Westerschelde constant blijft. Er is een kleine sprong bij de diepte rond -18 m NAP. Deze sprong is herkenbaar in de jaren 1800 tot en met 1905. Deze sprong impliceert een minder frequent voorkomen van de waterdiepte rond -18 m NAP in deze jaren ten opzichte van de latere jaren.

6.2.5 Volume Westerschelde

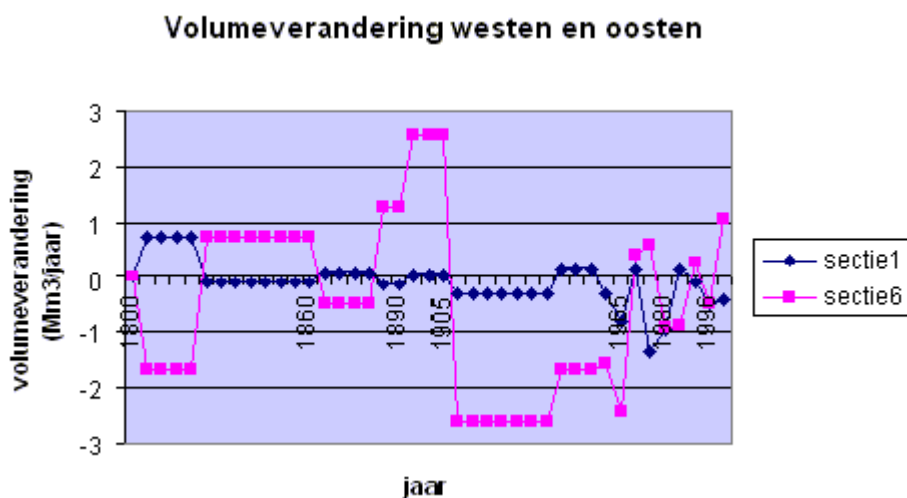
Het volume van de Westerschelde onder NAP is bepaald om te kijken of de Westerschelde temporeel sediment importerend of exporterend is. De volumeveranderingen zijn per jaar in kubieke meters bepaald. De resultaten zijn inclusief baggerwerkzaamheden en stortingen. De volumeveranderingen zijn het gevolg van sedimenttransporten en niet van zeespiegelfluctuaties.

De Westerschelde is hoofdzakelijk verruimend (Figuur 6.7). Van 1800 tot 1818 wordt het volume van de Westerschelde kleiner. Tussen 1818 en 1890 verruimt het systeem om tussen 1890 en 1905 weer kleiner te worden. Vanaf 1905 tot 2002 wordt het systeem hoofdzakelijk ruimer. Alleen in de perioden 1955-1960 en 1965-1970 wordt de Westerschelde kleiner.



Figuur 6.7 *Volumeveranderingen Westerschelde.* Een positieve volumeverandering wordt beschouwd als sedimentimport. Een negatieve volumeverandering is een sediment export.

Wanneer de afzonderlijke secties in beschouwing worden genomen blijkt dat de trends in de westen (zie Figuur 6.8) extremer zijn dan de trends in de oosten. Tevens zijn de trends niet altijd gelijk. Tussen 1800 en 1900 zijn bijvoorbeeld de volumeveranderingen in sectie1, het oosten en sectie6, het westen tegengesteld (Figuur 6.8).



Figuur 6.8: *Volume veranderingen in sectie1 en sectie6*
Sectie1 is oostelijk, sectie6 is westelijk. Sectie2 gedraagt zich als sectie1. sectie4 en 5 gedragen zich als sectie6.
Sectie3 heeft afwisselend de trend van sectie1 en sectie6

6.2.6 Sedimentbalansen

De veranderingen in de volumia zijn het gevolg van sedimenttransport. Een sedimentbalans voor de estuariene secties in de Westerschelde is berekend, waarbij een aantal aannames zijn gedaan. De eerste aanname is dat er geen netto sedimenttransport plaatsvindt over de Nederlands-Belgische grens. Vervolgens worden vanaf oost (sectie1) naar west (sectie6) de cumulatieve volumeveranderingen berekend. De netto volumeverandering in Sectie1 komt door sedimentuitwisseling met sectie2. Wordt het volume in sectie1 groter, dan is er een sedimenttransport vanuit sectie1 naar sectie2. Het sedimenttransport in sectie2 wordt bepaald door het sedimenttransport tussen sectie1 en sectie2 en de netto volumeverandering in sectie2.

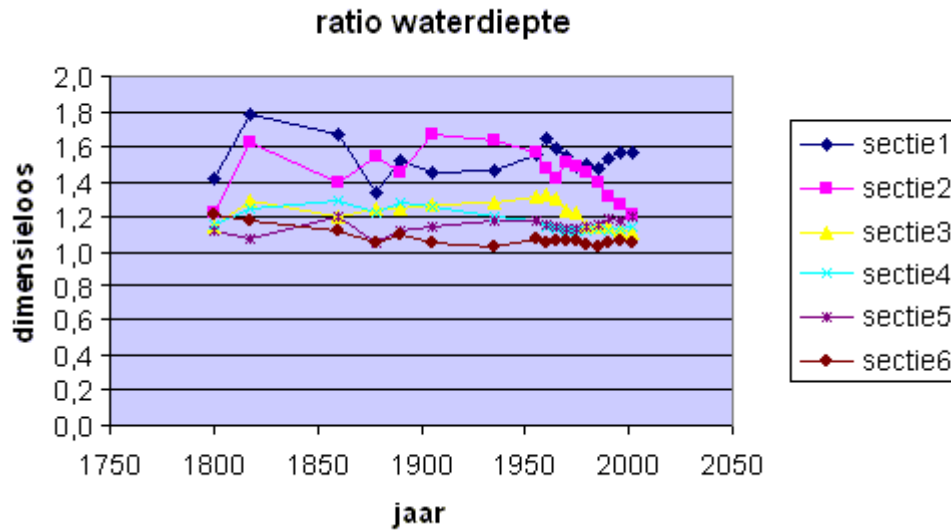
Hierbij geldt de tweede aanname dat de netto volumeverandering alleen kan worden verklaard door de import of export van sediment over de grenzen van een estuariene sectie. Het netto effect van deze sedimentbalans laat uiteindelijk aan de zeewaartse grens van de estuariene sectie6 zien of er een netto import of export voor de gehele Westerschelde bestaat.

Volumeverandering (Mm3/jaar)	monding → sectie6	sectie6 → sectie5	sectie5 → sectie4	sectie4 → sectie3	sectie3 → sectie2	sectie2 → sectie1	sectie1 → grens
1800	0	0	0	0	0	0	0
1818	17.31	24.80	32.30	28.00	7.20	3.42	0
1860	-9.73	-13.75	-17.78	-15.94	-2.35	-0.52	0
1878	-11.90	-9.64	-7.37	2.62	-0.33	0.35	0
1890	25.21	17.45	9.69	4.54	0.54	-0.80	0
1905	35.64	22.87	10.10	8.61	-0.08	0.25	0
1935	-37.54	-24.45	-11.35	-5.06	-2.47	-1.56	0
1955	-13.08	-4.67	3.74	1.70	0.48	0.71	0
1960	-4.69	3.14	10.98	5.73	-4.27	-1.64	0
1965	-39.09	-26.88	-14.67	-8.85	-4.83	-4.09	0
1970	26.97	24.77	22.58	11.90	-4.72	0.76	0
1975	-11.48	-14.46	-17.43	-18.97	-10.86	-6.85	0
1980	-27.90	-23.20	-18.50	-28.62	-11.08	-4.81	0
1985	0.41	4.82	9.22	2.67	4.69	0.69	0
1990	-5.97	-7.43	-8.88	-8.44	-5.50	-0.60	0
1996	-9.22	-6.26	-3.31	-4.48	-2.62	-2.95	0
2002	-25.74	-32.26	-38.79	-30.89	-7.19	-2.61	0

Tabel 6.1: Sedimenttransport in de Westerschelde per sectie per periode (in Mm3)
Een positieve waarde geeft sedimentimport aan, een negatieve waarde impliceert sedimentexport.

In tabel 6.1 is aangegeven hoe het sedimenttransport zich in de Westerschelde heeft gemanifesteerd. Het sedimenttransport over de grenzen is voornamelijk exporterend (negatieve waarde). Per sectie zijn de volumes sedimenttransport tussen de verschillende opnamen zeer variabel. Hierbij moet men in acht nemen dat de sedimenttransporten afgeleid zijn van de volumeveranderingen onder NAP. Met andere woorden, eventuele sedimenttransporten boven NAP zijn niet meegenomen.

6.2.7 Ratio Waterdiepte

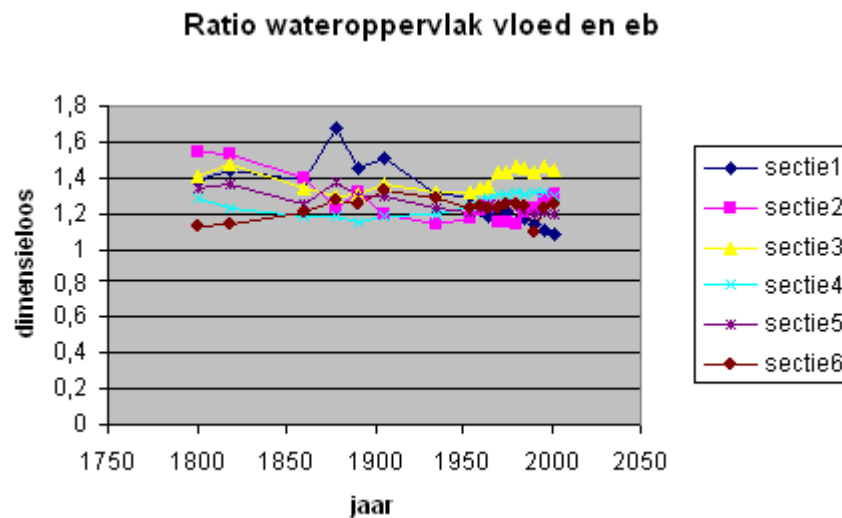


Figuur 6.9: Ratio Waterdiepte

De waterdiepte ratio's van de secties gedragen zich onderling verschillend (Figuur 6.9). Het westelijke deel (sectie3 tot en met sectie6) heeft door de tijd heen relatief constante ratio's (tussen 1,0 en 1,3). Het oostelijke deel (sectie1 en sectie2) heeft door de tijd heen zeer variabele ratio's (tussen 1,2 en 1,8). Een dalende ratio wordt veroorzaakt door een relatief kleiner verschil tussen de waterdieptes bij hoogwater en bij laagwater. Opvallend is dat de ratio in het oosten groter is dan in het westen. Dit impliceert dat de getijdeslag toeneemt naar het oosten (Bijlage 4). De ratio waterdiepte gedraagt zich ruimtelijk volgens voorspelling.

Temporeel gedraagt de ratio Waterdiepte zich niet volgens voorspelling. Aangezien de getijdeslag door de tijd heen groter wordt (Bijlage 4) zou dit betekenen dat de ratio groter wordt. Immers H_{hw} wordt groter ten opzichte van H_{lw} . Niet alleen de getijslag beïnvloedt de ratio Waterdiepte, ook veranderingen in de breedtegemiddelde diepte beïnvloeden de ratio. In sectie2 neemt de getijslag toe sinds 1980 (Bijlage 4), breedtegemiddeld verdiept sectie2 sinds 1905 (Figuur 6.5) en ratio waterdiepte van sectie2 daalt over de periode 1970-2002. In sectie2 wordt de ratio waterdiepte dus kleiner bij een breedtegemiddelde verdieping.

6.2.8 Ratio Wateroppervlak



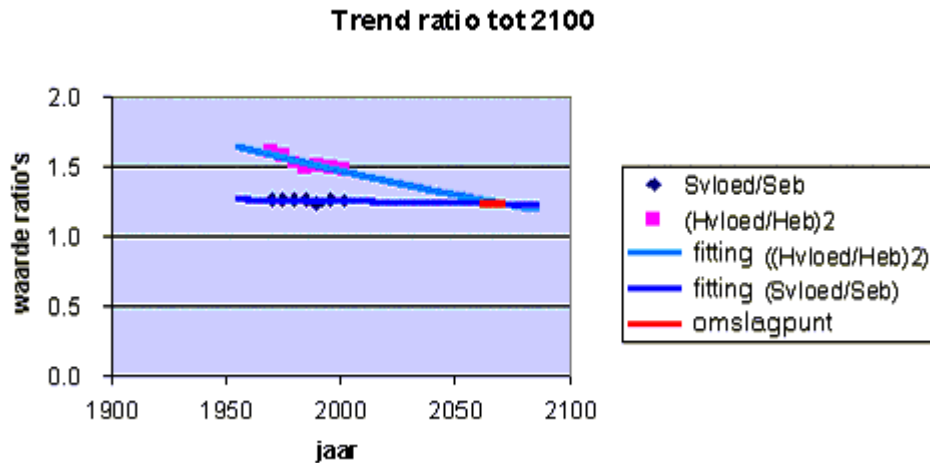
Figuur 6.10: Ratio Wateroppervlak

De ratio wateroppervlak is een maat voor de het areaal intergetijdengebied. Hoe groter de verhouding, des te groter het areaal intergetijdengebied. In Figuur 6.10 is de ontwikkeling voor de verschillende secties in de tijd weergegeven. De ratio neemt in de meeste secties iets af in de periode 1800-2002 (sectie1, sectie2, sectie4 en sectie5). In de sectie3 en in sectie6 is de ratio in dezelfde periode vrij constant. In 1800 is de spreiding tussen de secties relatief groot. Deze spreiding neemt af tot 1950. Dit betekent dat op grond van de ratio Waterdiepte de verschillen in de morfologische situaties tussen de verschillende secties niet erg groot is. Vanaf 1950 neemt de spreiding tussen de ratio's van de verschillende secties weer iets toe en de uniformiteit tussen de secties neemt af.

De afname van de ratio in Sectie1 in de periode 1975-2002 is inherent aan een relatieve oppervlakte vergroting van het water bij eb. Deze oppervlakvergroting kan het gevolg zijn van een door baggerwerkzaamheden versterkte volumevergroting. In sectie3 en sectie4 neemt de ratio tot 1975 toe, om vervolgens constant te worden. Deze trendbreuk van de ratio kan ook veroorzaakt worden door een relatieve oppervlakte vergroting van het water door baggerwerkzaamheden rond 1970.

6.2.9 Verhouding ratio wateroppervlak en waterdiepte

De verhouding tussen het wateroppervlak en waterdiepte van estuaria in evenwicht gedraagt zich als $y=\sqrt{x}$ (Paragraaf 5.2). Er is een trendanalyse gedaan van de ratio's wateroppervlak en waterdiepte over de periode 1965-2002. In deze periode begeven de beide ratio's zich naar de onderlinge verhouding. Het snijpunt van beide trends is geeft aan dat beide ratio's zich verhouden als $y=\sqrt{x}$ en de Westerschelde in evenwicht is. Uit de trendanalyse blijkt dat over 70 jaar de ratio's zich verhouden als $y=\sqrt{x}$, de Westerschelde zal dus het morfologisch evenwicht van Jeuken *et al.* (2000) over 70 jaar bereiken. De morfologie van de Westerschelde wordt volgens dit resultaat gekenmerkt door steeds minder sedimenterende geulen en minder eroderende platen. Indien de trend zich over 70 jaar nog doorzet, kan dit leiden tot een enkel geulsysteem met een eroderende geul en opbouwende platen.



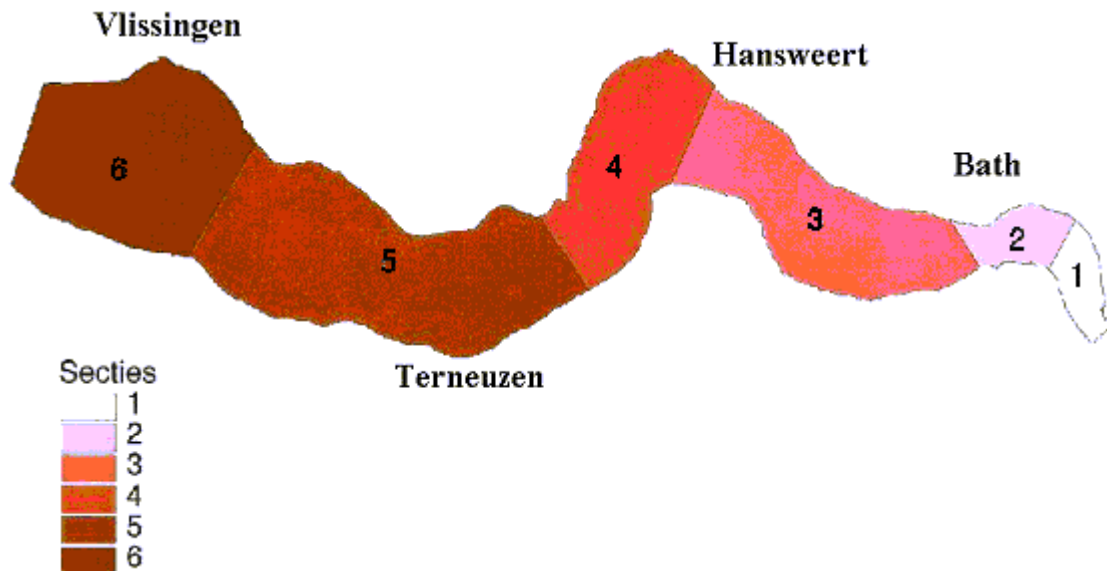
Figuur 6.11: trend ratio wateroppervlak en waterdiepte

Het omslagpunt is gedefinieerd door het morfologische evenwicht ($y=\sqrt{x}$). In de grafiek is in plaats van de wortelfunctie gekozen om de relatie tussen de ratio's kwadratisch weer te geven.

6.3 Macrodynamiek

6.3.1 Inleiding

De macrodynamiek wordt per sectie beschouwd. De opeenvolging van de secties is van oost (Sectie1) naar west (Sectie6; Figuur 6.12). Per sectie zijn de breedtegemiddelde diepte, het watervolume en de wateroppervlakte in een grafiek weergegeven. De breedtegemiddelde diepte en het watervolume zijn bij hoogwater bepaald, het wateroppervlak is ten opzichte van eb bepaald. Geulen zijn dieper dan -10 m NAP.



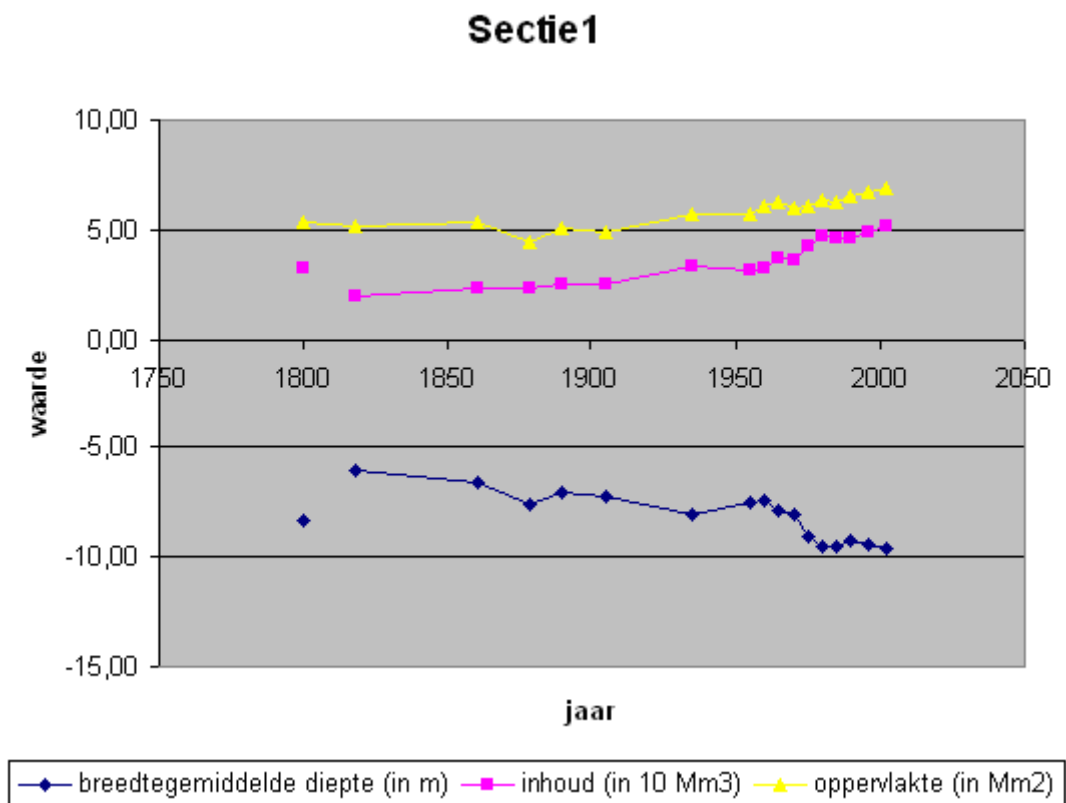
Figuur 6.12: Estuariene secties (naar Jeuken, 2000)

6.3.2 Sectie1

Het wateroppervlak bij vloed en op NAP-niveau blijft door de tijd constant. Het wateroppervlak bij eb is in de periode 1800-1905 constant. Vanaf 1905 neemt het wateroppervlak bij eb structureel toe. De breedtegemiddelde diepte is constant in de periode 1800-1905. De periode 1905-2002 wordt gekenmerkt door een breedtegemiddelde verdieping. In de periode 1970-1980 neemt de waterinhoud ten opzichte van het wateroppervlak toe. Dit wordt verklaard door een relatieve verdieping ten opzichte van het wateroppervlak. De totale

volume in Sectie1 is vergroot met 22 miljoen m³ (Bijlage 9). Deze inhoudsvergroting is inclusief baggerwerkzaamheden. Er is in deze periode een volume van circa 24 miljoen m³ gebaggerd (Schouwenaar, 2001). Indien de verdieping in zijn geheel toe te schrijven is aan de baggerwerkzaamheden dan heeft dit geleid tot een breedtegemiddelde verdieping van ruim 2 meter (Figuur 6.13).

De samenhang tussen de breedtegemiddelde diepte en de waterinhoud blijkt uit Figuur 6.13. De trend van het wateroppervlak volgt de trends van de breedtegemiddelde diepte en de waterinhoud, maar is minder uitgesproken. Het getrapte patroon in de tendensen van de breedtegemiddelde diepte en de waterinhoud zijn synchroon. De knikpunten bevinden zich in beide trends op dezelfde tijdstippen namelijk 1935, 1970, 1980 en 1990. De steile delen in de grafiek zijn het gevolg van verdiepingen, al dan niet door veroorzaakt baggerwerkzaamheden. Er hebben in 1970, 1975/1976, 1986/1987 baggerintensiveringen plaatsgevonden (Schouwenaar, 2001). In de perioden van 1970 tot 1980 en rond 1990 zijn er verdiepingen te herkennen in de trends van de breedtegemiddelde diepte en waterinhoud (Bijlage 13). In Bijlage 9 zijn de sedimenttransporten weergegeven van Sectie1. Hieruit blijkt dat de sedimentexport toeneemt.

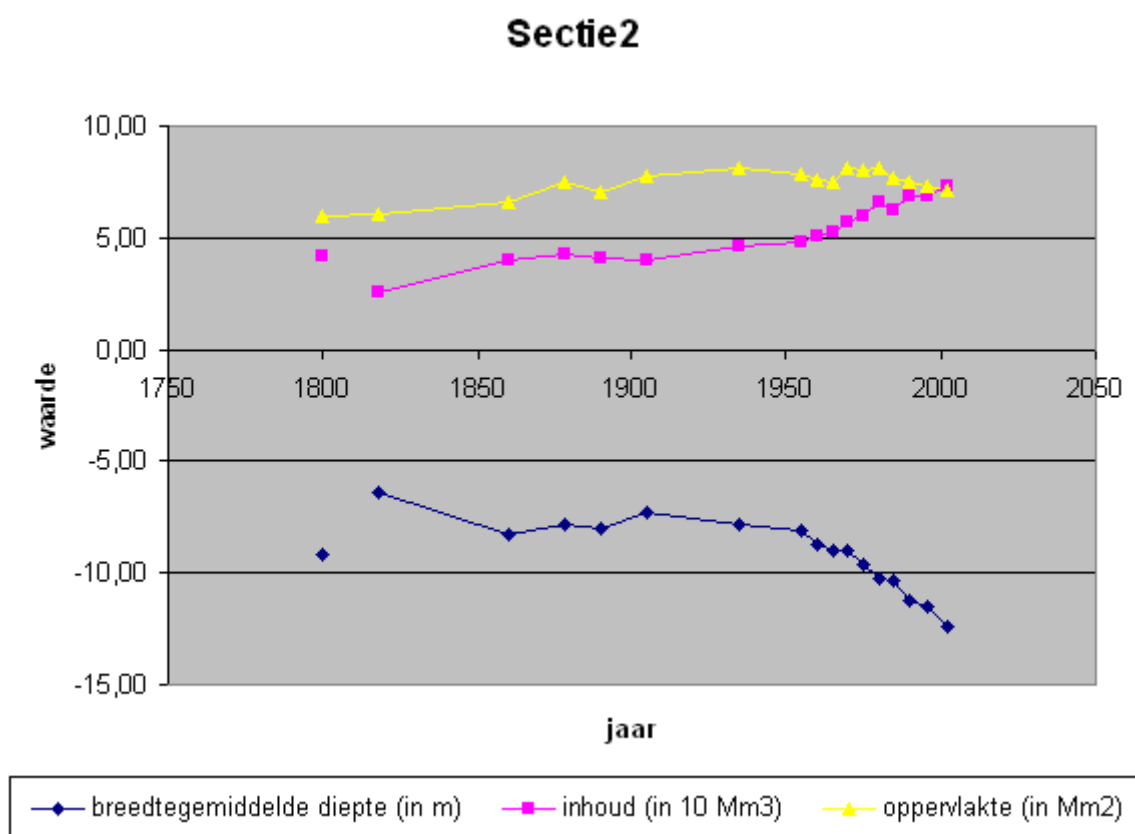


Figuur 6.13: Overzicht parameters sectie1

6.3.3 Sectie2

Het wateroppervlak neemt in de periode 1800-1931 geleidelijk toe, om in de periode 1931-1965 langzaam af te nemen. Tussen 1965 en 1970 neemt het wateroppervlak sterk toe. In de periode 1970-2002 neemt het wateroppervlak weer langzaam af (Figuur 6.14). De waterinhoud is in de periode 1800-1955 vrij constant. Tussen 1955 en 2002 neemt de waterinhoud sterk toe. Ook de breedtegemiddelde diepte geeft een gelijke trend. De breedtegemiddelde diepte is vrij constant in de periode 1800 tot 1955. De periode 1955-2002 wordt gekenmerkt door een sterke breedtegemiddelde verdieping.

In 1800 is er sprake één geul die zich in 1860 splitst in een ebschaar en in een vloodschaar. De ebschaar is tot in 2002 dominant, de vloodschaar is in 1860 maximaal en is tot in 2002 waar te nemen. In 1965 is de drempel tussen de eb- en de vloodschaar maximaal waardoor het wateroppervlak minimaal is. Vanaf 1970 wordt deze drempel steeds dieper. Vanaf 1980 migreert de rand van het Land van Saeftinge het gebied in. Hierdoor neemt tot 2002 het wateroppervlak af. Door constante baggerwerkzaamheden wordt de waterinhoud en de breedtegemiddelde diepte steeds groter (Figuur 5.14). Deze baggerwerkzaamheden hebben de minimale geuldiepte van -14 m NAP verdiept naar -16 m NAP. De breedtegemiddelde verdieping is constant gegaan. De baggerwerkzaamheden in Sectie2 hebben met een constante intensiteit plaatsgevonden (Schouwenaar, 2001) en hebben geen abrupte gevolgen voor de breedte gemiddelde diepte en waterinhoud. De trendbreuk rond 1955 waarbij een breedtegemiddelde verdieping en een inhoudsvergroting optraden, kunnen het gevolg zijn van de baggerwerkzaamheden in sectie1. In sectie1 werd al in 1955 gebaggerd. Het gevolg is dat de morfologie in sectie2 zich hierdoor al heeft aangepast.



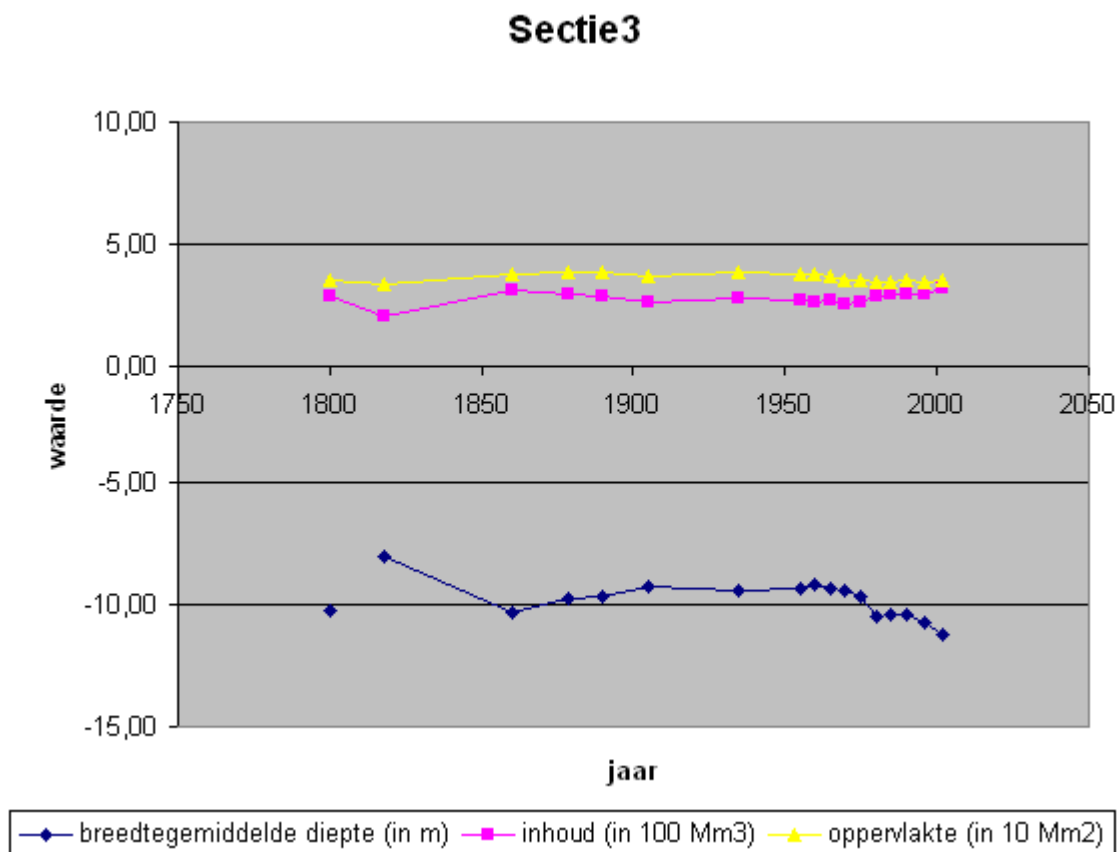
Figuur 6.14: Overzicht parameters sectie2

6.3.4 Sectie3

Het wateroppervlak is in de periode 1800-2002 constant. De waterinhoud en de breedtegemiddelde diepte zijn van 1800 tot 1970 constant. Tussen 1970 en 2002 wordt sectie3 gekenmerkt door een breedtegemiddelde verdieping en een vergroting van het wateroppervlak (Figuur 6.15). In de periode 1970-1980 neemt de breedtegemiddelde diepte sterk toe. In deze periode zijn ook de baggerwerkzaamheden voor het eerst geïntensiveerd. In de periode 1990-1996 zijn de baggerwerkzaamheden wederom intensiever geworden. In de periode 1990-2002 neemt de breedtegemiddelde diepte ook toe. In Sectie3 is een positieve samenhang tussen de baggerwerkzaamheden en de breedtegemiddelde diepte.

In 1800 is er in sectie3 nog geen doorlopende geul aanwezig (minimaal -10 m NAP). In 1800 lopen zowel de eb- als de vloodschaar dood op een drempel. Op grond van de diepte is de vloodschaar dominant. In 2002 is er een situatie waarbij de ebgeul dominant is. Deze geul heeft een minimale diepte van -16 m NAP.

Het platencomplex van Valkenisse wordt door een vloodschaar en een aantal kortsluitgeulen in verscheidene platen gedeeld. De kortsluitgeulen breken vanuit de ebgeul door het platencomplex. In 1960 is het platengebied van Valkenisse tot één complex gegroeid en wordt het gebied door de Schaar van Valkenisse van Zeeuws Vlaanderen gescheiden. De drempel tussen de Put van Hansweert en het Zuidergat wordt sinds 1955 verdiept door baggerwerkzaamheden. Sinds 1970 zijn de baggerhoeveelheden jaarlijks van 1 miljoen m³ naar 2 à 3 miljoen m³ verhoogd (Schouwenaar, 2001). Sinds 1955 wordt er baggermateriaal gestort in sectie3. De maximale baggerstort vindt plaats in de periode 1975 en 1990. Er wordt dan gemiddeld 4 miljoen m³/jaar gestort. Ondanks de stortingen neemt de breedtegemiddelde diepte in de periode 1955-2002 toe. De baggerstort heeft ook geen invloed op het volume en het wateroppervlak van sectie3, het volume neemt licht toe in de periode 1970-2002 en het wateroppervlak is constant.



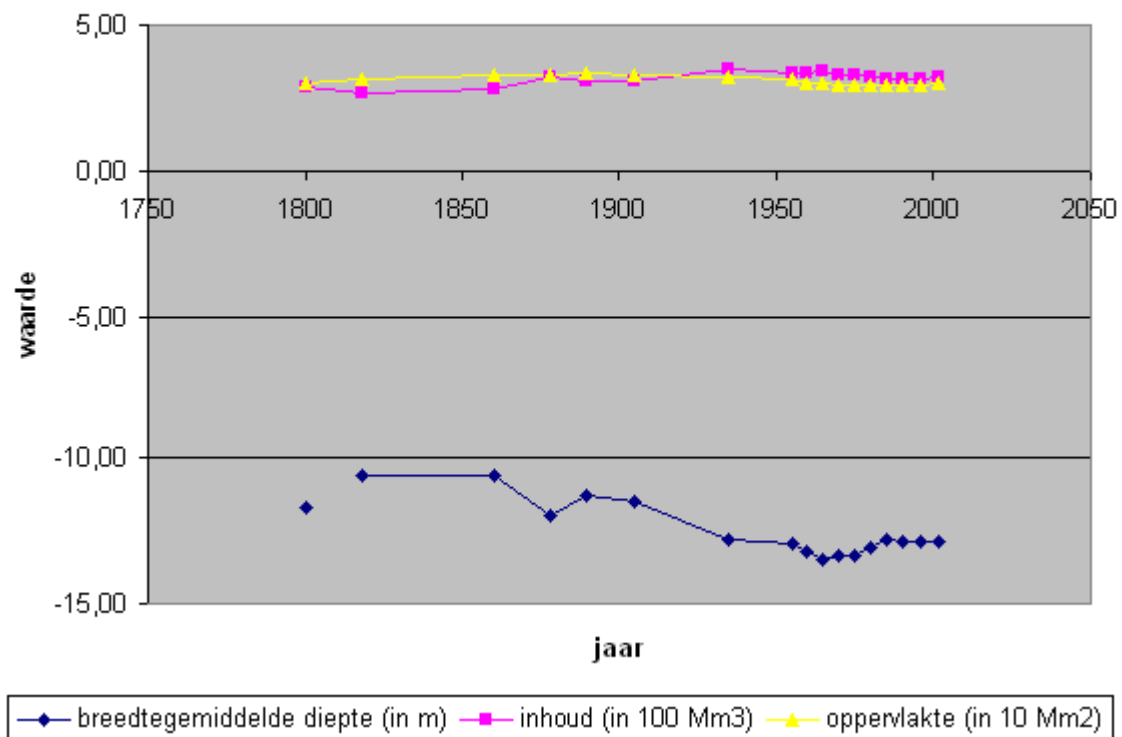
Figuur 6.15: Overzicht parameters sectie3

6.3.5 Sectie4

Het wateroppervlak en de waterinhoud is in de periode 1800-2002 constant (Figuur 6.16). De breedtegemiddelde diepte neemt in de periode 1860-1965 af. Het volume van het systeem is het grootst als de ebgeul in haar maximale omvang is en de vloodschaar zich aan het ontwikkelen is (tussen 1935 en 1965, Bijlage 16). Tussen 1965 en 1985 neemt de breedtegemiddelde diepte af om vervolgens tot 2002 constant te blijven.

In 1970 heeft men door baggerwerkzaamheden de ebgeul tot hoofdgeul willen maken. Echter vanaf 1931 begint de vloedschaar (Overloop van Hansweert) zich al meer dominant te gedragen ten opzichte van de ebgeul (Middelgat). De Overloop van Hansweert snijdt zich vanuit het Gat van Ossensisse in. De vloedschaar heeft in de loop der tijd de ebschaar bij het Middelgat afgesneden. Tegenwoordig is de hoofdgeul via de Overloop van Hansweert gedefinieerd. Sinds 1975 verdiept men de drempel tussen de Overloop van Hansweert en de Put van Hansweert (Schouwenaar, 2001). De Platen van Ossensisse worden door de vloedschaar in twee gebieden gesplitst. Het platencomplex wordt constant verder versneden door verscheidene kortsluitgeulen.

Sectie4



Figuur 6.16: Overzicht parameters sectie4

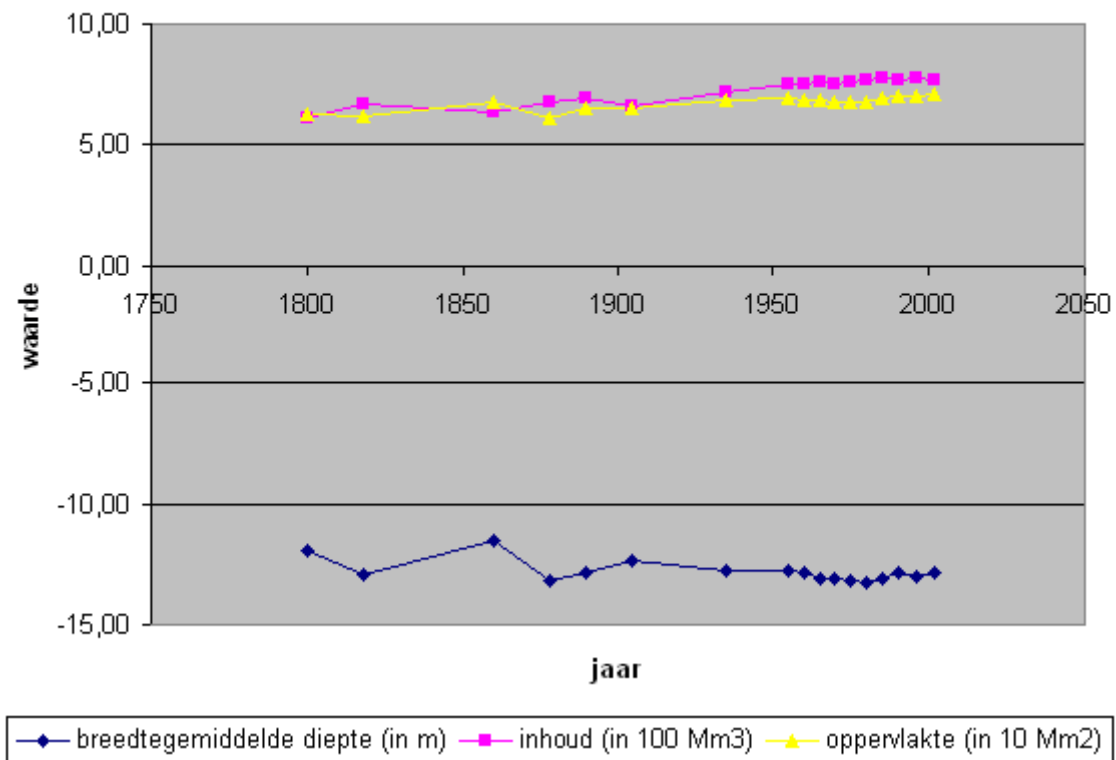
6.3.6 Sectie5

Het wateroppervlak en de waterinhoud vertonen in de periode 1800-2002 een kleine constante toename (Figuur 6.17). In 1800 eindigen zowel de eb- als de vloedgeul (Pas van Terneuzen respectievelijk de Everingen) op een drempel (Pas van Borssele respectievelijk de Ondiepte van Everingen). De Pas van Borssele is minimaal -8 m NAP en de Ondiepte van Everingen is -10 m NAP. In 1860 ontwikkelt de ebgeul zich. Deze heeft een minimale diepte van -14 m NAP. De effecten van de baggerwerkzaamheden zijn nauwelijks zichtbaar in de trends. Tussen 1970 en 1970 neemt de breedtegemiddelde diepte toe. Vanaf 1973 wordt de Pas van Borssele structureel verdiept (gemiddeld 1 miljoen m³/jaar, Schouwenaar, 2001). Door deze verdieping is in 2002 de minimale geuldiepte -16 m NAP. In de periode 1980-1990 neemt de breedtegemiddelde diepte weer af, om vervolgens tot 2002 een constante waarde aan te nemen.

De oorspronkelijke Hooge en Lage Springer eroderen vanuit het oosten door migratie van de buitenbocht van de ebgeul. Het oorspronkelijke Middelplaatcomplex verandert als systeem

niet, maar wordt wel constant versneden door opvolgende kortsluitgeulen. De Ondiepte van Everingen lijkt het resultaat van sedimentaccumulatie vanuit de vloedschaar. Deze drempel wordt regelmatig versneden door kortsluitgeulen. Deze kortsluitgeulen ontstaan vanuit de ebschaar en migreren stroomafwaarts. Ook de vloedschaar snijdt door de drempel heen. Door deze versnijdingen is het platencomplex verdeeld in diepere en ondiepere delen.

Sectie5



Figuur 6.17: Overzicht parameters sectie5

6.3.7 Sectie6

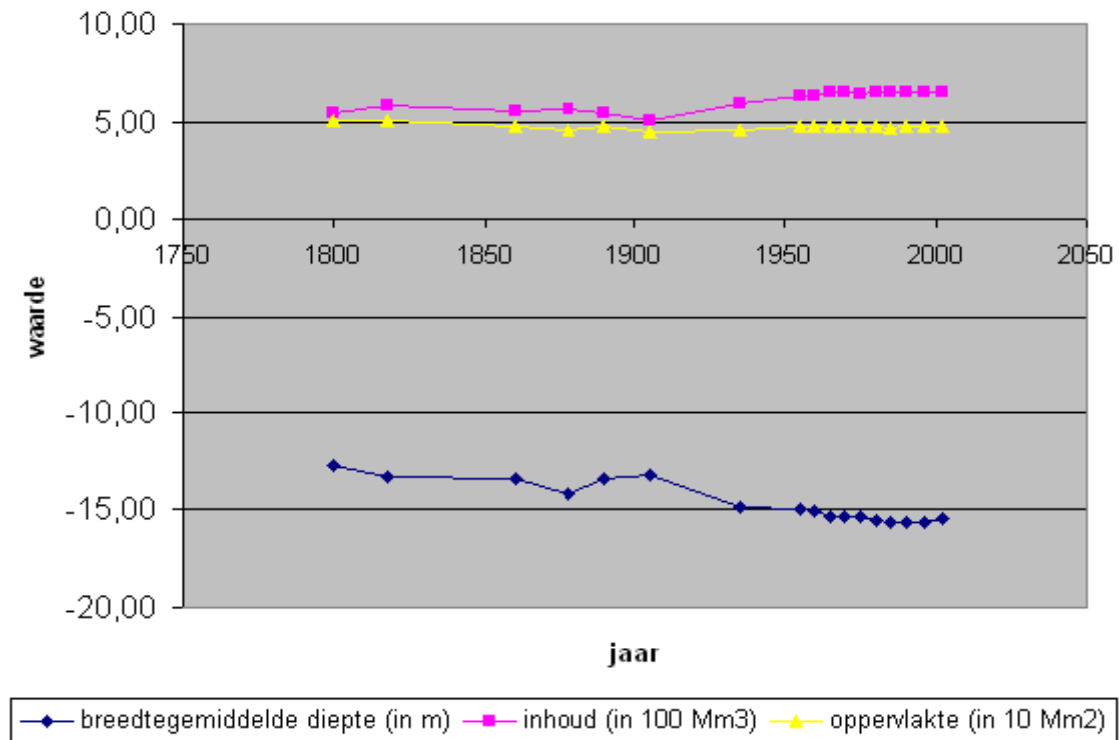
Het wateroppervlak blijft in de periode 1800-2002 constant. De breedtegemiddelde diepte en het wateroppervlak zijn in de periode 1800-1905 constant. De periode 1905-2002 wordt gekenmerkt door een breedtegemiddelde verdieping. Het wateroppervlak neemt toe in de periode 1905-1965 om vervolgens tot 2002 constant te zijn.

In 1800 en 1860 zijn twee duidelijk eb- en vloedscharen te herkennen. De ebschaar in het noorden langs Vlissingen (de Honte) en in het zuiden de vloedschaar (tegenwoordig het Vaarwater langs Hoofdplaat). De wateroppervlaktes blijven temporeel constant. De Hooge Platen ontwikkelen zich vanaf 1800 en worden steeds groter en hoger. Tot 1905 worden deze platen door kortsluitgeulen van elkaar gescheiden. Na deze periode worden de Hooge Platen één plaat. De buitenbocht van de ebgeul, de Honte, erodeert waardoor de ebgeul naar het noorden migreert. De migratie van de Honte gaat ten koste van de Kaloot.

In 1800 ontwikkelt zich in het westen een nieuwe vloedschaar, de Schaar van Spijkerplaat, die op dezelfde drempel eindigt als de ebgeul, de Honte. Vanaf 1860 migreren beide scharen tegen de klok in om de drempel heen. In 1905 heeft de ebgeul de vloedschaar aangesneden. Vanaf dat moment is de minimale diepte -16 m NAP. De diepste delen van de vloedgeul blijven tot in 2002 onveranderd. De drempel achter de geul is aan veranderingen onderhevig en wordt door verscheidene kortsluitgeulen versneden. Het watervolume en de

breedtegemiddelde diepte nemen toe door de ontwikkeling van de geulen terwijl het wateroppervlak gelijk blijft. Het profiel wordt steiler. Er is in 1999 voor het eerst sprake van baggerwerkzaamheden in sectie6 bij de Rede van Vlissingen (enkele miljoenen m³, Schouwenaar, 2001). Deze baggerwerkzaamheden hebben geen invloed op de breedtegemiddelde diepte, het wateroppervlak en de waterinhoud.

Sectie6



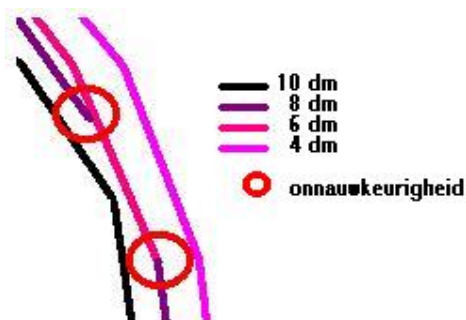
Figuur 6.18: Overzicht parameters sectie6

7 Discussie

7.1 Nauwkeurigheid hoogtemodellen

Uit de hoogtemodellen blijkt dat de karteringen door de tijd heen nauwkeuriger worden. Uit analyse van de gegevens van 1800 blijkt dat de geulen en de platen globaal beschreven worden. In de set zijn eb- en vloedscharen te herkennen. Er komen geen complexe systemen in de karteringen voor zoals platen versneden door kortsluitgeulen. Kortsluitgeulen zijn dus niet herkenbaar. Vanaf 1860 zijn verscheidene complexe systemen herkenbaar in de data (Hooge Platen, Platen van Ossenissee en de Platen van Valkenisse). De gegevens uit 1905 hebben dezelfde nauwkeurigheid als de data uit 1860. Daarna is de nauwkeurigheid van de gegevens alleen maar groter geworden.

Bij het digitaliseren van de lodingkaarten zijn een aantal onzekerheden ontstaan. Hoogtelijnen “lopen soms dood” op andere hoogtelijnen (Figuur 7.1) en in sommige hoogtelijnen zitten stukken lijn met een verkeerde hoogtewaarde. Deze onnauwkeurigheden hebben hun weerslag op de interpolatie. Uiteraard zijn de gegevens zo nauwkeurig mogelijk doorlopen om deze fouten te elimineren.



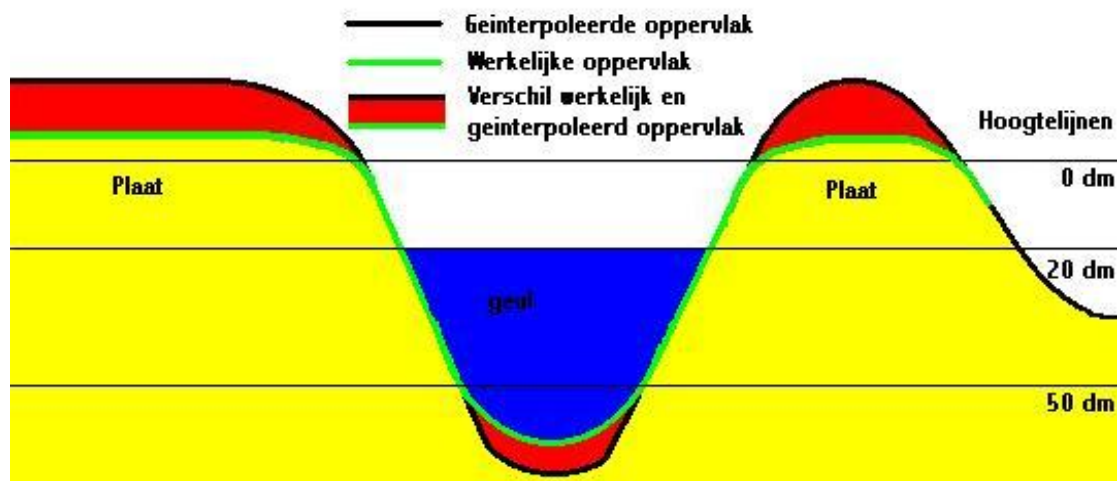
Figuur 7.1: Onnauwkeurigheden in hoogtelijnen

De originele gegevens bestaan uit hoogtelijnen. Tussen deze hoogtelijnen zitten onderling intervallen met verschillende groottes (Tabel 7.1). Vanaf hoogtelijn 0 dm neemt het interval tussen twee opeenvolgende hoogtelijnen toe. Hierdoor ontstaat er een toenemende onnauwkeurigheid vanaf hoogte 0 dm wanneer er geïnterpoleerd wordt. De interpolatie tussen deze hoogtelijnen is onnauwkeuriger bij grotere intervallen. Deze onnauwkeurigheid wordt in het hoogtemodel verwerkt.

Hoogtelijnen	interval
0	
20	20
50	30
80	30
120	40
200	80
300	100

Tabel 7.1: Hoogtelijnen met intervallen (in dm)

Er zijn ook onnauwkeurigheden die resulteren in extreem hoge gebieden (+4 m NAP). Deze onnauwkeurigheden zijn het gevolg van het feit dat *Topogrid* hellingen glooiend laat verlopen. Deze glooiingen kunnen zich in de werkelijkheid abrupter voordoen. In Figuur 7.2 is een visualisatie van dit probleem weergegeven.



Figuur 7.2: Onnauwkeurigheden in Topogrid

Deze onnauwkeurigheid is echter nauwelijks te voorkomen en binnen *Topogrid* zijn er geen reële alternatieven voorhanden. Wanneer deze gebieden niet meegenomen worden in de interpolatie ontstaan er gaten in het hoogtemodel. Om deze gaten op te vullen krijgen deze gebieden een arbitraire waarde. Dit is een onelegante methode waarbij de vloeiendheid van het model aangetast wordt.

7.2 Nauwkeurigheden datareeks

De temporele spreiding van gebruikte kaarten (Bijlage 5) is niet constant. Van 1800 tot 1905 zijn er zes kaarten en tussen 1906 tot 1955 zijn er twee kaarten. In de laatste periode van 1956 tot 2002 is dichtheid maximaal en zijn er negen kaarten. Naast het feit dat door de tijd heen de verdeling van de jaargangen dichter wordt, zijn de jaargangen van 1800 tot 1955 onregelmatig verdeeld. De jaargangen hebben verschillende intervallen variërend van 18 jaar tot 42 jaar. In de periode 1955-1990 is er om de vijf jaar gekarteerd. Tussen 1990 en 2002 is er om de zes jaar gekarteerd. Door de tijd heen neemt de kaartdichtheid toe en wordt de spreiding regelmatiger. Hierdoor zijn processen door de tijd heen steeds nauwkeuriger te herkennen. Het gedrag van geulen en platen wordt beter gevisualiseerd.

7.3 Discussie Megadynamiek

7.3.1 Breedte Westerschelde

Uit Figuur 6.3 en uit Bijlage 6 blijkt dat het oosten van de Westerschelde versmalt. Dit is een suggestieve versmalling die ontstaat doordat de data uit 1860 en 1905 het Land van Saeftinge beschrijven terwijl de latere data (1931 tot 2002) dit gebied niet beschrijven. Voor de bepalingen van de breedtegemiddelde diepte is alleen de data van de overlappende gebieden gebruikt. Hierdoor heeft de breedtegemiddelde diepte betrekking op een constant gekarteerd gebied zodat trends in de tijd te bepalen zijn. Het Land van Saeftinge valt hierdoor buiten de beschouwingen.

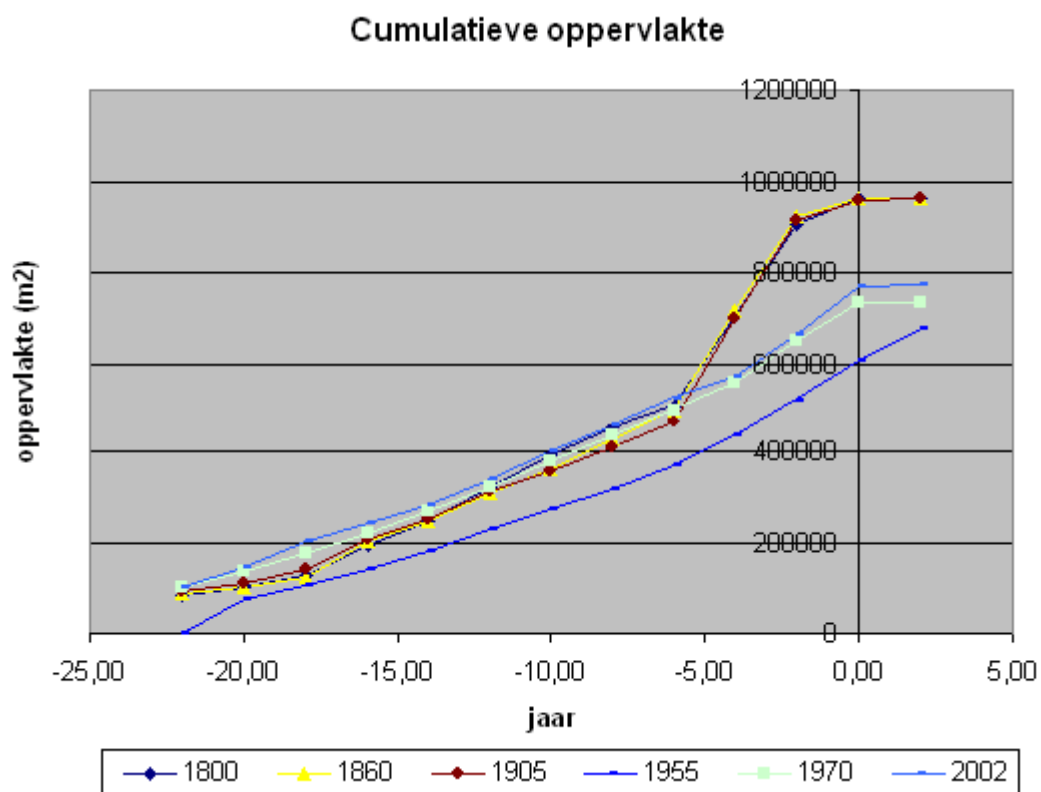
7.3.2 Breedtegemiddelde diepte

In Figuur 6.4 is te zien dat het oosten van de Westerschelde vanaf 1955 sterk verdiept (Sectie1 t/m Sectie3). Dit is het gevolg van de intensieve baggerwerkzaamheden die vanaf 1955 in het oosten plaatsvinden (Schouwenaar, 2001). In het westen (Sectie6) is tot 1999 niet gebaggerd.

Ondanks de baggerwerkzaamheden in Sectie5, is het verloop van de breedtegemiddelde diepte in Sectie5 sinds 1955 gelijk aan Sectie6. In het westen (sectie5 en sectie6) wordt de breedtegemiddelde verdieping dus niet door baggerwerkzaamheden veroorzaakt. De verdieping heeft hier een natuurlijke oorzaak (sedimentexport). Het kan ook zijn dat de morfologie zich nog steeds aanpast aan de baggerwerkzaamheden waardoor deze werkzaamheden niet herkenbaar zijn in de trend. Eventueel toekomstig onderzoek kan dit aantonen. Ook stortingen kunnen de baggerwerkzaamheden compenseren in deze sectie.

7.3.3 Diepteklassen

De jaargangen 1800 tot en met 1905 hebben bij de intervallen vanaf -6 m NAP grotere oppervlakten (Figuur 7.3). Dit komt doordat de ondiepe delen aan de randen van de Westerschelde qua areaal niet gelijk gekarteerd zijn. Verder blijkt dat de waarden van 1955 significant afwijken van de andere jaren. De waarden zijn lager vanwege een fout in het hoogtemodel of een fout in de toepassing “Histogram distributie” in *ArcView*. In het hoogtemodel worden geen oppervlakken onder de -20 m NAP weergegeven. In het hoogtemodel waarmee het histogram wordt bepaald, worden deze dieptes wel aangegeven. De richtingscoëfficiënt van 1955 is wel gelijk aan de andere jaren.

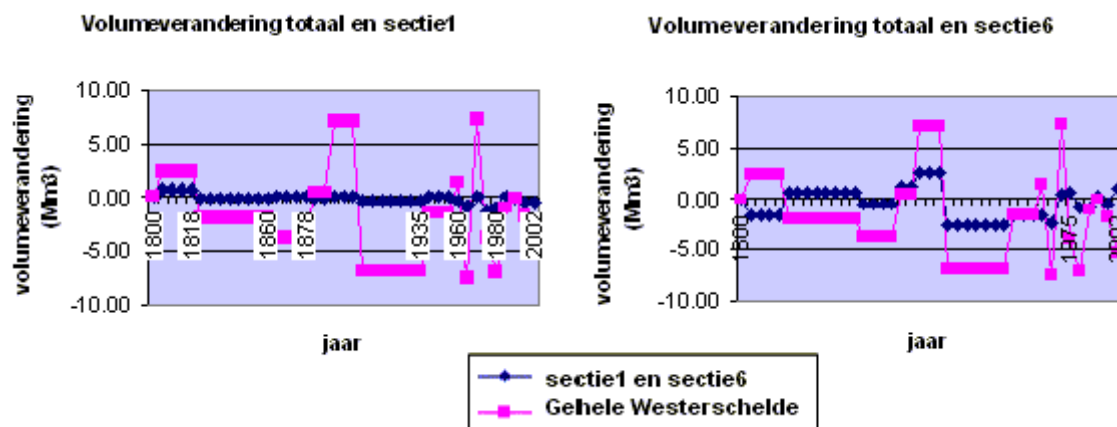


Figuur 7.3: Verdeling diepteklassen

7.3.4 Volume verandering

De volume veranderingen in de westelijke secties zijn extremer dan de volume veranderingen in de oostelijke secties (Figuur 7.4). Dit komt omdat in de westelijke secties het getijvolume groter is en de transportcapaciteit dus ook groter is. Tevens is in de grotere westelijke secties meer sediment beschikbaar voor transport. De sedimenttransporten in de westelijke secties benaderen het netto sedimenttransport van de gehele Westerschelde. Dit komt door de

aanname dat het netto sediment transport over de Nederlands-Belgische grens verwaarloosbaar is en dat het netto sedimenttransport in en uit de Westerschelde gelijk is aan het sedimenttransport over de westelijke grens van sectie6. Het belangrijkste deel van het netto sedimenttransport in de Westerschelde wordt door de westelijke secties ontvangen en geleverd. De oostelijke secties hebben weinig invloed op de netto sedimenttransport in en uit de Westerschelde-systeem (Figuur 7.4).



Figuur 7.4: Trend volumeveranderingen sectie1 en sectie6 ten opzichte van de gehele Westerschelde

De berekende sedimenttransporten zijn vergeleken met de sedimenttransporten van Jeuken *et al.* (2003). Hieruit blijkt dat in dit onderzoek het volume van de Westerschelde verruimd dus sediment exporterend is. Jeuken *et al.* (2003) hebben bepaald dat de Westerschelde de laatste 40 jaar netto sediment importerend is. Het laatste decennium is de Westerschelde volgens Jeuken *et al.* (2003) overigens wel sediment exporterend. In dit onderzoek is het volume onder NAP bepaald en in het onderzoek van Jeuken *et al.* (2003) is het volume onder +3,5 m NAP bepaald. In tabel 7.2 is het verschil weergegeven tussen de volumeveranderingen in deze studie en de studie van Jeuken *et al.* (2003).

Dit onderzoek (volume bepalingen onder n.a.p. in Mm3/jaar)

jaar	sectie1	sectie2	sectie3	sectie4	sectie5	sectie6
1960-1970	-0.33	-0.95	0.79	0.31	0.84	-0.16
1970-1980	-1.17	-2.19	-3.59	-4.76	-5.31	-5.48
1980-1990	0.01	-0.08	0.03	-0.58	-0.26	-0.55
1990-2000	-0.46	-0.82	-3.51	-2.95	-3.87	-3.57

Jeuken *et al.*, 2003 (volume bepaling onder +3,5 m NAP in Mm3/jaar)

jaar	sectie1	sectie2	sectie3	sectie4	sectie5	sectie6
1960-1970	0.50	0.80	1.80	3.70	1.10	-0.40
1970-1980	0.00	1.00	0.20	0.30	0.70	2.50
1980-1990	1.20	3.40	1.90	2.00	1.90	2.90
1990-2000	0.60	1.60	2.40	-0.20	-0.90	-1.40

Verskil in volumeverandering (Mm3/jaar)

jaar	sectie1	sectie2	sectie3	sectie4	sectie5	sectie6
1960-1970	-0.83	-1.75	-1.01	-3.39	-0.26	0.24
1970-1980	-1.17	-3.19	-3.79	-5.06	-6.01	-7.98
1980-1990	-1.19	-3.48	-1.87	-2.58	-2.16	-3.45
1990-2000	-1.06	-2.42	-5.91	-2.75	-2.97	-2.17

Tabel 7.2: Volumeveranderingen per sectie
Vergelijking resultaten van dit onderzoek met resultaten Jeuken *et al.* (2001)

Jaar	transport (Mm ³ /jaar)	totaal transport (Mm ³)	natuurlijk transport	transport (natuurlijk en antropogeen)
1800	0.00	0.00	0.00	-
1818	2.52	45.39	45.39	-
1860	-1.98	-83.08	-83.08	-
1878	-3.84	-69.20	-69.20	-
1890	0.50	5.96	5.96	-
1905	7.02	105.36	105.36	-
1935	-6.89	-206.82	-206.82	-
1955	-1.55	-31.08	-31.08	-
1960	1.43	7.16	-	7.16
1965	-7.56	-37.81	-	-37.81
1970	7.24	36.20	-	36.20
1975	-3.90	-19.49	-	-19.49
1980	-7.06	-35.32	-	-35.32
1985	-0.99	-4.96	-	-4.96
1990	-0.11	-0.57	-	-0.57
1996	-1.81	-10.86	-	-10.86
2002	-5.33	-31.98	-	-31.98
totaal		-331.11	-233.47	-97.64
totaal (per jaar)		-1.64	-1.51	-2.08

Tabel 7.3: Bepaling invloed zandwinning

Jeuken *et al.* (2003) concluderen dat de zandwinning de Westerschelde zodanig beïnvloedt dat het systeem omslaat van een importerend systeem naar een exporterend systeem. Om dit te kunnen verifiëren moeten de menselijke invloeden van de natuurlijke sedimenttransporten onderscheiden worden. Om de natuurlijke sedimenttransporten in en uit de Westerschelde te bepalen is aangenomen dat de sedimenttransporten natuurlijk zijn voor 1956 als de eerste zandwinningen plaatsvinden. Het netto sediment export onder NAP in de Westerschelde is voor 1955 gemiddeld circa 1,5 Mm³/jaar. In de gehele periode 1800-2002 is het gemiddelde sediment export onder NAP 1,6 Mm³/jaar.

De netto sediment export tussen 1956 en 2002 wordt bepaald door de natuurlijke sedimenttransporten en door de zandwinningen. In deze periode is de netto sediment export onder NAP 2,1 Mm³/jaar. Zandwinningen hebben een totaal volume van 100 Mm³ in circa 45 jaar (Jeuken *et al.*, 2003). Omgerekend wordt er 2,2 Mm³/jaar zand gewonnen. Nu het totale sedimenttransport (-2,1 Mm³/jaar) en de zandwinningen (-2,2 Mm³/jaar) bekend zijn, kan het natuurlijke sedimenttransport bepaald worden. De natuurlijke sedimenttransport is (-2,1--2,2=) 0,1 Mm³/jaar.

Volgens deze berekeningen is het natuurlijke sedimenttransport onder NAP in de periode 1800-1955 netto exporterend 1,5 Mm³/jaar. In de periode 1955-2002 is het natuurlijke sedimenttransport netto importerend (0,1 Mm³/jaar). Het natuurlijke sedimenttransport is in de laatste periode dus omgeslagen. Echter door zandwinningen wordt het netto

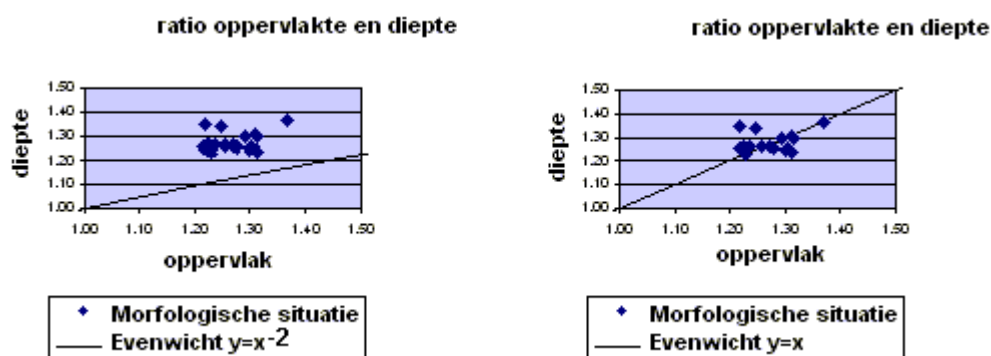
sedimenttransport onder NAP in de Westerschelde exporterend. Uit dit onderzoek blijkt dat de zandwinning een doorslaggevende factor is het sedimenttransport in de Westerschelde.

7.4 Evenwichten in het systeem

Voor het beleid is het van belang om te weten of de Westerschelde in of uit evenwicht is of het tendeert naar een nieuw evenwicht. De evenwichtssituatie is een estuarium met platen en geulen zonder netto sedimentatie en erosie. Jeuken *et al.* (2001) schrijven dat de Westerschelde momenteel uit evenwicht is en gekenmerkt wordt door eroderende platen en sedimenterende geulen. Ook uit dit onderzoek blijkt dat de Westerschelde momenteel niet in evenwicht is. De Westerschelde is netto sediment exporterend. Uit een trendanalyse (Figuur 6.11) blijkt dat de morfologische situatie van de Westerschelde zich naar het evenwicht begeeft en dat dit evenwicht over 70 jaar bereikt wordt. Het is onduidelijk of de Westerschelde dan in evenwicht blijft of dat het kantelt naar een systeem met eroderende geulen en sedimenterende platen.

Het is ook discutabel of het door Jeuken *et al.* (2001) beschreven evenwicht van estuaria correct is (Hoofdstuk 5.2). Zowel de Oosterschelde als het Texels zeegatsysteem zijn boven het evenwicht ($y=\sqrt{x}$) weergegeven (Figuur 5.3). Echter zijn in de Oosterschelde de platen eroderend, terwijl deze in het Texels zeegatsysteem opbouwend zijn (De Jong, Mond. Med).

Om een nieuw evenwicht te bepalen uit de resultaten van dit onderzoek moet er aangenomen worden dat er een periode is geweest waarin de morfologie van de Westerschelde zich in een evenwicht bevond. De periode 1800-1955 is dan het meest geschikt omdat er in die periode geen grootschalige baggerwerkzaamheden en zandwinningen hebben plaatsgevonden waardoor er geen onnatuurlijke trendbreuken zijn geweest. Het eventuele natuurlijke evenwicht in de periode 1800-1955 kan bepaald worden door een functie te fitten door de beschikbare gegevens. Het evenwicht van Jeuken *et al.* (2001) is mathematisch aangepast omdat het onduidelijk is hoe Jeuken *et al.* (2001) het evenwicht morfologisch heeft bepaald. Uitgaande van een puur mathematisch verband zijn drie nieuwe mogelijke evenwichtslijnen opgesteld. Deze evenwichten hebben alleen betrekking op de Westerschelde en dus niet op andere estuaria. De nieuwe lijnen voor de Westerschelde zijn: ($y=x$); ($y=1,14\sqrt{x}$); of ($y=\sqrt{x+0.2}$) (Figuur 7.5). Er zijn enkel alternatieve evenwichten bepaald, er is niet onderzocht welk evenwicht de meest correcte is.



Figuur 7.5: vergelijking evenwicht ($y=\sqrt{x}$) en ($y=x$)

7.5 Statische sectiegrenzen

Jeuken (2000) heeft de sectiegrenzen niet statisch beschouwd. In dit onderzoek is echter wel uitgegaan van statische secties. De sectie grenzen in dit onderzoek zijn gebaseerd op de secties van Jeuken (2000). Er is voor statische sectiegrenzen gekozen omdat de sectiegrenzen van Jeuken(2000) niet duidelijk genoeg zijn gedefinieerd. Indien de secties migreren dan beïnvloedt dit de eigenschappen van de sectie. Een sectie kan groter of kleiner worden en dieper en ondieper. Statische grenzen kunnen morfologische ontwikkelingen vertekenen. Wanneer de statische sectiegrenzen de morfologie niet meer correct omvatten kunnen essentiële eenheden buiten beschouwing komen. Dit heeft invloed op de volume en diepte analyses van de betreffende en aanliggende secties. Deze vertekening kan gecorrigeerd worden door de Westerschelde in morfologische secties op te delen in plaats van statische secties.

8 Conclusies

8.1 Megadynamiek

8.1.1 Begrenzing

De begrenzing van de Westerschelde is door de afgelopen twee eeuwen heen veranderd. Inpolderingen en bedijkingen hebben de maximaal laterale dynamiek van de Westerschelde steeds meer beperkt.

8.1.2 Enkel versus meer geulen

Het enkel geulsysteem verdringt door de tijd heen het meer geulensysteem. In 1800 was de overgang tussen het enkel en het meer geulensysteem bij Baalhoek, anno 2002 is de overgang 10 km westwaarts verplaatst richting Hansweert. Het enkel geulsysteem wordt gekenmerkt door een duidelijke hoofdgeul met herkenbare vloedscharen. Ten westen van Hansweert is de Westerschelde in de periode 1800-2002 continu gekenmerkt door een meer geulensysteem.

In het middendeel van de Westerschelde wordt het meer geulensysteem gekenmerkt door de overname van dominantie van de ebgeul door de vloedgeul (vanaf 1970). Vanaf 1800 ontwikkelt de vloedschaar (Overloop van Hansweert) zich steeds meer en snijdt uiteindelijk de ebgeul (Middelgat) af.

De monding van de Westerschelde wordt in 1800 gekenmerkt door drie geulen; een noordelijke geul die via het Sloe het Veerse Meer en Zandkraak systeem voedt. De middelste geul voedt de Westerschelde en de zuidelijke geul voedt de Braakman. De monding van de Westerschelde kan beschouwd worden als de samenkomst van Braakmangeul, de Sloegeul en de geul door de Westerschelde. Door de tijd heen verzanden de Braakmangeul en de Sloegeul. Gebieden in de Braakman en het Sloe zijn ingepolderd. Hierdoor is de komberging kleiner geworden, wat vervolgens een negatieve weerslag heeft op het bestaan van de geulen. In 2002 is er sprake van een duidelijke hoofdgeul. De geul die de Braakman voedt is verzand, maar als restant nog aanwezig. De geul die het Sloe voedt is verdwenen.

8.1.3 Breedtegemiddelde diepte

De breedtegemiddelde diepte in de Westerschelde neemt temporeel toe (Bijlage 7). In het oosten neemt de breedtegemiddelde diepte meer toe dan in het westen, respectievelijk met 4 en 2 meter. De verdieping in het westen kan als natuurlijk aangegeven worden, omdat de baggerwerkzaamheden en de zandwinning er nihil zijn geweest (Schouwenaar, 2001). De versterkte verdieping in het oosten komt door baggerwerkzaamheden en zandwinningen.

8.1.4 Dwarsprofiel van de Westerschelde

Het gemiddelde dwarsprofiel van de Westerschelde is in de periode 1800-2002 constant. De relatieve verdeling van de diepteklassen blijft door de tijd heen uniform (Bijlage 8). Hierdoor levert de cumulatieve weergave van de diepteklassen trendlijnen met gelijke richtingscoëfficiënten (Bijlage 8). Het dwarsprofiel van de Westerschelde is niet dynamisch.

8.1.5 Volumeverandering

Het volume onder NAP in de Westerschelde verandert voortdurend. Uit Figuur 6.7 blijkt dat het systeem in de 19^e eeuw onder NAP verkleinde en in de 20^e eeuw vergrootte. De omslag hiervan is natuurlijk, er waren geen baggerwerkzaamheden en zandwinningen in die tijd. Vanaf 1950 versterkt de toename van het volume in het oosten van de Westerschelde (Bijlage 9). Deze trendtoename is het gevolg van baggerwerkzaamheden en zandwinning.

8.1.6 Sedimenttransporten

Uit de volumeveranderingen zijn sedimenttransporten afgeleid. Het blijkt dat het sedimenttransport onder NAP in het estuarium in de periode 1900-2002 netto exporterend is. Omdat er voor 1955 geen zandwinningen plaatsgevonden hebben is het natuurlijke sedimenttransport in de periode 1800-1955 gelijk aan het netto sedimenttransport. In deze periode is er een netto sediment export van 1,5 Mm³/jaar. In de periode 1955-2002 wordt het netto sedimenttransport bepaald door het natuurlijke sedimenttransport en de zandwinningen. Er wordt 2,2 Mm³/jaar sediment geëxporteerd door zandwinningen. De totale sediment export is 2,1 Mm³/jaar. Er is dus een natuurlijke sediment import van 0,1 Mm³/jaar. De zandwinningen doen de totale sedimenttransporten in de Westerschelde omslaan van importerend naar netto exporterend.

Het sediment exporterende gedrag van de Westerschelde komt in dit onderzoek sterker naar voren dan in de resultaten van Jeuken *et al.* (2003, Tabel 7.2). De sedimenttransporten in dit onderzoek zijn bepaald onder NAP. Jeuken *et al.* (2003) hebben het sedimenttransport onder +3,5 m NAP bepaald.

8.1.7 Waterdiepte

De waterdiepte gedraagt zich niet volgens verwachting. De getijdeslag wordt door de tijd heen groter (Bijlage 4) hetgeen zou betekenen dat de ratio Waterdiepte groter wordt. Immers het verschil tussen H_{hw} en H_{lw} wordt groter. De waarden van de ratio waterdiepte (Bijlage 10) zijn temporeel en ruimtelijk constant tussen de 1,0 en de 1,2. De morfodynamiek in de Westerschelde is gezien deze ratio constant. Alleen in sectie2 neemt de ratio af van 1,2 naar 1,0. Dit betekent dat de breedtegemiddelde diepte groter wordt. Dit is het gevolg van het stijgen van de gemiddelde eb of door volume vergroting.

8.1.8 Wateroppervlak

De ratio wateroppervlak neigt temporeel en ruimtelijk naar één uniforme waarde van 1,1 tot 1,2. Voorheen was de variatie tussen de secties groter, van 1,1 tot 1,6. Dit impliceert dat de morfologische verscheidenheid tussen de secties in de tijd afneemt met als gevolg dat de morfodynamiek meer uniform wordt.

8.1.9 Verhouding wateroppervlak en waterdiepte

De verhouding tussen de waterdiepte en het wateroppervlak van estuaria in evenwicht gedraagt zich als $y=\sqrt{x}$ (Paragraaf 5.2). In Figuur 6.11 blijkt dat de Westerschelde naar een morfologisch evenwicht gaat en dat dit evenwicht over 70 jaar bereikt is. De morfologie van de Westerschelde wordt volgens deze gegevens gekenmerkt door steeds minder

sedimenterende geulen en minder eroderende platen. Indien deze trend zich na 70 jaar voortzet dan kantelt de Westerschelde volgens Jeuken *et al.* (2001) van een systeem met sedimenterende geulen en eroderende platen naar een systeem met eroderende geulen en opbouwende platen.

8.2 Macrodynamiek per sectie

Sectie1 is van 1800 tot 1900 een stabiel systeem. Vanaf 1900 wordt sectie1 groter: de inhoud, de breedtegemiddelde diepte en het wateroppervlak bij eb nemen toe (Bijlage 13). Het wateroppervlak bij eb is nagenoeg gelijk aan het oppervlak bij vloed. Dit betekent dat het areaal intergetijdegebied minimaal is. Baggerwerkzaamheden hebben in de perioden van 1970 tot 1980 en rond 1990 plaatsgevonden (Schouwenaar, 2001) en deze zijn als trendbreuken zichtbaar (Bijlage 13).

Sectie2 is van 1800 tot 1900 een stabiel systeem. Vanaf 1900 wordt het volume en de breedtegemiddelde diepte van sectie2 groter. Vanaf 1950 nemen de inhoud, de breedtegemiddelde diepte en het wateroppervlak sterk toe (Bijlage 14). Deze verdieping is het gevolg van baggerwerkzaamheden.

Sectie3 is vrij constant. Vanaf 1970 neemt de inhoud van sectie3 toe. De breedtegemiddelde diepte neemt af tot 1900 om vanaf 1970 sterk toe te nemen (Bijlage 15). Deze verdieping is het gevolg van baggerwerkzaamheden en zijn in de hoogtemodellen herkenbaar (Bijlage 5).

Sectie4 blijft tussen 1800 en 1900 constant. Tot 1950 neemt het volume toe om daarna weer af te nemen. Dezelfde tendens is herkenbaar in de breedtegemiddelde diepte (Bijlage 16). Het wateroppervlak blijft constant. De dominantie van de ebgeul wordt overgenomen door de vloed-schaar.

Sectie5 is de afgelopen 200 jaar constant verruimd (Bijlage 17). Deze verruiming wordt steeds minder en lijkt naar een evenwicht te gaan. De baggerwerkzaamheden zijn niet in de trends herkenbaar.

Sectie6 wordt van 1800 tot 1900 kleiner om vanaf 1900 sterk te vergroten. Na verloop van tijd neemt deze vergroting af en lijkt net als sectie5 constant te worden (Bijlage 18). Baggerwerkzaamheden zijn niet in de trends aanwezig.

9 Aanbevelingen

9.1 Verdichting tijdreeks

Om de temporele resultaten van dit onderzoek nauwkeuriger te maken is het van belang meer jaargangen in de tijdreeks op te nemen. De volgende jaartallen worden aanbevolen: 1921, 1931 en 1938. Verder kan de topografische kaart uit 1912 data toevoegen. De topografische kaart is minder nauwkeurig omdat daar alleen NAP en de laagwaterlijn zijn aangegeven.

9.2 Bepalen historische reductievlakken

Om de nauwkeurigheid van de resultaten van de eerste jaargangen (1800 en 1905) te bepalen moet de nauwkeurigheid van de reductievlakken bepaald worden. De lodingkaarten zijn momentopnamen en de reductievlakken zijn gebaseerd op 9-jaarsgemiddelden. Tevens moet ingeschat worden wat de nauwkeurigheid is van de reductievlakken van 1800 en 1818. Deze reductievlakken zijn afgeleid van het reductievlak uit 1860. Doekes (Mond. Med., 2003) heeft de volgende literatuur aanbevolen:

- Langeraar, W., 1956,
Memorie samenstelling reductiekaarten 1956
Dienst der Hydrografie
- Oosterwijk, H.J.M., Doekes, J., 1986
Bepaling LLWS 1985.0, LAT en HAT voor de Nederlandse getijstations
RWS Dienst Getijdewateren, nota GWIO-86.003
- RWS Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, 1985
Tienjarig Overzicht 1961-1970

9.3 Begrenzing hoogtemodellen

In dit onderzoek is de Westerschelde te definiëren als het overlappende deel dat in elk hoogtemodel voorkomt. De begrenzing is modeltechnisch gekozen en heeft geen morfologische logica. Het is van belang om de hoogtemodellen tot de bandijken te begrenzen. Voor dit onderzoek waren er te weinig gegevens beschikbaar om elk hoogtemodel tot de bandijken te interpoleren. Vervolg onderzoek moet de gegevens over de ligging van bandijken, de ligging en de hoogtes van schorren en slikken in de hoogtemodellen opnemen.

9.4 Verbeteren sedimentbalans

In dit onderzoek is een sedimentbalans opgesteld voor het gebied beneden NAP. Om een beter inzicht te krijgen over het sedimenttransport in de gehele Westerschelde moet het sedimenttransport op alle niveaus bepaald worden, ook boven NAP. Na vergelijking van de sedimentbalans uit dit onderzoek met de balans van Jeuken *et al.*, (2003) blijkt dat de twee balansen niet te koppelen zijn. Het feit dat de sedimentbalans uit dit onderzoek het gebied onder NAP beslaat en dat de balans van Jeuken *et al.* (2003) het gebied onder +3,5 m NAP beslaat heeft te grote invloeden op de sedimenthoeveelheden. Een verdere studie naar sedimenttransporten moet zich richten op sedimenttransporten op verschillende dieptes.

9.5 Optimalisatie geïdealiseerde modellen

Om goede morfologische voorspellingen over de Westerschelde te doen is het noodzakelijk een correct morfologisch model te hebben. Een aantal geïdealiseerde morfologische modellen zijn reeds ontwikkeld (Schuttelaars & De Swart, 2000). Ze zijn echter niet op historische data gecalibreerd, maar op actuele situaties. Dit onderzoek levert ruimtelijke en temporeel

morfologische trends die als calibratie en optimalisatie kunnen dienen voor geïdealiseerde modellen.

9.6 Verificatie evenwicht Jeuken et al. (2001)

Het is onduidelijk hoe het morfodynamische evenwicht van estuaria door Jeuken *et al.* (2001) mathematisch tot stand is gekomen. Zij hebben een aantal estuaria en de lijn ($y=\sqrt{x}$) geplot in een grafiek (Figuur 4.3). Kroon en De Jong (Mond. Med., 2003) bekritisieren dit evenwicht omdat verscheidene estuaria volgens het evenwicht ($y=\sqrt{x}$) zich morfodynamisch gelijk gedragen terwijl deze in werkelijkheid een tegengestelde morfologische ontwikkeling kennen. Voor vervolgonderzoek is het interessant de morfologische achtergrond van het morfodynamische evenwicht van Jeuken *et al.* (2001) te onderzoeken.

9.7 Bepaling historische sectiegrenzen

Het is noodzakelijk te bepalen of en in hoeverre de secties statisch zijn. Secties moeten worden gedefinieerd op grond van de morfologie. Secties bestaan uit een eb- en een vloed-schaar, gescheiden door, door kortsluitgeulen doorsneden, platen. De grenzen worden gekarakteriseerd door knooppunten tussen de eb- en vloed-schaar systemen. Wanneer de historische sectiegrenzen zijn bepaald kan de morfodynamica van de secties nog beter bepaald worden.

9.8 Toevoegen morfodynamische parameters

Om meer inzicht te krijgen in de morfodynamica van de Westerschelde is het noodzakelijk extra morfodynamische parameters te onderzoeken. Er is een inventarisatie gedaan naar geschikte parameters (Hoofdstuk 4). Een aanrader is om eerst de Mega- en Macrodynamiek te onderzoeken. Na dit onderzoek kunnen de Meso- en de Microdynamische parameters bepaald worden. Een overzicht van de additionele parameters is hieronder weergegeven.

Megadynamiek:

- De breedte-lengte ratio (B/L)

Macrodynamiek

- de breedte-diepte verhouding (β), zowel van de hele estuariene sectie als van de individuele geulen en platen.
- de verhouding tussen de getijslag (u) en de gemiddelde waterdiepte (H),

Mesodynamiek & Microdynamiek

- verplaatsingsnelheden van platen (V_{plaat})
- verhouding omtrek en oppervlakte platen
- verplaatsingsnelheden van geulen (V_{geul})
- herhalingsfactor kortsluitgeulen (T)
- inundatieduur

Literatuur

- Berg, J.H. van den, M.C.J.L. Jeuken, A.J.F. van der Spek, 1996.
Hydraulic processes affecting the morphology and evolution of the Westerschelde estuary. K.F. Nordstrom en C.T. Roman (red): Estuarine shores: evolution, environments and human alterations. John Wiley & Sons Ltd, Chichester. pp. 157-184
- Brand, K.J.J., 1983
Over het ontstaan en de ontwikkeling van de Hont of Westerschelde.
Uit: Zeeuws Tijdschrift, 1983, afl 3. pp 99 – 110
- Claessens, J., L. Meyvis, 1994,
Overzicht van de tijwaarnemingen in het Zeescheldebekken gedurende het decennium 1981-1990. Antwerpen, Ministerie van de Vlaamse gemeenschap, Antwerpse Zeehavendienst.
- Crosato, A., M.W. de Vries, K. Kuijper, 1999
A tool for intertidal flat classification
WL Delft Hydraulics, Report Z2037.50
- Dalrymple, R.W., B. Zaitlin, R. Boyd, 1992.
Estuary facies models. Conceptual basis and stratigraphic implication.
Journey of Sedimentary Petrology, 62(6), pp 1130-1146.
- Doekes, J., 2003
Email contact
- Huijs, S.W.E., 1995
Geomorfologische Ontwikkeling van het Intergetijdegebied in de Westerschelde, 1935-1989
Rijkswaterstaat RIKZ/Middelbrug, project OOSTWEST, pp. 56
- Huijs, S.W.E., 1996
De ontwikkeling van de morfologie in de Westerschelde in de relatie tot menselijke ingrepen, 1955-1994,
Rijkswaterstaat, RIKZ/Middelbrug, Morfologie Schelde-estuarium (MOS), pp 100.
- Jeuken, M.C.J.L., 2000
On the morphologic behaviour of tidal channels in the Westerschelde estuary
Proefschrift, Universiteit Utrecht, pp. 378
- Jeuken, M.C.J.L., A. Crosato, M. de Vries. 2001
Naar fysische graadmeters voor de zoute wateren vanuit ecologisch perspectief.
rapport Z2941, WL Delft Hydraulics, pp 30.
- Jeuken, C., I. Tanczos, Z.B. Wang, 2003
Evaluatie van het beleid voor vaargeulonderhoud en zandwinning sinds de tweede vaargeulverdieping op basis van veldwaarnemingen en het verbeterde Cellenconcept Westerschelde.

Kraker, A.M.J. de, 2002.

Duizend jaar Honte of Westerschelde. Een poging tot reconstructie van de Westerschelde in grote lijnen, 1000 tot 2000. Uit: De Westerschelde, een water zonder weerga. Ontstaansgeschiedenis en kaartbeeld, havens, handel en scheepvaart, verkeer, verdrinken dorpen, oorlog en verdedigingswerken, natuur en milieu en andere aspecten van de Westerschelde. pp. 17-36

Pieters, T., G.P. Bollenbakker, J. Vroon, 1993

Berekeningen invloed geulverdiepingen en kombergingsvergroting op het getij Schelde-estuarium. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ).
Werkdocument GWWS-93.862x

ScheldeAtlas, 1999

red. door Bert van Eck
Schelde InformatieCentrum, ISBN: 90-369-3434-6

Schippers, H., 2003

De fysische effecten van de verruiming in de Westerschelde. Verbetering van het MOVE denkmodel met behulp van het cellenconcept.
Afstudeerrapport, Universiteit Twente. pp. 52

Schouwenaar, B., 2001

Morfologische ontwikkeling Westerschelde 1931-2000
Werkdocument RIKZ/AB/2001.832x

Schuttelaars, H.M., & H.E. de Swart, 1999

Initial formation of channels and shoals in a short tidal embayment.
In: Journal of Fluid Mechanics, Vol. 386, pp. 15-42

Schuttelaars, H.M., 2000

Modellering van geulen en platen in de Westerschelde, Eindrapport
Projectnummer RKZ-536, pp. 61

Schuttelaars, H.M., & H.E. de Swart, 2000

Multiple morphodynamic equilibria in tidal embayments.
In: Journal of Geophysical Research, Vol 115, No. C10, pp. 24-118

Schuttelaars, H.M., 2003

Resultaten Matlab berekeningen
Per email verstuurd

Spek, A.J.F. van der., 1997

Tidal asymmetry and long-term evolution of Holocene tidal basins in the Netherlands: simulation of paleo-tides in the Schelde estuary.
Marine Geology, pp. 71-90

Stive, M.J.F., & H.J. de Vriend, 1995

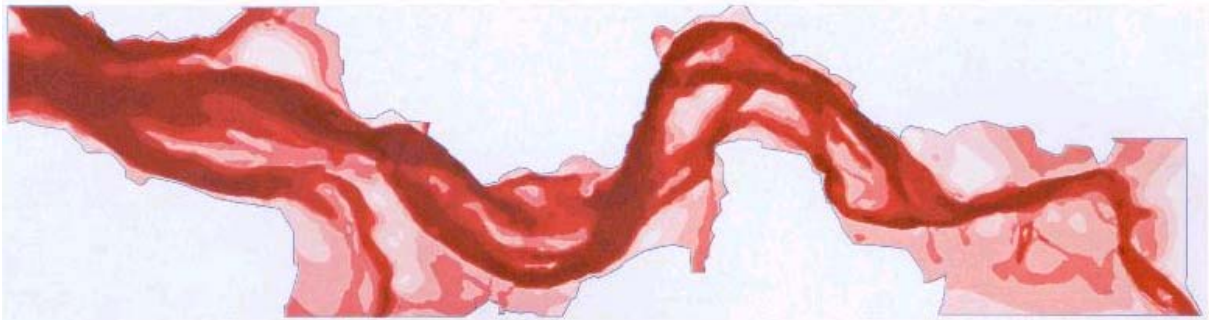
Modelling shoreface profile evolution.

- Marine Geology, Vol. 126, pp. 235-248
- Stive, M.J.F., Z.B. Wang, A.W. van der Weck, H.F.P. van den Boogaard, M.J. Baptist, 1998
Definitiestudie Morfologische Dynamiek Westerschelde.
Rapport Z2427, WL Delft Hydraulics
- Veen, J. Van, 1950.
Eb- en Vloedscharen inde Nederlandse getijwateren.
Tijdschrift Koninklijk Nederlandsche Aardrijkskundig Genootschap. Vol 67. pp 303 - 325
- Vroon, J., C. Storm, J. Coosen, 1997.
Westerschelde, stram of struis? Eindrapport van het Project OostWest, een studie naar de beïnvloeding van fysische en verwante biologische patronen in een estuarium,
Rapport RIKZ-97.023, pp.107
- Zuurdeeg, J., 1974
De Westerschelde, zeearm en scheepvaart.
Zeeuws Tijdschrift nr 4

Twee eeuwen Westerschelde

Een morfologisch referentie kader

Bijlagen



Onno Goldbach
December 2003

Overzicht Bijlagen

BIJLAGE 1: BESCHIKBARE KAARTEN.....	3
BIJLAGE 2: AML TOPOGRID.....	4
BIJLAGE 3: CONVERSIE NAAR NAP	5
BIJLAGE 4: HOOGWATER EN LAAGWATERSTANDEN 1800-2002.....	6
BIJLAGE 5: HOOGTEMODELLEN 1800 TOT 2002.....	7
BIJLAGE 6: BREEDTE.....	25
BIJLAGE 7: BREEDTEGEMIDDELDE DIEPTE	26
BIJLAGE 8: VERDELING DIEPTEKLASSEN.....	27
BIJLAGE 9: VOLUMEVERANDERINGEN.....	28
BIJLAGE 10: WATERDIEPTE	29
BIJLAGE 11: WATEROPPERVLAK	30
BIJLAGE 12: RATIO WATEROPPERVLAK EN WATERDIEPTE.....	31
BIJLAGE 13: SECTIE1.....	32
BIJLAGE 14: SECTIE2.....	33
BIJLAGE 15: SECTIE3.....	34
BIJLAGE 16: SECTIE4.....	35
BIJLAGE 17: SECTIE5.....	36
BIJLAGE 18: SECTIE6.....	37

Bijlage 1: Beschikbare Kaarten

De kaarten die in dit onderzoek zijn gebruikt, zijn onderstreept

lodingkaarten:

- 1931,
- 1955,
- 1559/1960,
- 1665/1966,
- 1969/1970,
- 1975/1976,
- 1980,
- 1984/1985,
- 1990,
- 1994,
- 1996,
- 1997,
- 1998,
- 2002,

dieptelijnen kaarten (beschikbaar):

- 1800,
- 1818,
- 1860,
- 1878,
- 1890,
- 1905,

dieptelijnen kaarten (nog niet beschikbaar):

- 1921,
- 1931,
- 1938,
- 1945,
- 1955,
- 1960,
- 1963,
- 1967,

topografische kaarten:

- 1912,

geomorfologische kaarten

- 1935,
- 1956,
- 1965,
- 1975,
- 1989,
- 1996,
- 2001,

Bijlage 2: AML Topogrid

Het script dat voor de interpolatie van de hoogtemodellen gebruikt is in deze bijlage uitgelegd. Topogrid is voor de interpolatie dé interpolatie methode. Hieronder is het gebruik van Topogrid aangegeven. Hier zijn de noodzakelijke functies en variabele.

Gebruik AML Topogrid:

```
TOPOGRID <out_grid> <cell_size>  
BOUNDARY <in_cover>  
CONTOUR <in_cover> <elev_item>  
DATATYPE <CONTOUR | SPOT>  
END
```

Toegepast AML Topogrid (start in Arc):

```
TOPOGRID hoogtemodel_1800 20  
BOUNDARY dijk1800  
CONTOUR hoogtelijnen1800 diepte  
DATATYPE contour  
END
```

Uitleg commando's:

TOPOGRID	= start toepassing
BOUNDARY	= grens waarbinnen de interpolatie moet plaatsvinden
CONTOUR	= input hoogtegegevens
DATATYPE	= type data (hoogtelijnen of losse punten)
END	= stopt gegevens invoer en start toepassing

Optioneel

LAKE	= grens waarbuiten de interpolatie moet plaatsvinden
------	--

Uitleg variabelen:

Out_grid	= naam resultaat
Cell_size	= nauwkeurigheid van het grid
In_cover	= naam bron gegevens
Elev_item	= naam bron van het tabel met de hoogtegegevens
CONTOUR SPOT	= type data (hoogtelijnen = contour; puntendata = spot)

Bijlage 3: Conversie naar NAP

Periode	Bath	Walsoorden	Hansweert	Hoed'kerke	Terneuzen	E'woutsdijk	Hoofdplaat	Vlissingen	Breskens
1862 t/m 1870	-209		-221		-195	-215		-183	-201
1971 t/m 1880	-216	-229	-218		-205	-207	-196	-182	-197
1881 t/m 1890	-226	-231	-225	-214	-212	-210	-207	-196	-203
1891 t/m 1900	-218	-222	-220	-209	-207	-209	-200	-196	-196
1901 t/m 1910	-222	-221	-217	-211	-207	-202	-201	-196	-197
1911 t/m 1920	-213	-218	-217	-208	-203	-192	-194	-193	-193

- Merk op dat de waarden in cm ten opzichte van NAP zijn en
- de waterstanden van Vlissingen lijken in de periode 1862 t/m 1885 opvallend hoog ten opzichte van de omliggende meetpunten. Aangezien er nooit een duidelijke fout is getraceerd zijn de cijfers aangehouden.

Data voor de conversie:

	1800, 1818 en 1860	1890	1905
Bath	-209	-226	-218
Walsoorden		-231	-222
Hansweert	-221	-225	-220
Hoedekenskerke		-214	-209
Terneuzen	-195	-212	-207
Ellewoutsdijk	-215	-210	-209
Vlissingen	-183 *	-196	-196
Breskens	-201	-203	-196

Aanbevelingen van Doekes (Mond. Med. 2003)

Als reductievlak niet expliciet aangegeven staat:

- kaarten uit 1800 tot 1870 : gemiddeld LW 1862 t/m 1870
- kaarten uit 1870 tot 1925 : gemiddeld LW van het laatste afgeronde decennium
- kaarten uit 1925 tot 1955 : het oude LLWS
- kaarten vanaf 1955 : de reductievlakken, terug rekenen m.b.v. de gemiddelde zeestand

Bijlage 4: Hoogwater en Laagwaterstanden 1800-2002

9-jaarsgemiddelden								
Vlissingen			Terneuzen		Hansweert		Bath	
Jaar	hoogwater	laagwater	hoogwater	laagwater	hoogwater	laagwater	hoogwater	laagwater
1895	172	-196	185	-218	195	-207	222	-220
1905	179	-196	193	-222	207	-207	226	-217
1915	179	-193	200	-213	211	-203	238	-217
1925	184	-192	202	-213	210	-203	243	-221
1935	186	-186	203	-218	214	-203	239	-214
1945	188	-185	206	-215	218	-200	239	-215
1954	194	-183	209	-195	224	-210	249	-204
1955	195	-183	210	-196	225	-212	250	-205
1960	197	-186	215	-196	229	-215	252	-207
1965	197	-182	218	-192	232	-210	256	-201
1970	197	-182	219	-193	232	-210	258	-203
1975	198	-186	222	-197	232	-215	260	-215
1980	203	-184	226	-195	237	-211	266	-218
1985	202	-179	225	-191	238	-204	268	-214
1990	202	-179	225	-191	239	-203	269	-214
1996	208	-181	230	-193	244	-206	274	-217
1997	209	-180	231	-193	244	-206	275	-217
2002								

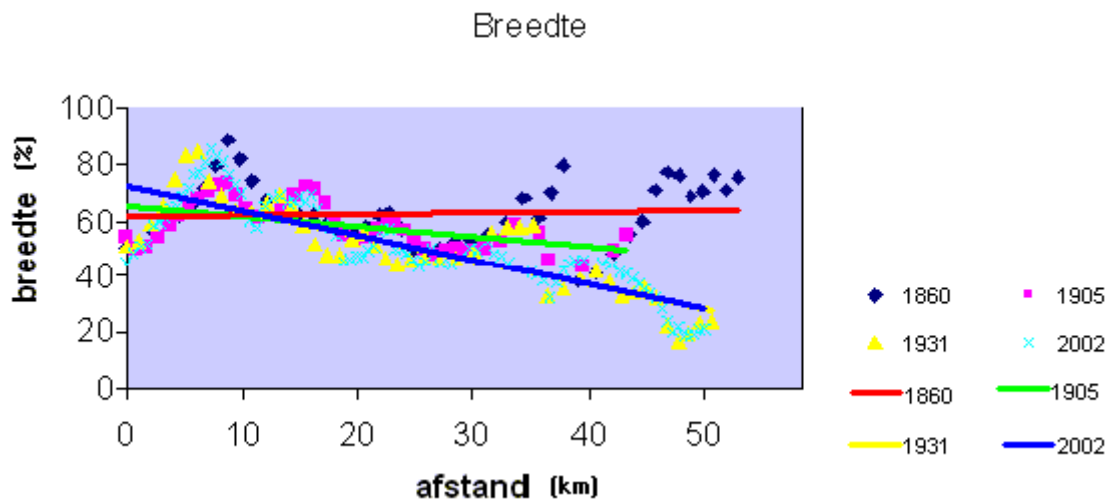
Tabel 1: Om inhouds-, oppervlakte- en dieptebepalingen uit de hoogtemodellen te doen zijn de gegevens uit de bovenstaande grafiek gebruikt. Deze waterstandengegevens zijn ten opzichte van NAP. De berekeningen zijn ten opzichte van drie niveaus gedaan: gemiddeld laagwater, NAP en gemiddeld hoogwater. Opvallend is dat de getijdeslag van west naar oost groter wordt (van Vlissingen naar Bath)

Bijlage 5: Hoogtemodellen 1800 tot 2002

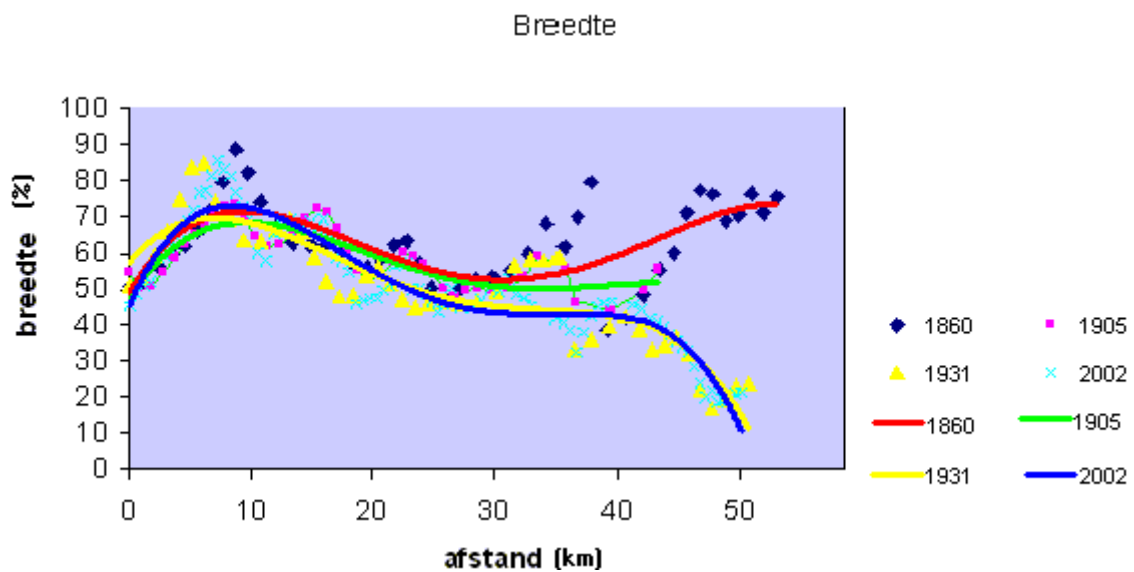
De tijdreeks hoogtemodellen is in deze Bijlage weergegeven. De volgende jaargangen zijn in deze Bijlage weergegeven:

1800	1931	1980
1818	1955	1985
1860	1960	1990
1878	1965	1996
1890	1970	2002
1905	1975	

Bijlage 6: Breedte

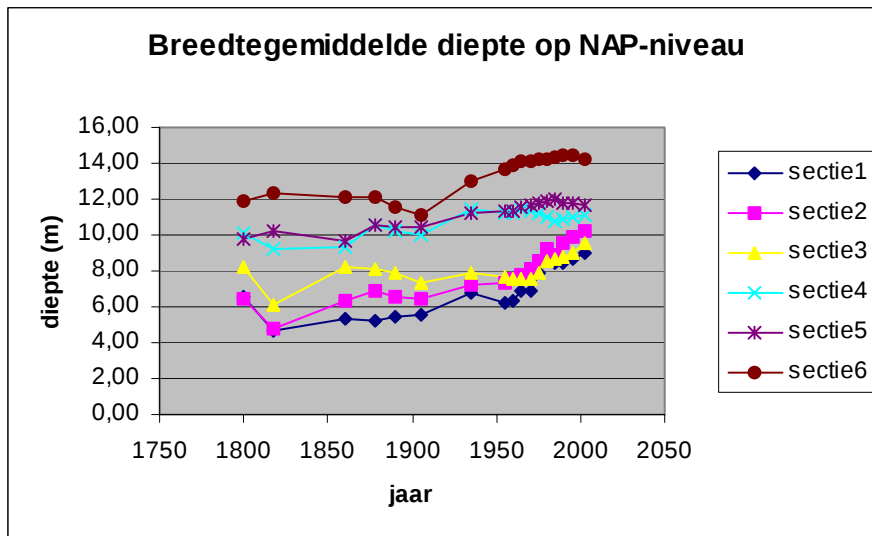


Figuur 1a: De breedte van het estuarium met lineaire fit. De begrenzing van het estuarium is 0 meter NAP.



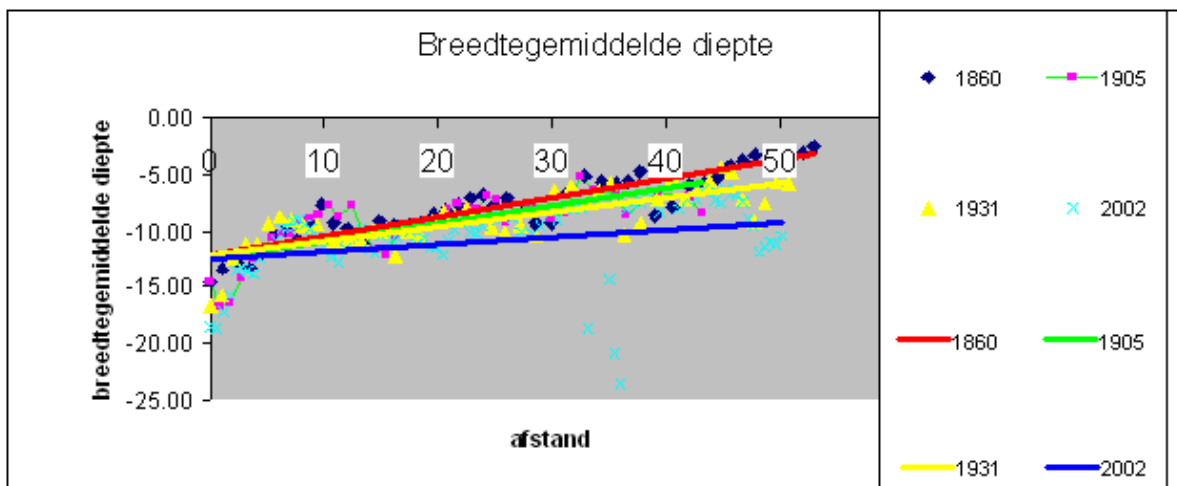
Figuur 1b: De breedte van het estuarium met exponentiele fit (macht 4). De begrenzing van het estuarium is 0 meter NAP.

Bijlage 7: Breedtegemiddelde diepte



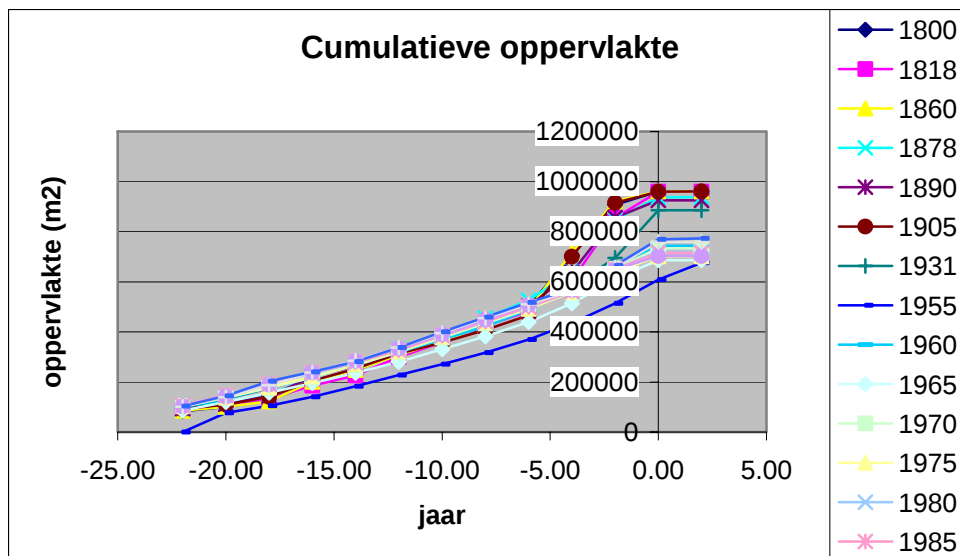
Figuur 1a
Breedtegemiddelde diepte op NAP-niveau.

Figuur 1b: breedtegemiddelde diepte door de lengte van de Westerschelde op 4 tijdstippen, met lineaire fit.

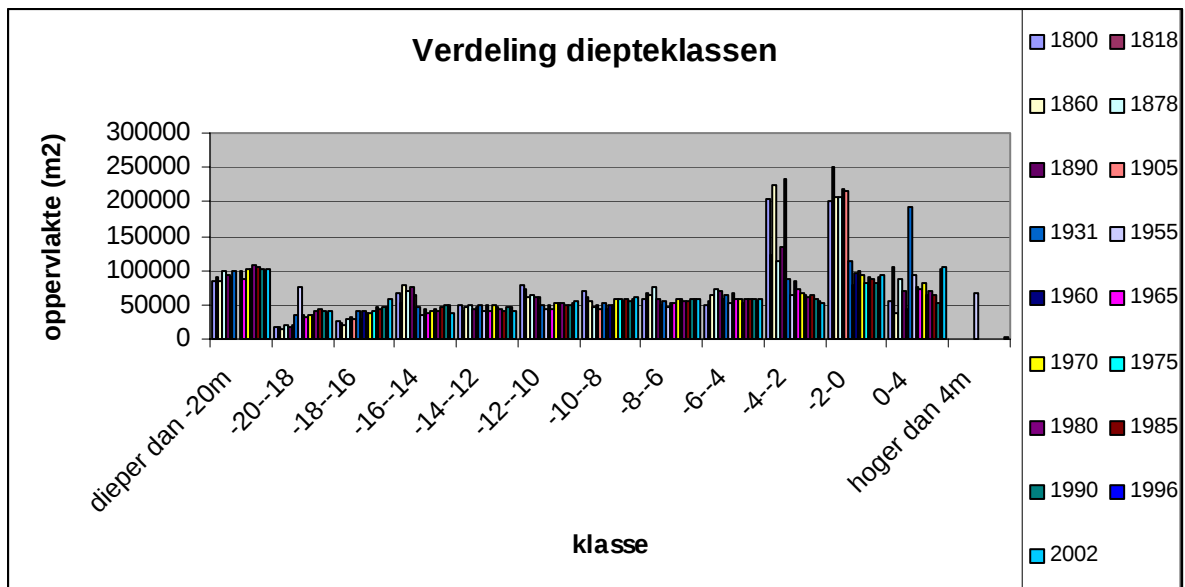


Figuur 1c: breedtegemiddelde diepte door de lengte van de Westerschelde op 4 tijdstippen, met exponentiële fit (macht 4). De afstand is in kilometers weergegeven.

Bijlage 8: Verdeling diepteklassen

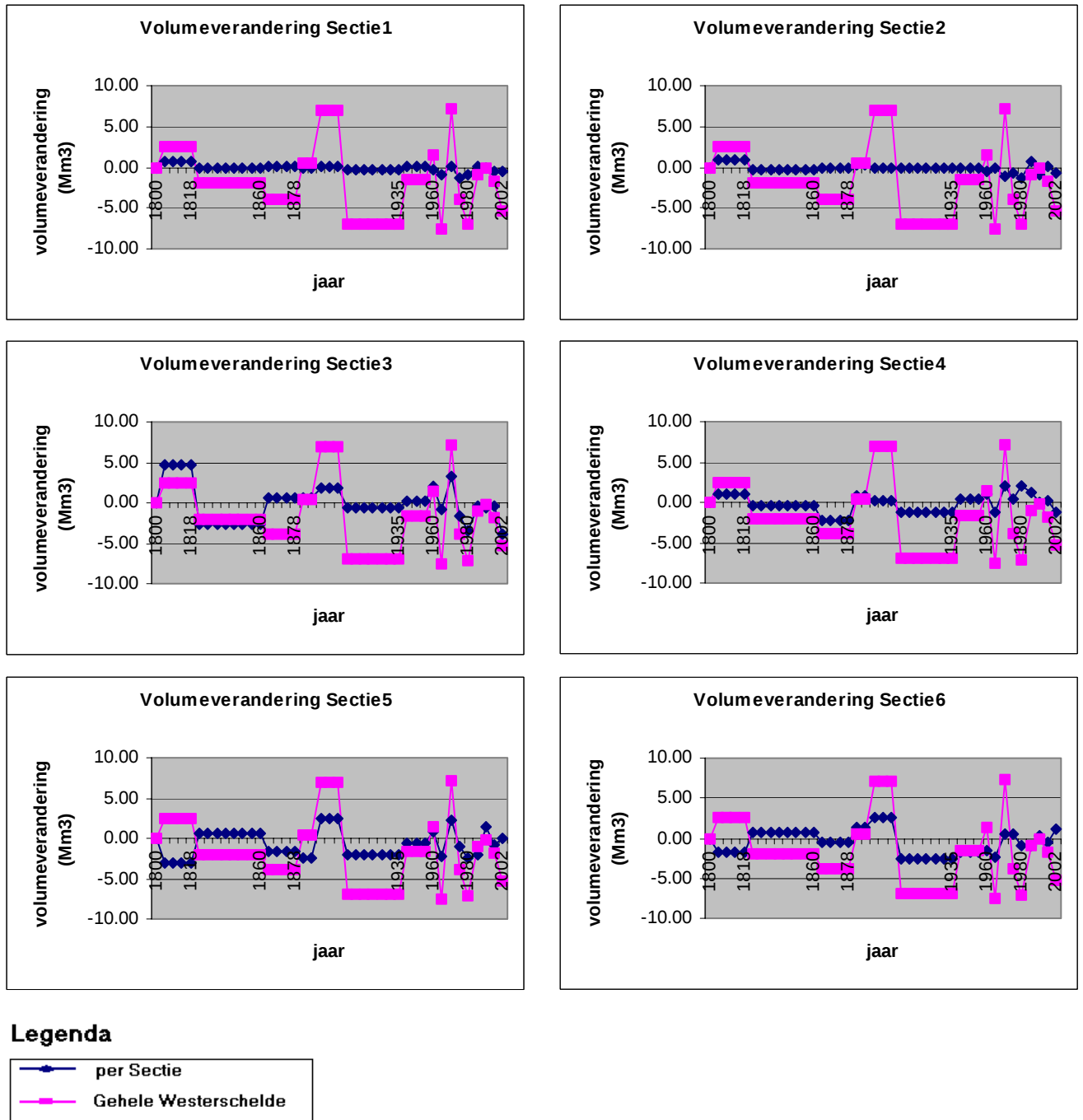


Figuur 1a,
Cumulatieve
histogram van de
diepteklassen



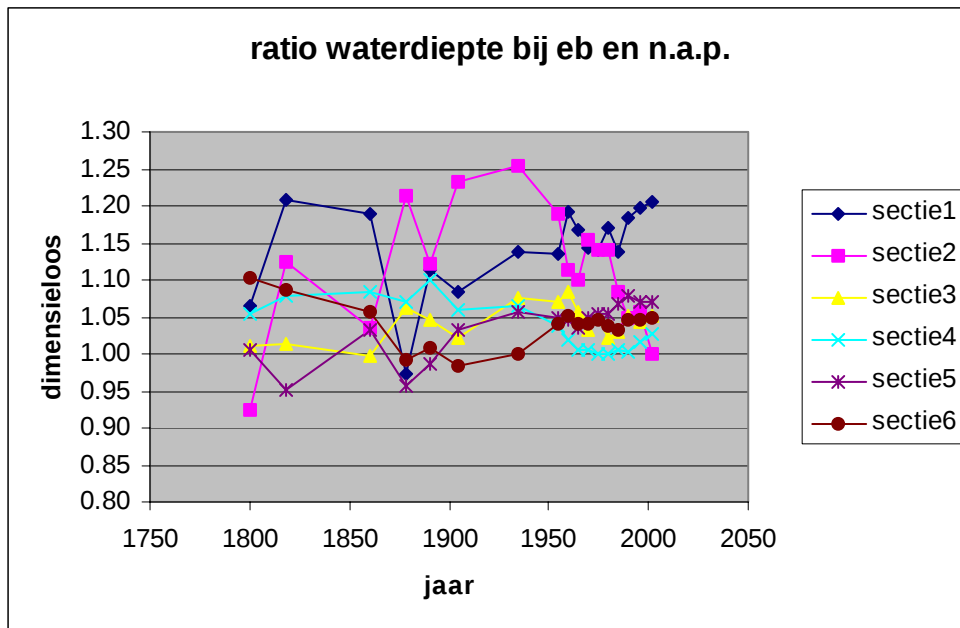
Figuur 1b: Verdeling per diepteklasse per jaar. Opvallend zijn de jaartallen 1800 tot en met 1905 in de ondiepere klassen. Het grote areaal van de ondiepere klassen in deze jaargangen is het gevolg van het karteren van de ondiepere delen van de Westerschelde.

Bijlage 9: Volumeveranderingen

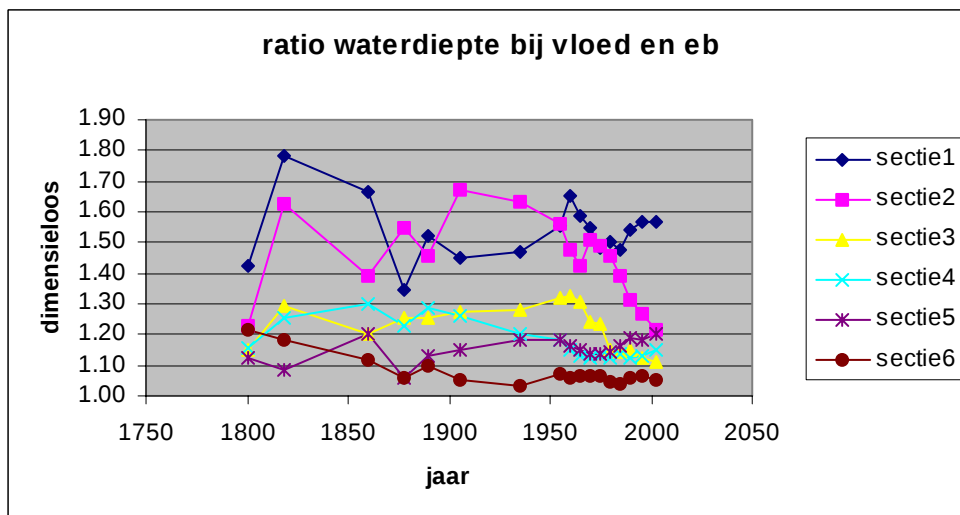


Figuur a t/f: Volumeveranderingen per sectie. Een negatieve volumeverandering is een volumevergroting van het water. Bij een positieve volumeverandering wordt het watervolume kleiner.

Bijlage 10: Waterdiepte

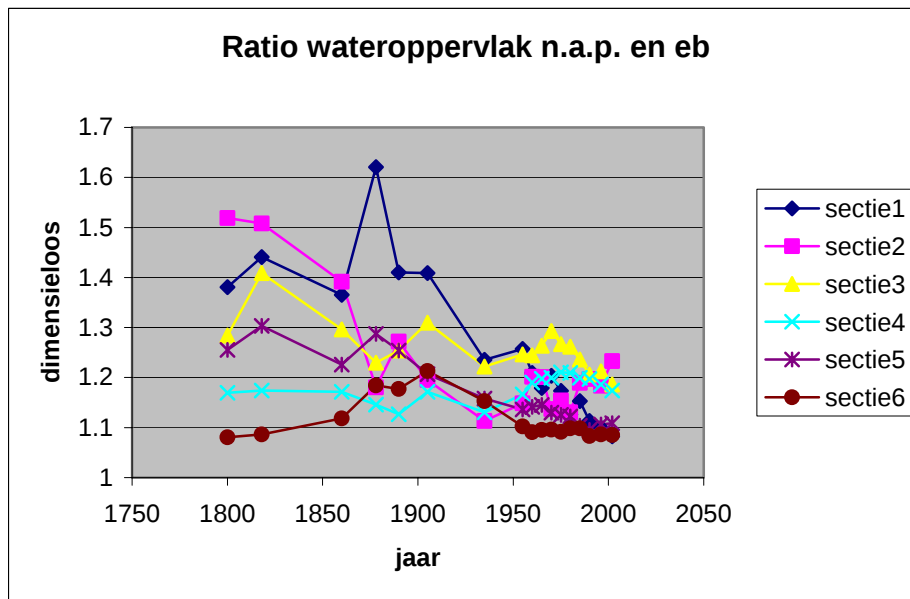


Figuur 1a: Ratio waterdiepte NAP en eb.

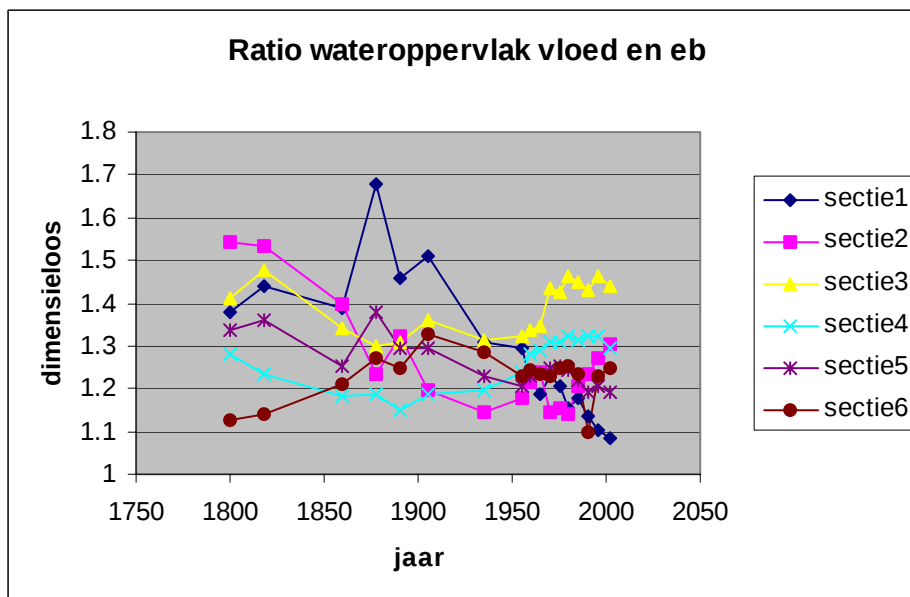


Figuur 1b: Ratio waterdiepte bij vloed en eb

Bijlage 11: Wateroppervlak

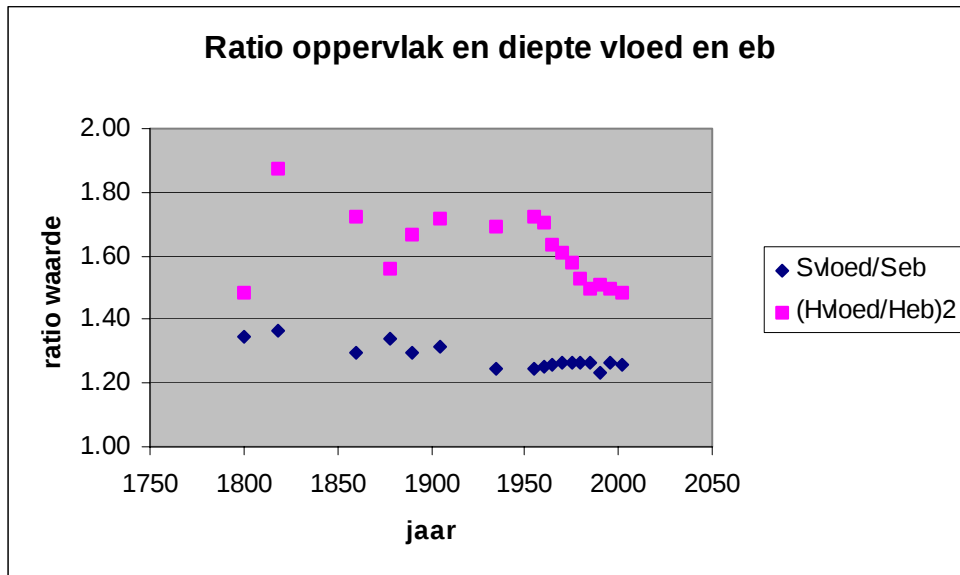


Figuur 1a: ratio wateroppervlakte op NAP-niveau en eb. In het figuur is te zien dat de spreiding tussen ratio's van de secties minder wordt.

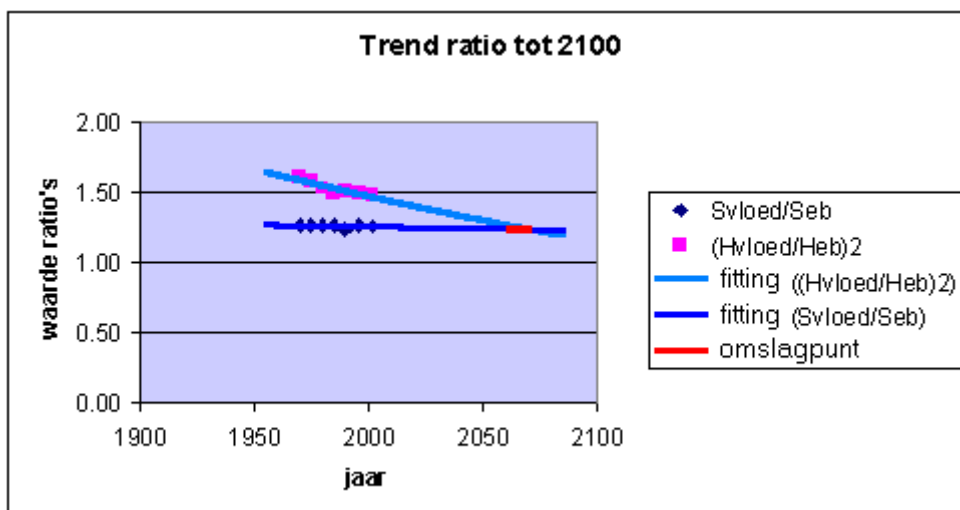


Figuur 1b: ratio wateroppervlakte bij vloed en eb.

Bijlage 12: ratio wateroppervlak en waterdiepte

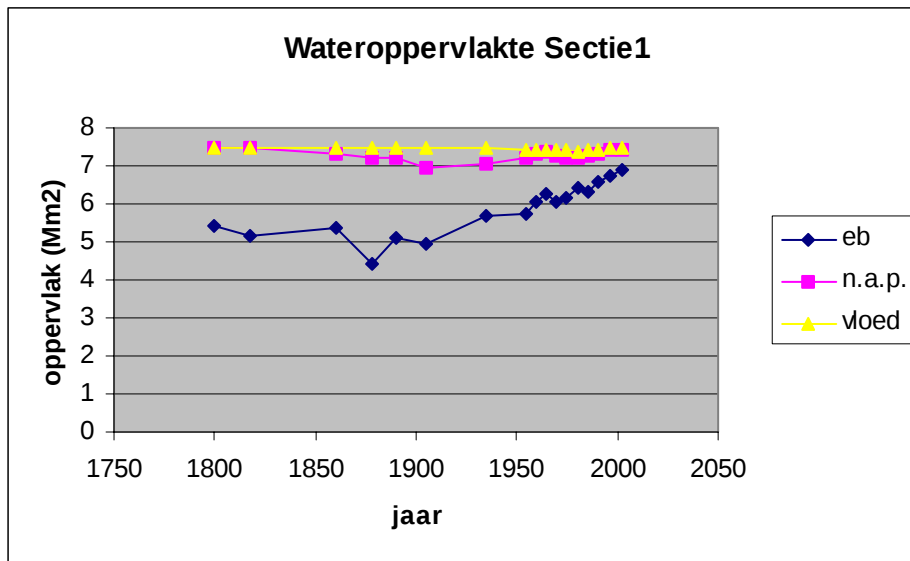


Figuur 1a: ratio wateroppervlak en waterdiepte bij vloed en eb. Beide evenwichten neigen naar elkaar toe, echter nog niet in de mate zoals de evenwichten op NAP-niveau

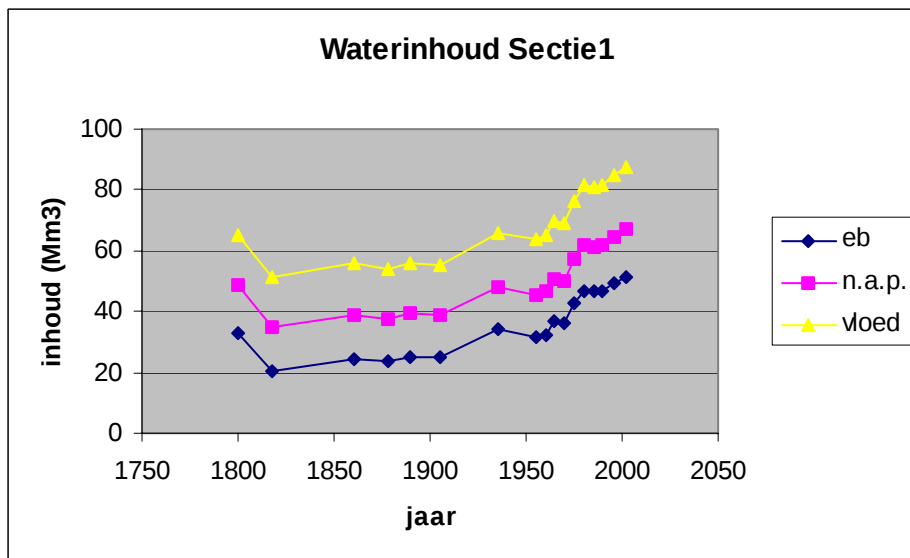


Figuur 1b: trend ratio wateroppervlak en waterdiepte bij vloed en eb. De trends snijden in 2060. Dit impliceert het systeem omslaat van sedimenterend naar eroderend.

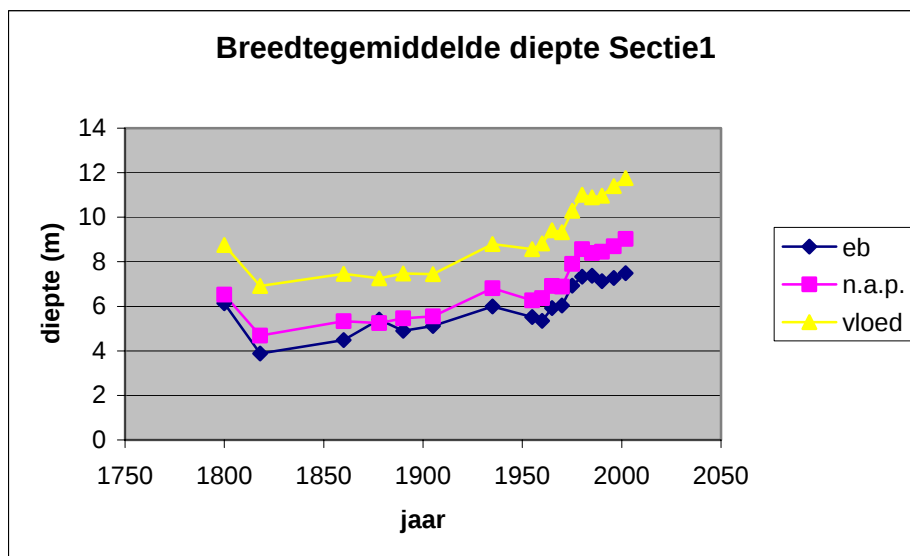
Bijlage 13: Sectie1



Figuur 1a:
wateroppervlakte
Sectie1.

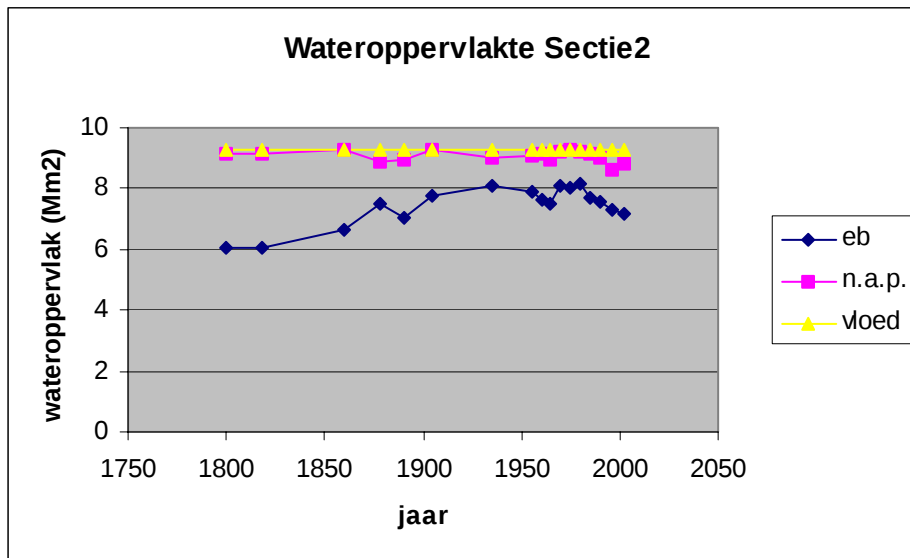


Figuur 1b:
waterinhoud Sectie1.
De waterinhoud van
Sectie1 neemt door
de tijd heen toe.

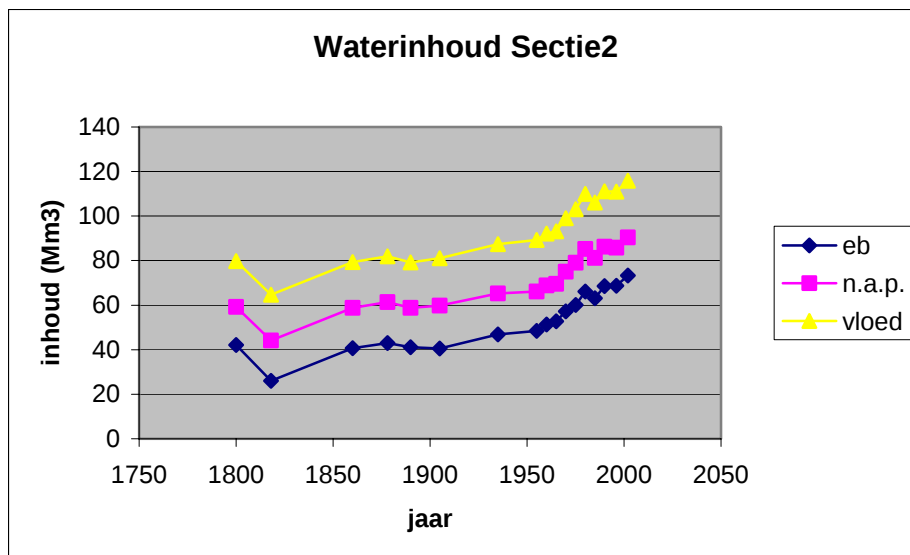


Figuur 1c:
breedtegemiddelde
diepte Sectie1. De
breedte gemiddelde
diepte neemt door de
tijd heen toe.

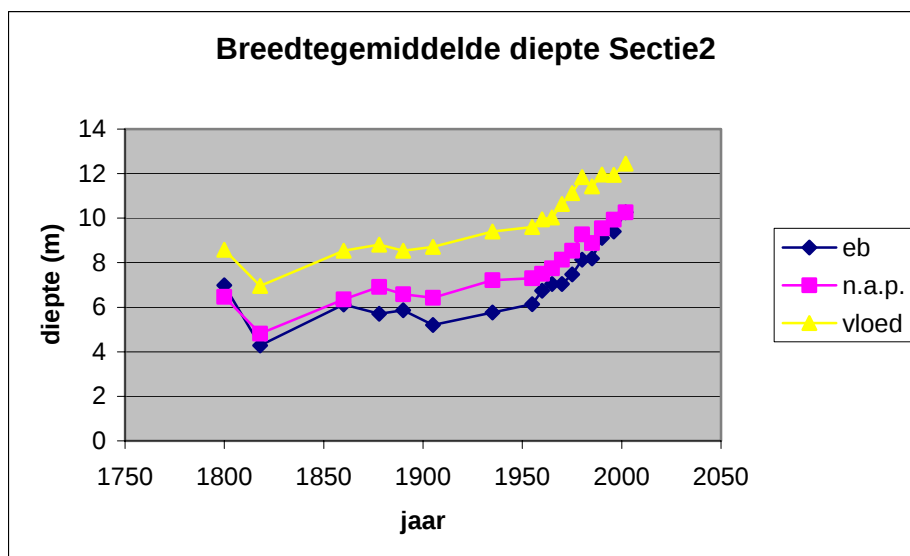
Bijlage 14: Sectie2



Figuur 1a: wateroppervlakte Sectie2. Het wateroppervlak bij vloed en op NAP-niveau is constant door de tijd heen. Het oppervlak bij eb varieert.

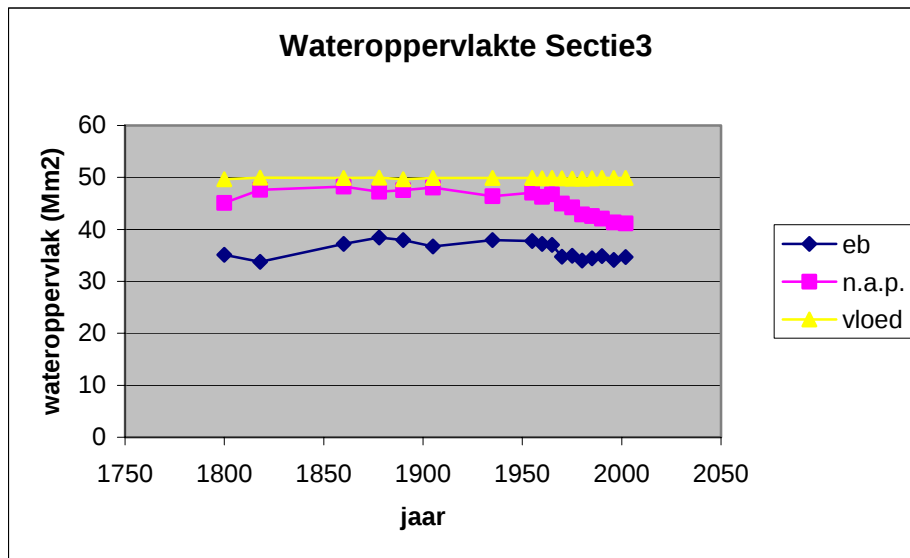


Figuur 1b: waterinhoud Sectie2. Waterinhoud neemt door de tijd heen toe.

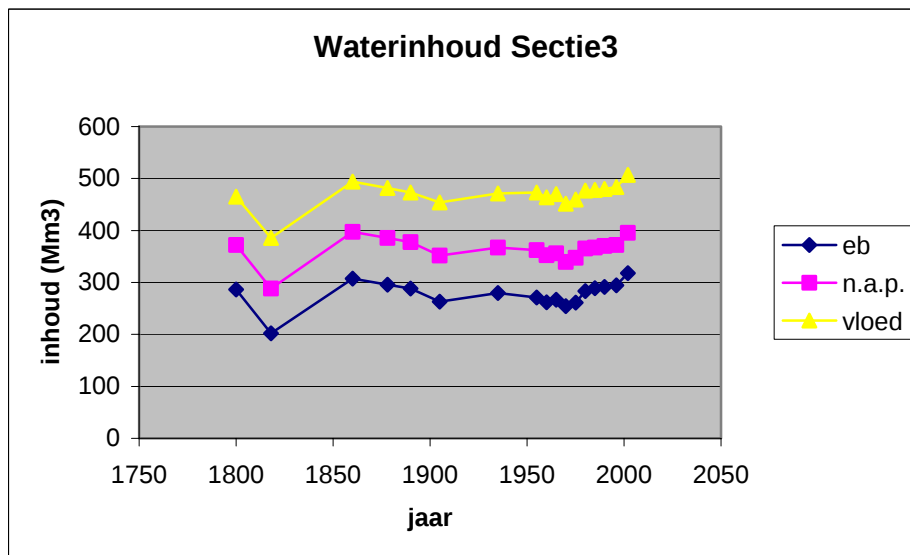


Figuur 1c: breedtegemiddelde diepte Sectie2. De breedte gemiddelde diepte neemt door de tijd heen toe.

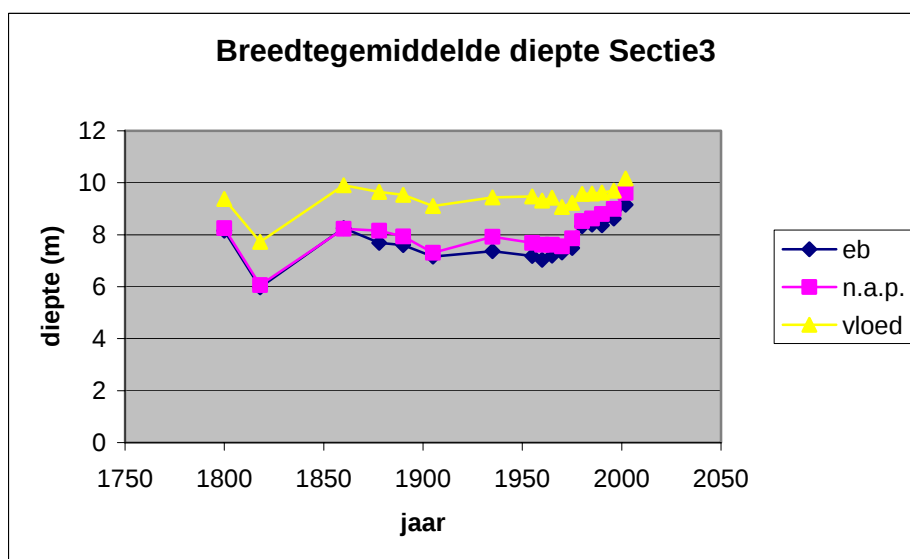
Bijlage 15: Sectie3



Figuur 1a:
wateroppervlak
Sectie3.

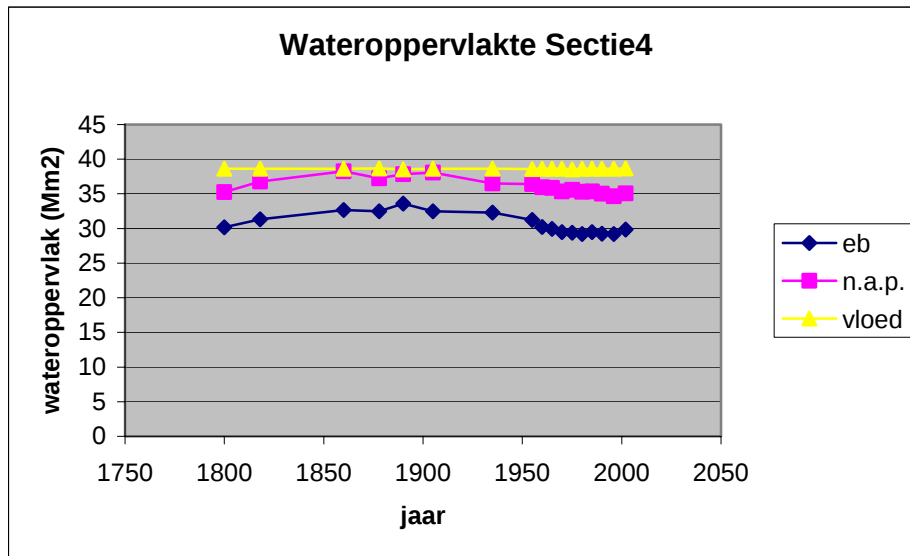


Figuur 1b:
waterinhoud Sectie3.

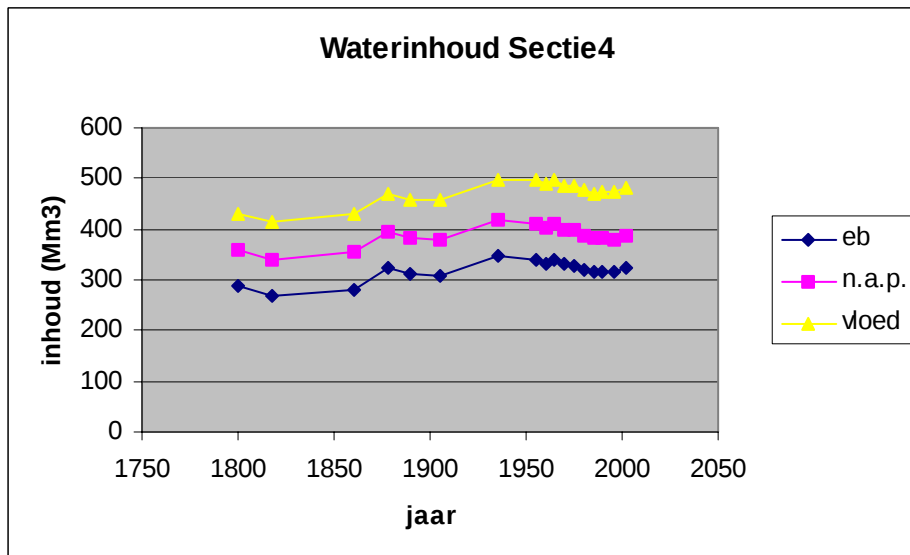


Figuur 1c:
breedtegemiddelde
diepte Sectie3.

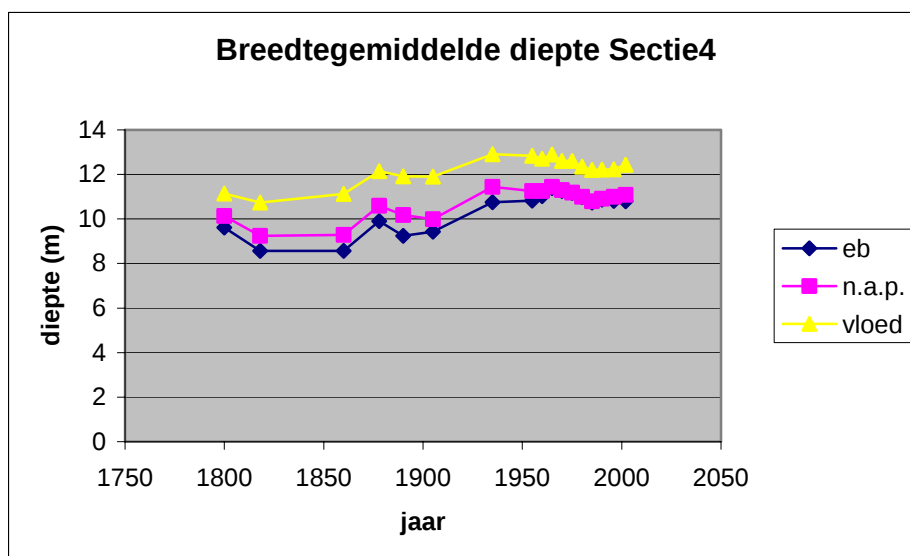
Bijlage 16: Sectie4



Figuur 1a:
wateroppervlakte
Sectie4.

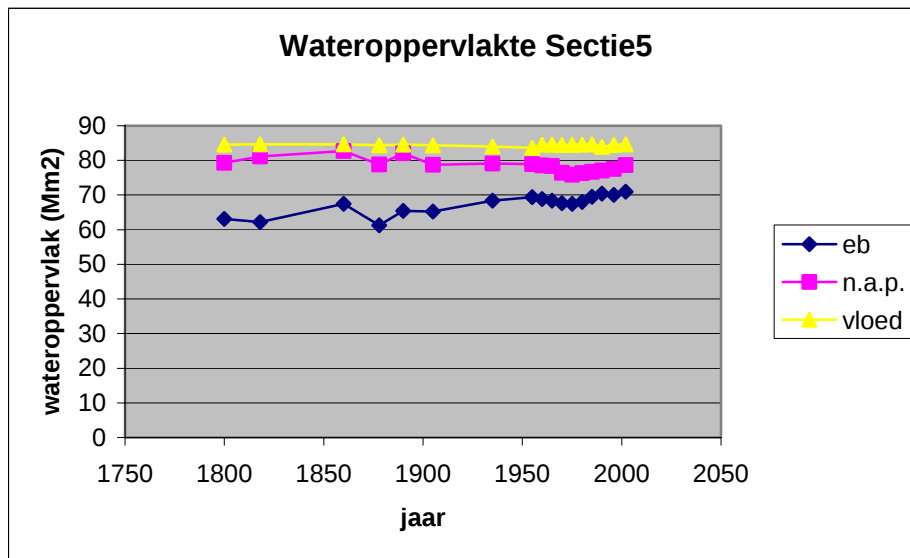


Figuur 1b:
waterinhoud Sectie4.

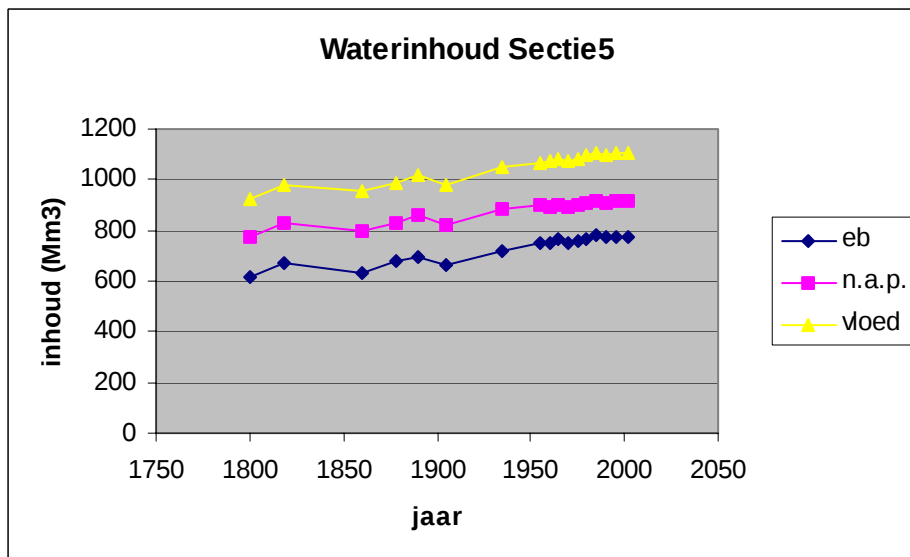


Figuur 1c:
breedtegemiddelde
diepte Sectie4.

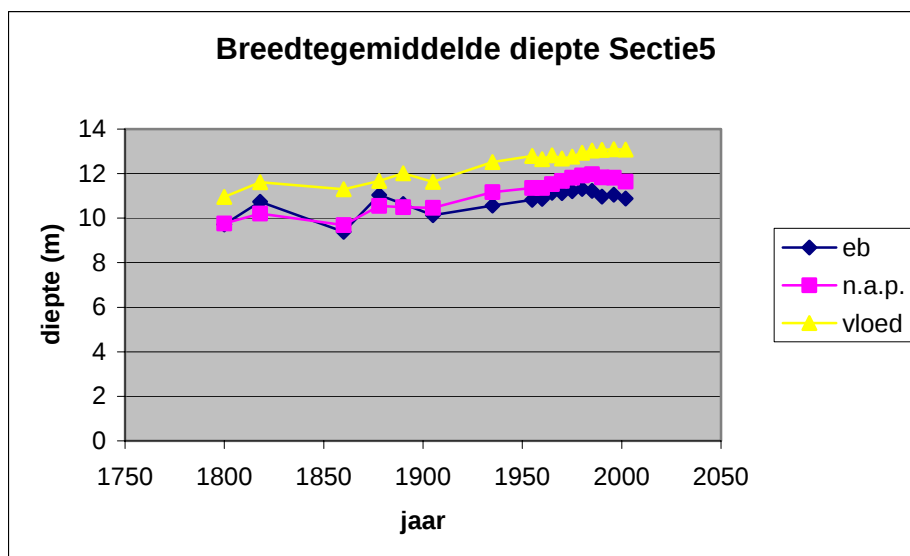
Bijlage 17: Sectie5



Figuur 1a:
wateroppervlakte
Sectie5. De
wateroppervlakte is
constant door de tijd
heen.

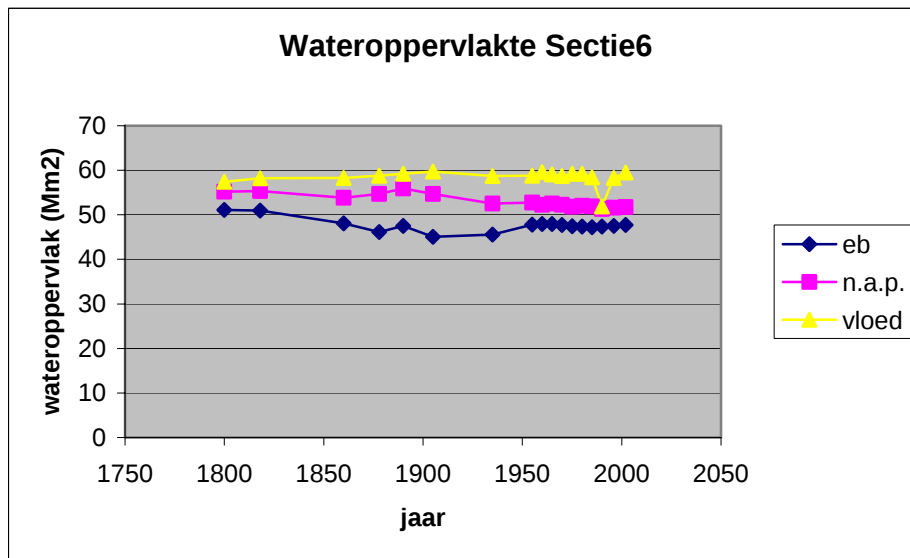


Figuur 1b:
waterinhoud Sectie5.
De waterinhoud
neemt door de tijd
heen constant toe.

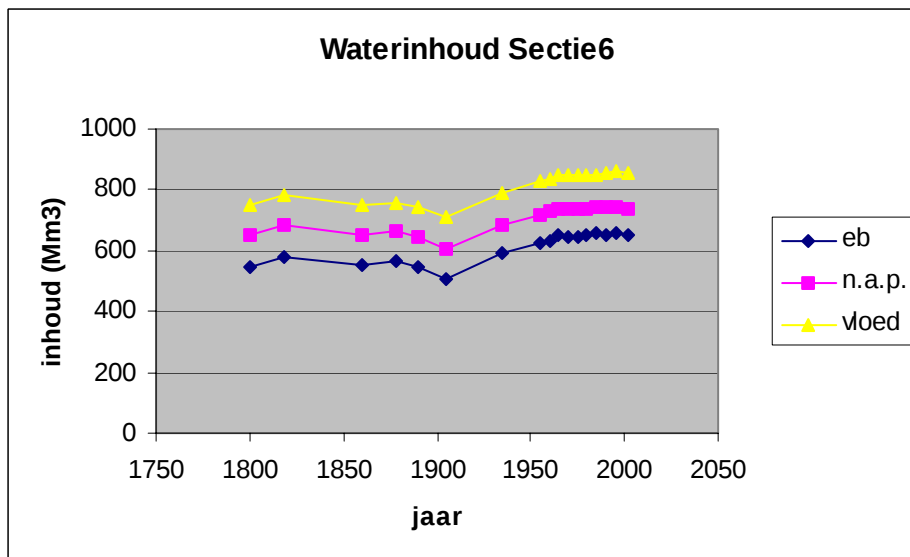


Figuur 1c:
breedtegemiddelde
diepte Sectie5. De
breedte gemiddelde
diepte neemt
geleidelijk toe.

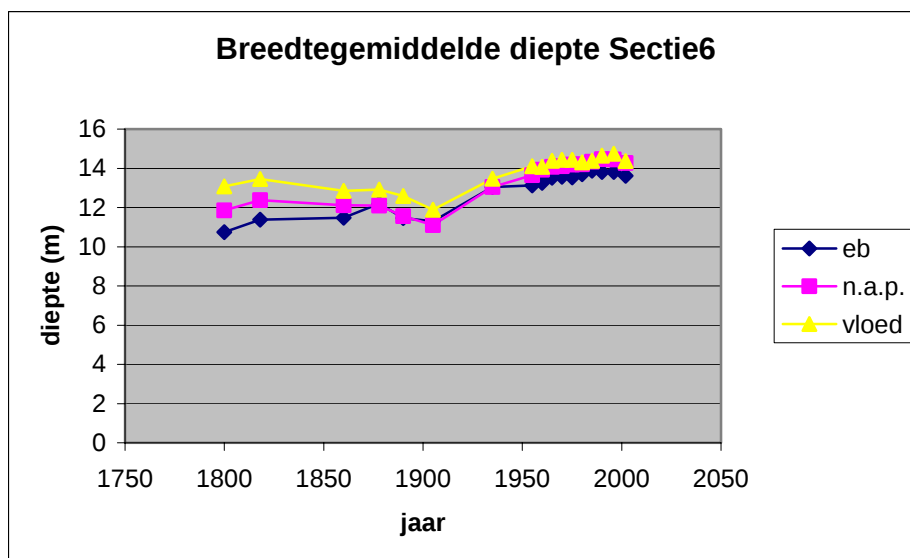
Bijlage 18: Sectie6



Figuur 1a: wateroppervlakte Sectie6. Het wateroppervlak blijft door de tijd heen constant. In 1990 is een uitschieter die ontstaat doordat de Hooge Platen in 1990 niet in zijn geheel zijn gekarteerd.



Figuur 1b: waterinhoud Sectie6. De waterinhoud is minimaal in 1905 waarna deze stijgt om constant vanaf 1960 te zijn.



Figuur 1c: breedtegemiddelde diepte Sectie6. De breedte gemiddelde diepte neemt door de tijd heen toe.



Aan

-

Van
Eric van Zanten

Datum
28 juni 2005

Onderwerp
oplegnotitie rapport " Twee eeuwen Westerschelde "

Doorkiesnummer

06-22416215

Bijlage(n)

-

Geachte ,

Voor u ligt het rapport "Twee eeuwen Westerschelde", het verslag dat Onno Goldbach, student Fysische geografie aan de RUU maakte van zijn stage bij het RIKZ in Middelburg in 2003. Het verslag beschrijft de morfologische ontwikkelingen van de Westerschelde tussen 1800 en 2000 aan de hand van gedigitaliseerde dieptelijnenkaarten van de Westerschelde. Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van het project Zeekennis, onderdeel Morfologisch referentiekader.

Voor u zich over dit rapport verdiept is het belangrijk te weten dat de bevindingen deels zijn gebaseerd op twijfelachtige extrapolaties van het intergetijdegebied. Voor de jaren tussen 1800 en 1930 was er voor het intergetijdegebied geen brondata beschikbaar en er is daarom besloten om voor deze belangrijke zone het interpolatieprogramma zelf het hoogteverloop te laten bepalen en de resultaten van deze extrapolatie aan te nemen zonder validatie. Voor deze jaren kan het hoogteverloop van het intergetijdegebied goed zijn geëxtrapoleerd of fout, er valt op dit moment niks over te zeggen en daarom moeten de waarden boven laag water als indicatief worden bestempeld. Dit houdt in dat alle conclusies en gevolgtrekkingen over arealen en volumes boven laag water, dat wil zeggen van de platen, indicatief zijn. Verder moet de data van de cumulatieve oppervlakteverdelingen (figuren 7.3 en 6.6) met zorg worden benaderd. Er is geen duidelijkheid in welke eenheden deze zijn gegeven.

RIKZ Middelburg
Postadres Postbus 8039, 4330 AE Middelburg
Bezoekadres Grenadierweg 31

Telefoon +31(0)118 672200
Fax +31(0)118 651046
E-mail e.vzanten@rikz.rws.minvenw.nl