

# De effecten van de bagger- en stortactiviteiten op de morfologie van de Westerschelde

**D. Douma**  
Juni/Juli 2003

Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen,  
Opleiding Fysische Geografie,  
Universiteit Utrecht.

|                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Inhoudsopgave</b>                                                      |           |
| Samenvatting .....                                                        | 4         |
| <b>1. INLEIDING .....</b>                                                 | <b>5</b>  |
| <b>2. BESCHRIJVING VAN HET GEBIED .....</b>                               | <b>7</b>  |
| 2.1 ONTSTAANSGESCHIEDENIS .....                                           | 7         |
| 2.2 PROCESBESCHRIJVING EN MORFOLOGIE .....                                | 10        |
| 2.2.1 <i>Fhuviatiele invloed</i> .....                                    | 10        |
| 2.2.2 <i>Mariene invloed</i> .....                                        | 12        |
| 2.2.3 <i>Morfologische eenheden</i> .....                                 | 13        |
| 2.3 BAGGER -EN STORTACTIVITEITEN .....                                    | 16        |
| <b>3. IMPACT OP DE MORFOLOGIE .....</b>                                   | <b>20</b> |
| 3.1 GEVOLGEN 1970-1975 BAGGEREN.....                                      | 20        |
| 3.1.1 <i>Geulen</i> .....                                                 | 20        |
| 3.1.2 <i>Ondiepwater</i> .....                                            | 22        |
| 3.1.3 <i>Platen</i> .....                                                 | 22        |
| <i>Tabel 1, Areaal slik en schor in hectare (Bron; Parée, 2002)</i> ..... | 23        |
| 3.1.4 <i>Slikken en schorren</i> .....                                    | 23        |
| 3.2 PROGNOSE GEVOLGEN 48'/43' .....                                       | 24        |
| 3.3 OVERGANG TWEE-GEUL SYSTEEM NAAR EEN ÉÉN-GEUL SYSTEEM .....            | 25        |
| 3.4 SAMENVATTING .....                                                    | 27        |
| <b>4. CONCLUSIE .....</b>                                                 | <b>28</b> |
| <b>LITERATUURLIJST .....</b>                                              | <b>29</b> |

Deze scriptie is geschreven ter afsluiting van mijn bachelor Fysische Geografie onder deskundige begeleiding van Dr. B.G. Ruessink.

## Lijst met figuren

|                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGUUR 1, OVERZICHT SCHELDE ESTUARIUM (NAAR PIETERS, 1993) .....                                                                      | 5  |
| FIGUUR 2, PALEOGEOGRAFISCHE ONTWIKKELING VAN ZUIDWEST-NEDERLAND (NAAR VAN DEN BERG 1993) (BERENDSEN, 2000) .....                      | 8  |
| FIGUUR 3, ZEELAND IN DE MIDDELEEUWEN (BRON; WOLTERS-NOORDHOFF, 1995).....                                                             | 9  |
| FIGUUR 4, LANDAANWINNING ROND DE WESTERSCHELDE (NAAR BERENDSEN, 2000).....                                                            | 10 |
| FIGUUR 5, OVERGANG ZOET- NAAR ZOUTWATER (BRON; PIETERS ET AL., 1991) .....                                                            | 11 |
| FIGUUR 6, AMPLITUDE VAN HET GETIJ IN DE WESTERSCHELDE SINDS 1650 AD (BRON: VAN DEN BERG ET AL, 1996).....                             | 12 |
| FIGUUR 7, DEFENITIE SCHETS MORFOLOGISCHE EENHEDEN (BRON; HUIJS, 1996).....                                                            | 14 |
| FIGUUR 8 WESTERSCHELDE: OVERZICHT AREALEN GEUL, ONDIEPWATER, PLAAT, SLIK EN SCHOR, SITUATIE 1996 (BRON; PARÉE, 2002).....             | 15 |
| FIGUUR 9, LIGGING PLATEN IN DE WESTERSCHELDE (BRON: PIETERS ET AL., 1991).....                                                        | 16 |
| FIGUUR 10, BAGGERHOEVEELHEDEN WESTERSCHELDE; WEST, MIDDEN, OOST, PERIODE 1955-1996, PROFIELKUUBS MILJOEN M3 (BRON: PARÉE, 2002).....  | 17 |
| FIGUUR 11, STORTHOEVEELHEDEN WESTERSCHELDE; WEST, MIDDEN EN OOST, PERIODE 1955-1996, PROFIELKUUBS MILJOEN M3 (BRON; PARÉE, 2002)..... | 17 |
| FIGUUR 12, INHOUD EN OPPERVLAKE GEULEN (BRON; PARÉE, 2002).....                                                                       | 21 |
| FIGUUR 13, AREAAL ONDIEPWATER (BRON; PARÉE, 2002) .....                                                                               | 22 |
| FIGUUR 14, INHOUD EN OPPERVLAKE PLATEN (BRON; PARÉE, 2002).....                                                                       | 23 |
| FIGUUR 15, VERANDERINGEN IN MORFOLOGIE EN GEUL VORM TUSSEN 1834 EN 1979 (BRON: AVOINE ET AL., 1981) .....                             | 26 |

## Lijst met tabellen

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| TABEL 1, AREAAL SLIK EN SCHOR IN HECTARE (BRON; PARÉE, 2002)..... | 23 |
|-------------------------------------------------------------------|----|

## **Samenvatting**

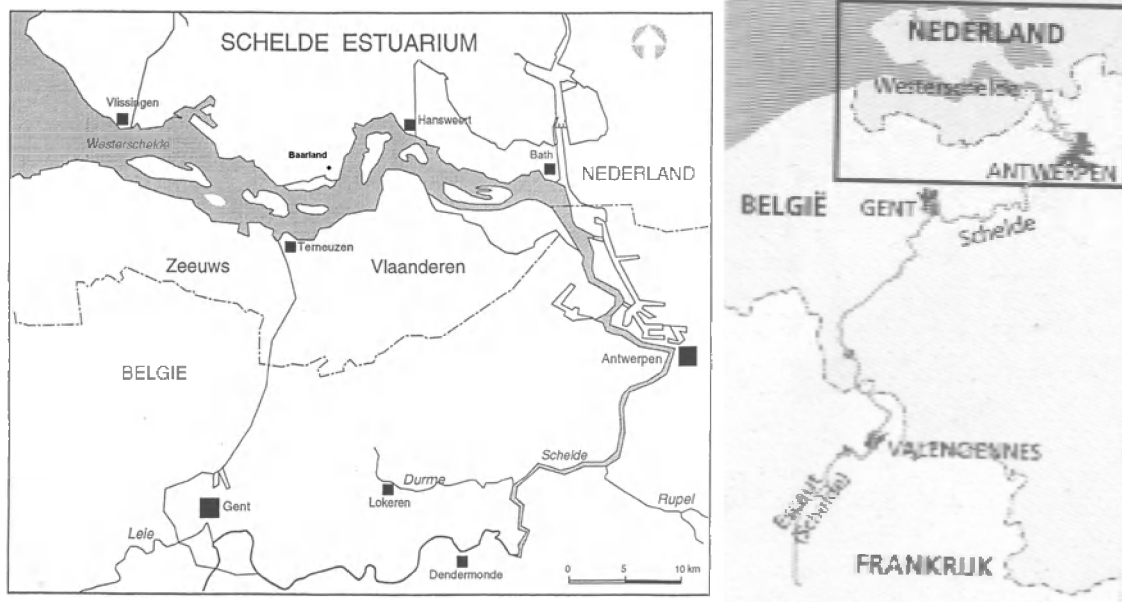
Rond 1100 AD ontstond er een verbinding tussen de Honte, een grote inbraak geul, en de Schelde. De Westerschelde ontstond. De mens bepaalde met de aanleg van twee dammen de definitieve afsluiting van de Schelde met zijn oude monding, de Oosterschelde. Sinds zijn ontstaan wordt de Westerschelde dus al beïnvloed door de mens. In vroegere tijden waren het de inpolderingen, tegenwoordig de bagger –en stortactiviteiten en in mindere mate de zandwinning. De Nederlandse regering is verplicht bagger -en stortactiviteiten uit te voeren in verband met een verdrag uit 1839 met België. De haven van Antwerpen wil dat steeds grotere schepen getijonafhankelijk de haven kunnen bereiken. Daarom is door de Nederlandse Regering besloten het 48'/43'-verdiepingsprogramma uit te voeren. Met vloed moeten schepen met een diepgang van 48 voet ofwel 14.63 meter de haven van Antwerpen kunnen bereiken en met eb schepen met een diepgang van 43 voet ofwel 13.10 meter. Om dit te bereiken is behoorlijk gebaggerd in 1997 en 1998. Er is een toename in baggerhoeveelheden opgetreden.

Om de effecten hiervan te voorspellen wordt gebruik gemaakt van modellen en van veldwaarnemingen van de vorige baggerwerkzaamheden tussen 1970 en 1975. Als gevolg van het verdiepen in de periode 1970-1975 is de hoofdgeul verdiept en verbreed. Waardoor het areaal aan geul is toegenomen en het areaal aan ondiepwater evenredig is afgenomen. Het sediment dat bij de verdieping vrijkwam is gestort in de nevengeulen tussen de platen. Het areaal platen is toegenomen, evenals de gemiddelde hoogte. Door de verruiming van de hoofdgeul zijn slikken in de buitenbochten versmald en verlaagd. Het areaal aan slik en schor te samen is gelijk gebleven. Er ontstond weer een nieuw evenwicht van het systeem na 15 jaar.

De gevolgen, die na de vorige verdieping ontstonden, worden ook na het programma 48'/43' verwacht. Door de nieuwe stortstrategie, baggeren in het oosten en storten in het westen, zullen de onderhoudsbaggerwerkzaamheden beperkter zijn.

## 1. Inleiding

De Westerschelde ligt in het zuidwesten van Nederland in de provincie Zeeland en wordt in het zuiden begrensd door Zeeuws-Vlaanderen en in het noorden door de dijken van Walcheren en Zuid-Beveland (figuur 1).



Figuur 1. Overzicht Schelde estuarium (naar Pieters, 1993)

De Westerschelde is het enige echte estuarium dat Nederland rijk is. Een grote rivier, de Schelde, staat in direct contact met een getijden milieu. Voor Europese begrippen is dit zeldzaam aan het worden. Kenmerkend voor estuaria zijn de eb- en vloedbewegingen en mengzones tussen zee- en rivierwater. De Westerschelde is een twee-geulen systeem, met een grote ebgeul en een kleinere vloedgeul. De ebgeul is door het gehele estuarium te vervolgen, waardoor deze wordt gebruikt als vaargeul voor de scheepvaart naar Antwerpen. De Westerschelde staat bekend om zijn grote oppervlakte aan platen. De Hooge platen in het mondingsgebied bij Breskens, De Middelpalten en de Platen van Valkenisse zijn de bekendste, zie figuur 9. Daarnaast bezit de Westerschelde nog ten minste 3500 hectare slikken en 2500 hectare schorren, waarvan het merendeel in het oostelijk deel ligt (Van Haperen et al., 1999).

In de afgelopen eeuwen is het morfologisch aanzien van de Westerschelde aanzienlijk veranderd als gevolg van het ingrijpen van de mens. In vroegere tijden waren het de inpolderingen (sinds 1800), tegenwoordig is het verdiepen van de vaargeul van invloed op de morfologie van de Westerschelde.

Uit economische behoeften van België heeft de Nederlandse overheid in 1997 besloten de vaargeul opnieuw te verdiepen. Met vloed moeten schepen met een diepgang van 48 voet ofwel 14.63 meter de haven van Antwerpen kunnen bereiken en met eb schepen met een diepgang van 43 voet ofwel 13.10 meter. Dit 48'/43'-verdiepingsprogramma zal door zijn toename in baggerhoeveelheden wederom voor een verandering in de morfologie zorgen. Te ver gaande activiteiten zouden zelfs kunnen leiden tot het verloren gaan van het unieke karakter van de Westerschelde, waarbij, zoals bijvoorbeeld in de Seine gebeurd is, het twee-geulen systeem overgaat in een één-geul systeem.

Het doel van deze scriptie is om, door middel van een literatuurstudie, een beschrijving te geven van de morfologische veranderingen die optreden als gevolg van de bagger -en stortactiviteiten.

In hoofdstuk 2 worden achtereenvolgens de ontstaanswijze van de Westerschelde besproken. Vervolgens wordt er aandacht geschonken aan de algemene karakteristieken van de Westerschelde, zijn morfologie en de huidige processen. Hierna wordt er ingegaan op de baggerwerkzaamheden. In hoofdstuk 3 wordt nagegaan wat de impact is op de morfologie van de Westerschelde van de bagger- en stortactiviteiten en of de Westerschelde kan verworden tot een één-geul systeem zoals bij de Seine gebeurd is. Dit wordt nagegaan aan de hand van de gemonitorde veranderingen die zijn ontstaan na de verdieping tussen 1970 en 1975 en wat modellen laten zien voor de verdieping na 1997.

## **2. Beschrijving van het gebied**

Een estuarium is volgens Pritchard (1967) een gedeeltelijk afgesloten kustvorm van water dat een vrije verbinding heeft met de zee en waarin het zeewater meetbaar gemengd wordt met zoetwater afkomstig van drainage vanuit het achterland. Als een rivier uitmondt in zee vindt er een interactie plaats met de zee. De interactie moet als kenmerk hebben dat er een menging is van zoetrivierwater met zoutzeewater; deze saliniteitsgradiënt verplaatst zich cyclisch met het getij en periodiek met fluctuaties in de rivierafvoer landwaarts en zeewaarts. Daarnaast moet er een tijdelijke omkering van de stroming zijn tijdens vloed. Deze twee karakteristieken kenmerken een estuarium. De Westerschelde is zo'n estuarium.

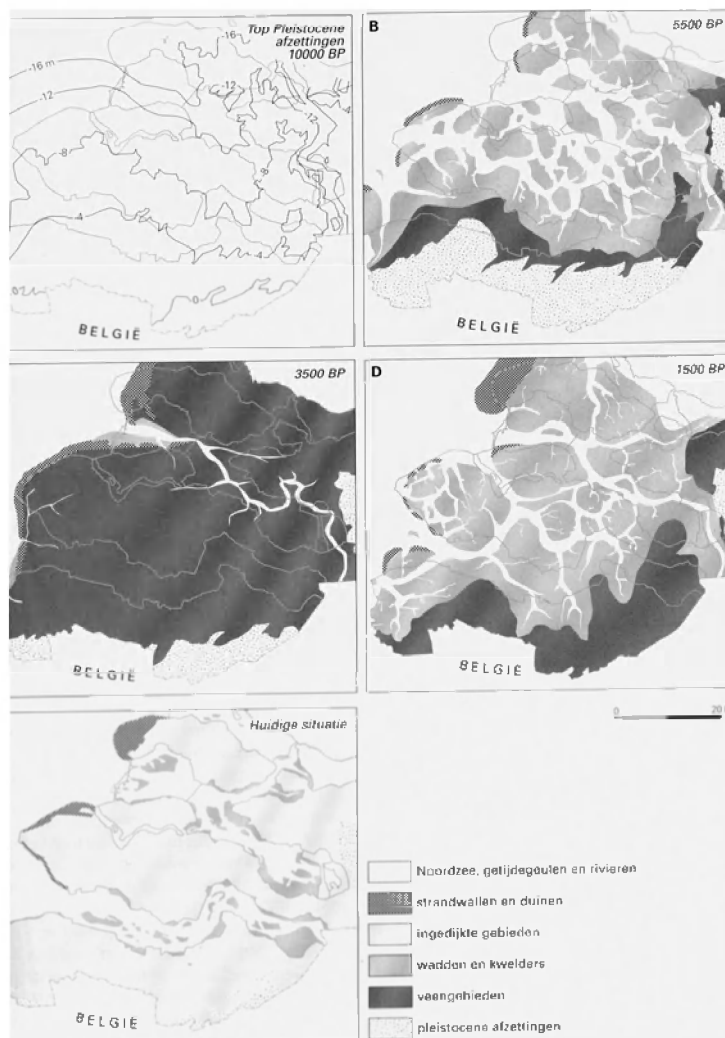
De Westerschelde is een onderdeel van het Schelde estuarium. Het is het laatst overgebleven estuarium in het Deltagebied van zuidwest Nederland. Het Schelde estuarium bestaat daarnaast nog uit de Zeeschelde (vanaf Gent waar nog sprake is van getij invloed) tot de Nederlandse grens. De Westerschelde gaat door middel van het mondingsgebied (de voordelta) over in de Noordzee.

In de volgende paragraaf wordt de ontstaansgeschiedenis belicht, vervolgens worden algemene karakteristieken van de Westerschelde, zijn morfologie en de huidige processen besproken. Hierna wordt ingegaan op de menselijke ingrepen met betrekking tot de baggerwerkzaamheden.

### **2.1 Ontstaansgeschiedenis**

De Westerschelde ligt in het zuidwestelijk zeekleigebied. De geologische ontwikkeling in het zuidwestelijk zeekleigebied is in hoge mate bepaald door de relatieve zeespiegelstijging, in combinatie met de getijden (Berendsen, 2000). Sinds de laatste IJstijd zo'n 10000 jaar geleden, volgt de Schelde grotendeels haar huidige loop vanaf haar Noord-Franse bron. De ligging van de monding verschilde wel ten opzichte van de huidige situatie. Als gevolg van een dekzandrug, liep de Schelde vanaf de Belgisch-Nederlands grens noordwaarts, langs Ossendrecht en Bergen op Zoom naar de Maas. (figuur 2a en figuur 3)

In het midden- en subboreaal (3500 jaar geleden) ontstond er een nagenoeg gesloten kustbarrière van strandwallen (Figuur 2c). Hierachter ontstond een veengebied. Het Hollandveen werd gevormd. Door dit veen liep de Schelde. De Schelde mondt sindsdien uit in zee via de Oosterschelde.



Figuur 2. Paleogeografische ontwikkeling van Zuidwest-Nederland (naar Van den Berg 1993) (Berendsen, 2000)

Vanaf 1000 BC werd de strandwal als gevolg van de stijging van de zeespiegel op verschillende plaatsen doorbroken. Er ontstonden inbraakgeulen. De Schelde hield nog lange tijd zijn monding via de Oosterschelde. Rond 200 AD ontstond er een groot geulensysteem (De Honte), die als gevolg van het getij dieper werd en daarmee belangrijker. Tussen 800 AD en 1100 AD werd, juist ten Noorden van Antwerpen, een verbinding gevormd tussen de Schelde en de Honte (Winterwerp en Kuijper, 2002) (figuur 3).

De doorbraak van de Westerschelde vond plaats in de 15e en 16e eeuw. Door grote stormvloed zoals de Sint-Elisabethsvloed in 1430, de Sint-Felixvloed in 1530 en de Allerheiligenvloed in 1570, werd de Westerschelde de belangrijkste afvoertak. Dit proces kon zich versnellen doordat het land verlaagd was door de grootschalige moernering of selnering (zoutwinning uit turf).

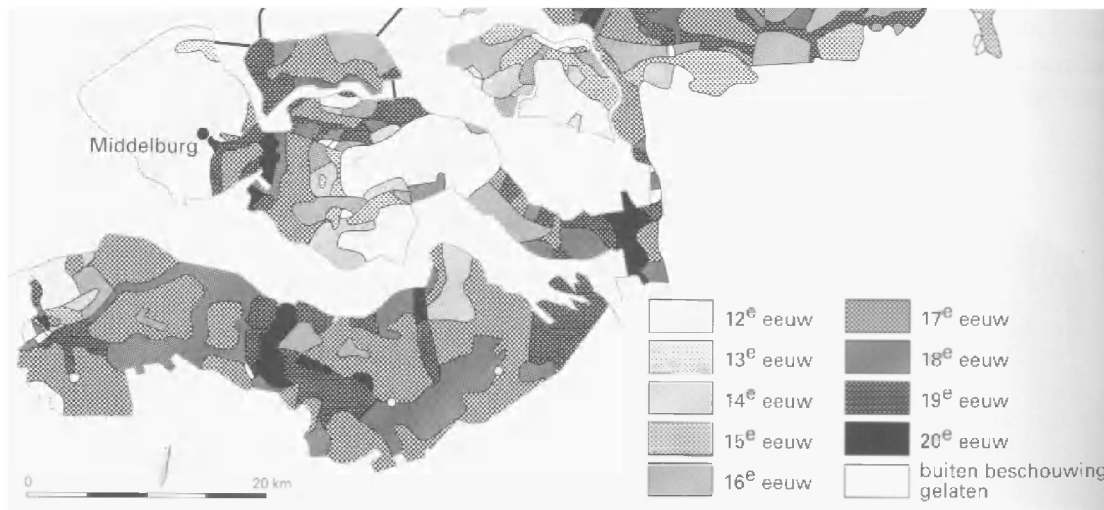




Figuur 3. Zeeland in de middeleeuwen (bron; Wolters-Noordhoff, 1995)

Uit historische bronnen blijkt dat in de 16<sup>de</sup> eeuw het Kreekrak, ten zuidwesten van Bergen op Zoom, bij laag tij een doorwaadbare plaats was geworden (Van den Berg, 1986). De opslibbing van het Kreekrak verliep snel. De definitieve afsluiting gebeurde door de aanleg van 2 dammen in 1867 en 1871 voor een treinverbinding met Vlissingen. Sindsdien is de Oosterschelde geen estuarium meer.

De opslibbing en verlanding van de Westerschelde zijn zeer snel verlopen sinds 1200. Veel schor is toen bedijkt. Tijdens de 80 jarige oorlog (16<sup>de</sup> tot 17<sup>de</sup> eeuw) werden veel dijken weer doorgestoken om de Spanjaarden tegen te houden. In die tijd bereikte de Westerschelde zijn grootste omvang. Sinds de 17<sup>de</sup> eeuw zijn de verloren oppervlakken en nieuwe oppervlakken van de intergetijden gebieden in de Westerschelde opgeslibd en ingepolderd of bedijkt (figuur 4). In 1650 bedroeg het oppervlak tussen NAP -2 m en NAP +2 m nog 350 km<sup>2</sup>; in 1800 was dit afgenomen tot 180 km<sup>2</sup> en momenteel bedraagt het oppervlak aan intergetijden gebied 90 km<sup>2</sup> (Winterwerp en Kuijper, 2002). Waar de enorme opslibbing ook uit blijkt is de grootte van Zeeuws Vlaanderen. In een verdrag tussen de graven van Holland en Vlaanderen werd aan het eind van de Middeleeuwen de grens van het huidige Zeeuws Vlaanderen met Vlaanderen bepaald. Destijds was het de plek tot waar men wadend vanuit Vlaanderen de Schelde in kon lopen. Geheel Zeeuws Vlaanderen is ontstaan als gevolg van de verlanding.



Figuur 4. Landaanwinning rond de Westerschelde (naar Berendsen, 2000)

De menselijke beïnvloeding gaat verder dan alleen de inpolderingen. Aan het begin van de vorige eeuw is de menselijke beïnvloeding uitgebreid met het geulensysteem. Men begon met baggeren ten behoeve van de scheepvaart naar Antwerpen. De betrof toen enkele miljoenen  $m^3$  per jaar. Als gevolg van de schaalvergroting in de scheepvaart zijn de hoeveelheden toegenomen tot 10 miljoen  $m^3$  per jaar.

## 2.2 Procesbeschrijving en morfologie

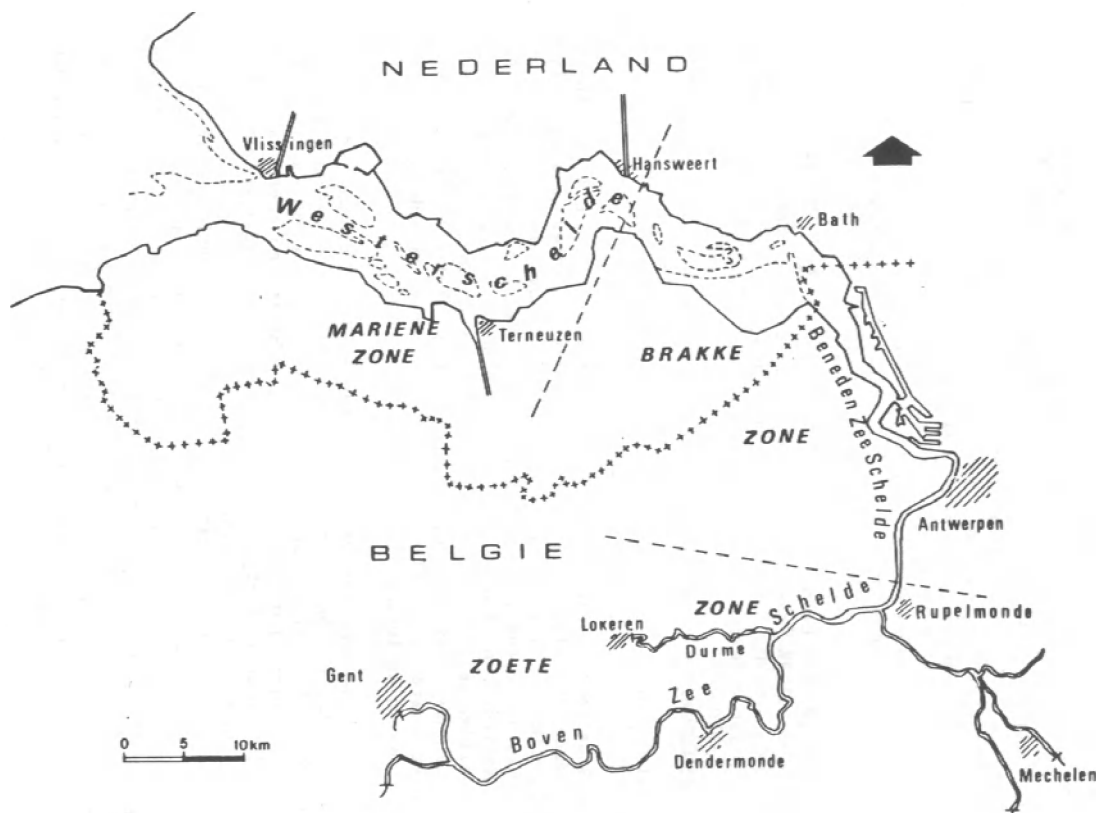
Het huidige Schelde estuarium heeft een trompetvormige geometrie en beslaat een oppervlak van  $370 \text{ km}^2$  (Winterwerp en Kuijper, 2002). Deze vorm van de Westerschelde wordt mede bepaald door de relatief harde Pleistocene ondergrond, de dijken, de oeververdedigingen en de menselijke ingrepen (zandwinning, baggeren en storten) (Winterwerp en Kuijper, 2002). De huidige omtrek is door bedijkingen, vooral in de afgelopen twee eeuwen gecombineerd met omvangrijke inpolderingen, geheel door de mens vastgelegd (Pieters et al., 1991). De breedte van het estuarium neemt sterk af van 6 km bij de monding, via 2-3 km bij Baath tot minder dan 100 m bij het einde van het estuarium. De afstand van Vlissingen tot de sluizen bij Gent is ongeveer 160 km (Wang et al, 2002).

### 2.2.1 Fluviatiele invloed

De Schelde heeft een gemiddelde jaarafvoer van  $120 \text{ m}^3/\text{s}$  (Winterwerp en Kuijper, 2002). Bij estuaria met een relatief geringe bovenafvoer, zoals het Schelde estuarium, zijn de veranderingen in komberging (totale volume van het estuarium tussen de peilen laagwater en hoogwater) en getijvolume, door natuurlijke ontwikkelingen of menselijke ingrepen, de

belangrijkste drijvende krachten voor de ontwikkelingen op systeemniveau op de lange termijn (Pieters, 1993).

Ondanks de geringe afvoer van de Schelde zorgt deze afvoer voor een gradiënt van zoutwater naar zoetwater. Het zoute zeewater, met zijn groot soortelijk gewicht, heeft de neiging om langs de bodem het estuarium binnen te dringen, tegen de zeewaartse stroom van het zoete rivierwater in. Vooral door het getij treedt er menging op tussen de twee watersoorten. De afstand waarover het zout gemiddeld binnendringt hangt af van de afvoer van zoetwater. Dit patroon oscilleert rond een gemiddelde bij Antwerpen, met de getijbeweging van het water (Allersma 1992), zie figuur 5.



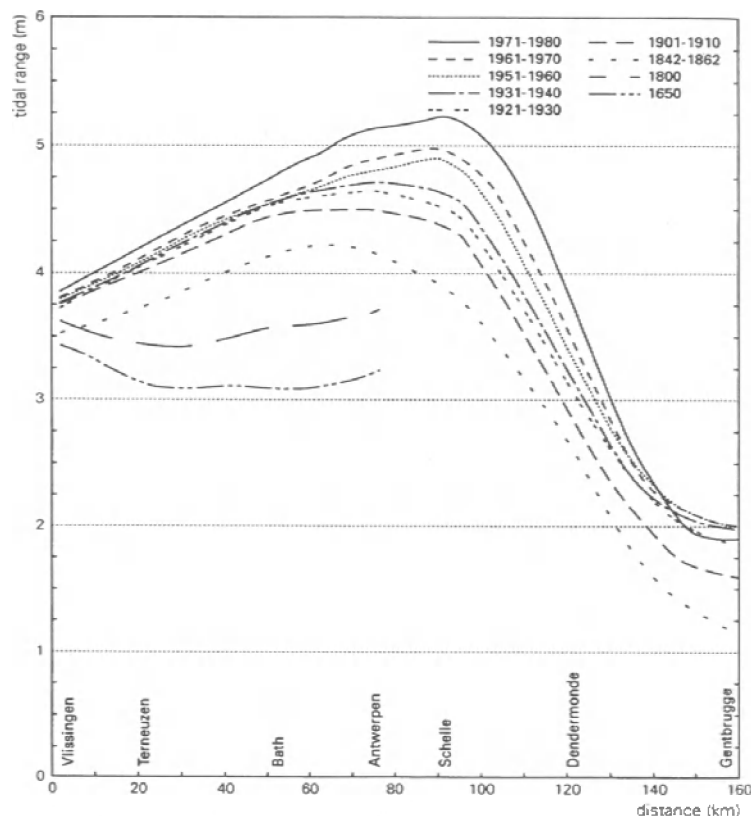
Figuur 5, Overgang zoet- naar zoutwater (Bron; Pieters et al., 1991)

De Westerschelde is een goed gemengd estuarium, met goed ontwikkelde geulen en platen (van den Berg et al, 1996). Als gevolg van een horizontale circulatie, veroorzaakt door waterstanden die bij vloed hoger zijn dan bij eb, wordt het zoutgehalte binnen het estuarium beïnvloed. Het zoute vloedwater dringt in het oostelijke deel langs de noordelijke oever aanzienlijk verder naar binnen dan langs de zuidelijke oever. Daarom is de rivierinvloed relatief groot in het Land van Saeftinge (Pieters et al, 1991). Waterstandsvariaties worden vrijwel geheel veroorzaakt door het getij, eventueel gestoord door meteorologische invloeden (Allersma, 1992). De opwekking van windgolven wordt beperkt door de strijklengte en de

diepte. Het golfklimaat en de effecten daarvan variëren dus sterk met het getij. Geulen zijn niet breder dan ca. 1 km. Onder extreme omstandigheden zijn windgolven van 0,75 – 1,5 m mogelijk met perioden van 3-4 seconden (Allersma, 1992). Windgolven kunnen de richting en de sterkte van de estuarine circulatie beïnvloeden. Indirect eroderen zij de oevers waardoor er een verlies optreedt van sedimenten die aan het oppervlak liggen.

### 2.2.2 Mariene invloed

Aan de morfologie is de mariene invloed het duidelijkst zichtbaar: de structuur en dynamiek worden bepaald door de waterbeweging, die wordt gedomineerd door het getij. Het getij zorgt ervoor dat tweemaal daags ongeveer 1 miljard m<sup>3</sup> zeewater het estuarium in en uit stroomt. Ter vergelijking de afvoer van de Schelde bedraagt 3 miljard m<sup>3</sup> over een heel jaar (Pieters, et al, 1991). Het getijverschil neemt toe van ruim 3.8 m bij Vlissingen tot een maximum van ruim 5.2 meter bij Schelle. Bovenstrooms van Schelle neemt het getijverschil snel af en bedraagt bij de sluis in Gentbrugge 1.9 meter, zie figuur 6. Het water stijgt sneller dan het zakt en de maximale vloodsnelheden zijn hoger dan de maximale ebsnelheden (Svašek, 1999). Dit wordt de asymmetrie van het getij genoemd. De vloodsnelheden zijn groter dan de ebsnelheden als gevolg van een grotere waterdiepte bij vloed dan bij eb. De invloed van de wind op de waterbeweging is veel geringer.



Figuur 6, Amplitude van het getij in de Westerschelde sinds 1650 AD (Bron: Van den Berg et al, 1996)

De getijgolf loopt vanuit de Noordzee het estuarium binnen en verliest daarbij energie door hydraulische wrijving. Verder treedt vervorming op in de onregelmatige, vernauwende geometrie van het estuarium (Allersma, 1992). Dit zorgt voor de amplitude verschillen in figuur 6.

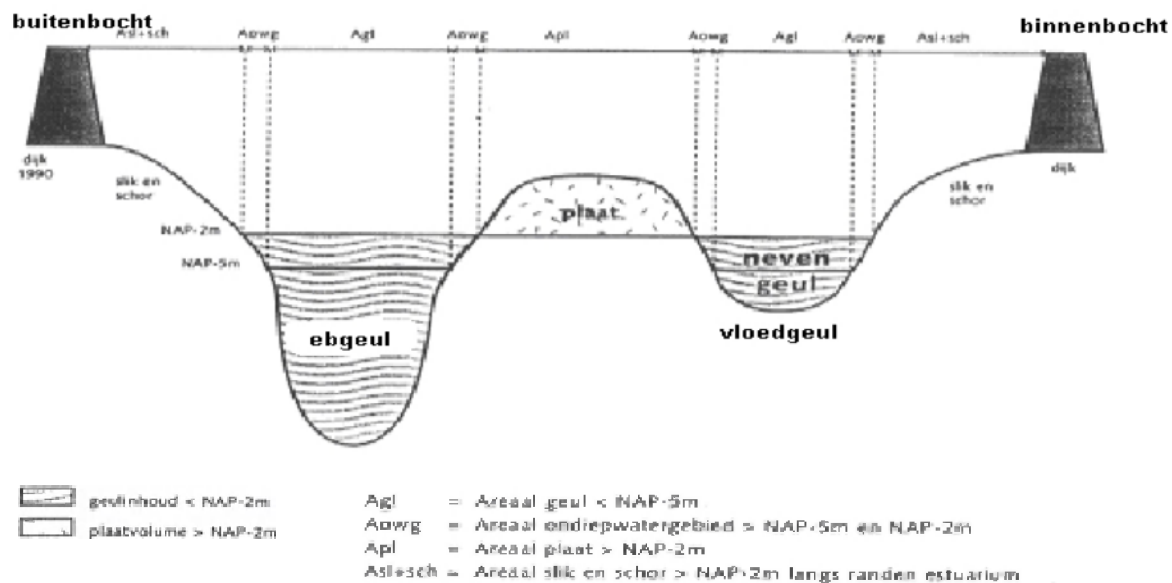
De asymmetrie van het getij is de belangrijkste sturende factor voor morfologische ontwikkeling op de langere tijdschaal, het zou zelfs de sedimentuitwisseling tussen de voordelta (ebb tidal delta) en het estuarium, als mede tussen de verschillende delen van het estuarium bepalen (Wang et al, 2002). Door de asymmetrie van het getij zijn, zoals eerder vermeld, de vloodsnelheden groter dan de ebsnelheden. Omdat het sediment transport een vierde macht van de snelheid is komt er meer sediment in het estuarium dan er uit gaat. De meeste estuaria zijn dan ook sedimentvangers.

### **2.2.3 Morfologische eenheden**

Er worden verschillende morfologische eenheden onderscheiden. De belangrijkste zijn; de geulen, ondiepwater, platen, schorren, slikken en drempels.

Tot geul wordt gerekend het gebied beneden NAP -2m. Het ondiepwatergebied maakt hiervan deel uit en betreft de zone tussen NAP -5m en NAP -2m, zie figuur 7. De platen zijn de vrijliggende gebieden boven NAP -2m. De slikken en schorren zijn aan de waterkeringen grenzende gebieden boven -2m (Huijs, 1996). Slikken worden in tegenstelling tot schorren bij elke vloed overstroomd. Drempels zijn natuurlijke ondiepten op de overgang van twee geulen. De geulen hebben een doorvoerfunctie, de plaatgebieden een bergingsfunctie (Winterwerp en Kuijper, 2002).

De Westerschelde is een estuarium met meanders. De Westerschelde is een twee-geulen systeem, met een grote ebgeul en een kleinere vloedgeul. Deze ontstaan door dat de stroming in een geulbocht zich concentreert langs de buitenbocht. Door naijling treedt de maximale stroming en daarmee ook de erosie en bochtverplaatsing benedenstrooms van het midden van een bocht op. De maximale erosie en geulverplaatsing vindt in dezelfde bocht met vloed plaats op een andere plek dan voor eb. Dit heeft in de Westerschelde geleid tot de ontwikkeling van een eb- en vloedbeweging in gedeeltelijk van elkaar gescheiden vloed- en een ebscharen.

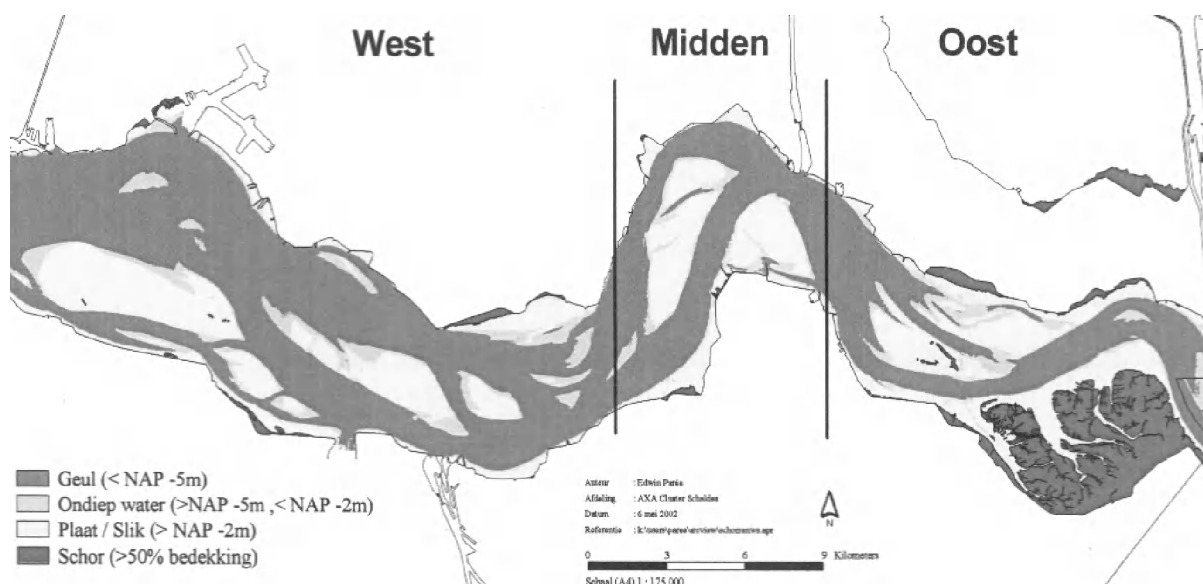


Figuur 7. Defenitie schets morfologische eenheden (Bron; Huijs, 1996)

De ebgeul is door het gehele estuarium te vervolgen, waardoor deze wordt gebruikt als vaargeul voor de scheepvaart naar Antwerpen. De grote ebgeulen zijn meanderend en de vloedgeulen zijn min of meer recht. In elke dwarsdoorsnede zijn de twee hoofdgeulen te onderscheiden (figuur 7). Door het repeterende patroon van de eb -en vloedgeulen zijn er zes bochtgroepen gevormd (Jeuken, 2000). Dat zijn respectievelijk; de grenssectie, de sectie Bath, de sectie Valkenisse, de sectie Hansweert, de sectie Terneuzen en de sectie Vlissingen. Het regelmatige patroon van dit twee geulen patroon wordt toegeschreven aan de geometrie van het estuarium en ontstaat als de breedte van het estuarium drie tot vijf maal de breedte van de hoofdgeul bedraagt (Winterwerp en Kuijper, 2002).

In stroomopwaartse richting neemt de breedte evenals het aantal geulen in het dwarsprofiel af tot er vanaf de grens in de Zeeschelde nog één geul over is (figuur 8). In alle zes de bochtgroepen vindt sedimentatie plaats in de hoofdebgeulen en erosie van de rechte vloedgeulen.

Beide hoofdgeulen zijn gescheiden door intergetijdengebieden of banken en met elkaar verbonden door één of twee verbindingsgeulen. Deze kortsluitgeulen zijn geulen die ontstaan/bestaan omdat door de getijvoortplanting waterstandsverschillen over de plaatgebieden ontstaan. Deze waterstandsverschillen veroorzaken een stromingsversnellende kracht. De resulterende stromingen houden de geul door het plaatgebied in stand (Svašek, 1999).

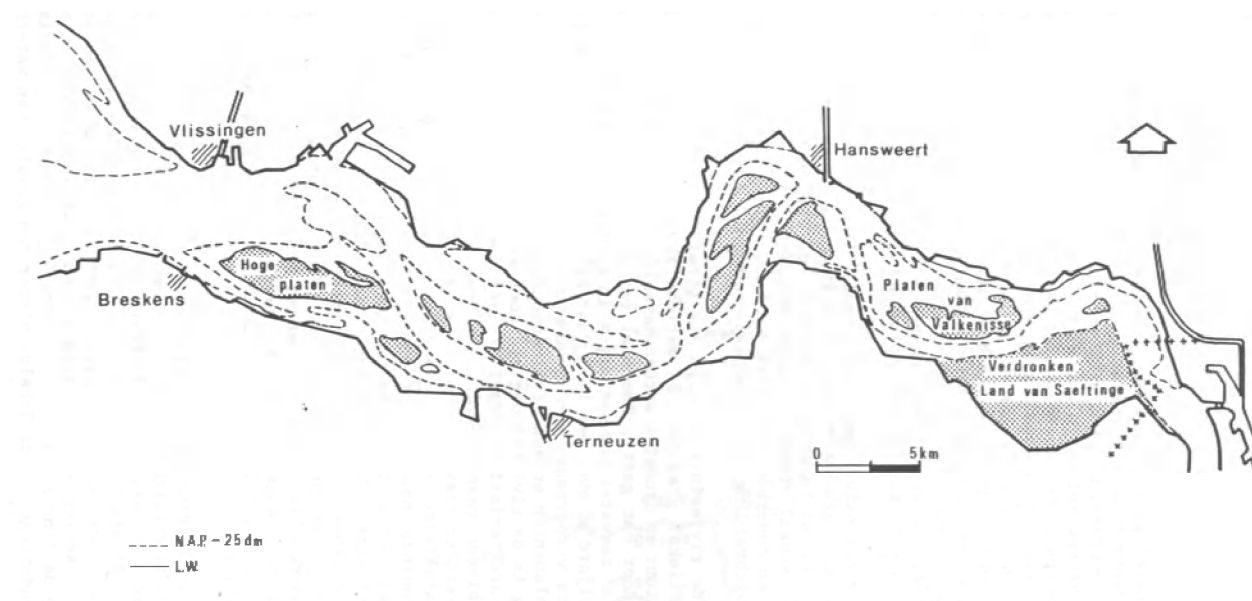


Figuur 8 Westerschelde: overzicht arealen geul, ondiepwater, plaat, slik en schor, situatie 1996 (Bron; Paree, 2002)

Naast de relatief beweeglijke geulen vormen de platen en de hoge gebieden langs de oevers betrekkelijk stabielere elementen in het morfologische systeem. Ze staan gedurende beperkte tijd onderwater met stroomsnelheden, die te zwak zijn voor erosie. Ze vertonen een geleidelijke verticale groei; alleen horizontale erosie door bewegende geulen kan deze plaatgebieden weer verplaatsen of opruimen (Pieters et al, 1991). Omdat de eb zich vooral voltrekt in de geulen, in tegenstelling tot de vloed die over de platen heen kan stromen, zal de meeste verplaatsing van geulen en dus erosie van de platen vooral gerelateerd zijn aan de ebbeweging. Westerschelde staat bekend om zijn grote oppervlakte aan platen. De Hooge platen in het mondingsgebied bij Breskens, De Middelpaten en de Platen van Valkenisse zijn de bekendste (figuur 9).

Daarnaast bezit de Westerschelde nog ten minste 3500 hectare slikken en 2500 hectare schorren, waarvan het merendeel in het Oostelijk deel ligt (Van Haperen et al., 1999). Op de hogere delen van de platen ontwikkelen zich slikken of begroeide schorren (Allersma, 1992). Schorren zijn begroeid waarbij in het water zwevende slib effectief wordt ingevangen. De slibconcentraties in een estuarium zijn hoog, waardoor de schorren zich snel ophogen. De verlanding verloopt dan ook snel.

Kreken zijn de waterlopen, via welke de getijden de schorren in- en uitstromen (van Genuchten, 1982).



Figuur 9. Ligging platen in de Westerschelde (Bron: Pieters et al., 1991)

Drempels zijn natuurlijke ondiepten in een geul op de overgang tussen twee bochten in estuaria en meanderende rivieren. In de Westerschelde komen deze drempels voor in de vaarweg, ze liggen aan de zeewaartse zijde van een ebgeul. Het overgrote deel van het onderhoudsbaggerwerk in de Westerschelde vindt op deze natuurlijke ondiepten plaats.

### 2.3 Bagger -en stortactiviteiten

In 1839 werd met het Belgisch-Nederlands scheidingsverdrag niet alleen de vrije vaart op de Schelde erkend, maar besloten beide landen ook tot *une surveillance commune* (gemeenschappelijk toezicht). In de praktijk moet de Westerschelde vanuit zee en wat de bevaarbaarheid betreft te allen tijde beantwoorden aan de eisen die, aldus het verdrag 'zowel door den vooruitgang van de scheepsbouw als door de toenemende behoeften aan scheepvaart worden gesteld'. Dit betekent dat de Westerschelde regelmatig moet worden uitgebaggerd omdat het systeem de diepere geulprofielen niet zelf kan onderhouden. Nederland moet daartoe door middel van een vergunning uitdrukkelijk toestemming verlenen, mede om de soevereiniteit over de Westerschelde te behouden (van den Heuvel, 2001).

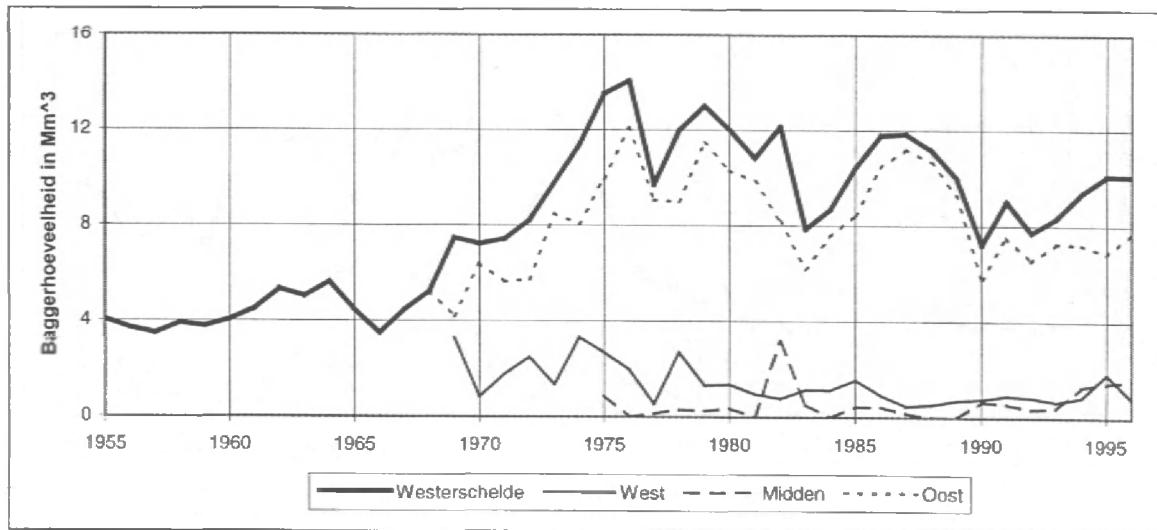
Vanaf 1905 tot 1951 werd in de bovenloop van de Westerschelde eerst incidenteel en later geregeld gebaggerd op bescheiden schaal. In 1952 is er sprake van een duidelijke groei van de hoeveelheid baggerwerk met een uitbreiding in westelijke richting tot uiteindelijk bij Baarland (Technische schelde commissie, 1984), zie figuur 1 voor de ligging van Baarland.

Na de watersnoodramp van 1953 werd het Deltaplan uitgevoerd. Alle inhammen in zuidwest Nederland werden afgesloten op de Westerschelde na, die vanwege zijn scheepvaartfunctie niet afgesloten kon worden. De Braakman (1952) tussen Biervliet en Terneuzen, het Sloe

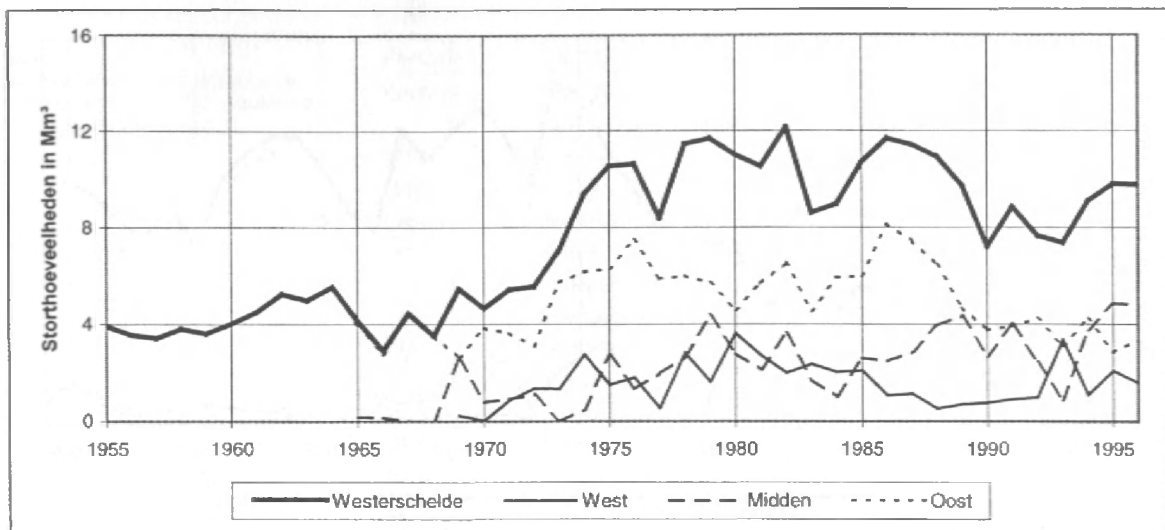


(1954) tussen Vlissingen en Borsele en de Ossendrechtse kil (1970) bij Ossendrecht werden afgesloten (van Haperen et al, 1999) en daarmee werd hun verbinding met de Westerschelde verbroken.

Doordat voor 1955 de baggeractiviteiten weinig frequent en van kleine omvang waren is pas vanaf 1955 bekend waar en hoeveel er in de Westerschelde gebaggerd en gestort is. De overzichten van de hoeveelheden lopen daarom vanaf 1955 (Parée, 2002) (figuur 10 en figuur 11).



Figuur 10, Baggerhoeveelheden Westerschelde; west, midden, oost, periode 1955-1996, profielkuubs miljoen m<sup>3</sup> (Bron: Parée, 2002)



Figuur 11, Storthoeveelheden Westerschelde; west, midden en oost, periode 1955-1996, profielkuubs miljoen m<sup>3</sup> (Bron: Parée, 2002)

In 1960 is de Overloop van Hansweert van blinde betonning voorzien. Hierna is deze verder uitgebaggerd met als gevolg dat de vaarroute via het middelgat definitief werd verlaten voor de overloop van Hansweert in 1980. In 1967 is de Oude Hoofd van Walsoorden, die voor een nauwe passage zorgde, na uitgebreide studies voor een groot deel ingekort.

Tot eind jaren '60 werd er alleen in het oostelijk deel gebaggerd. De hoeveelheden betroffen ca. vijf miljoen m<sup>3</sup> per jaar. Na de eerste verruiming van begin jaren '70 zijn de baggerhoeveelheden sterk toegenomen tot zo'n 8 à 12 miljoen m<sup>3</sup> per jaar tot en met 1996. Een uitschieter hierbij is de periode tijdens de eerste verruiming waar de hoeveelheden opliepen tot 13 à 14 miljoen m<sup>3</sup>. De gebaggerde hoeveelheden in het oostelijk deel van de Westerschelde hebben over de gehele periode altijd het grootste gedeelte van het totaal in beslag genomen (Parée, 2002).

Tussen 1968 en 1976 liepen in de Westerschelde de baggerhoeveelheden op van 4,7 tot 12,8 miljoen m<sup>3</sup>/jaar en duurde het tot eind jaren 80 voor zich een nieuwe toestand instelde, met jaarlijkse baggerhoeveelheid van 8 tot 10 miljoen m<sup>3</sup>/jaar (Technische Schelde Commissie, 2001). Tijdens dat baggerwerk in 1970 ontstond een verdieping van de vaarweg over de drempels van bijna 12 m – NAP, oplopend tot 14 à 14,5 m aan het eind van de jaren 80. Er werd toen vooral ten oosten van Hansweert gebaggerd. Er werd gebaggerd op natuurlijke drempels in de vaargeul en langs de flanken. De baggerspecie werd teruggestort in de nevengeulen en de eroderende buitenbochten van de hoofdgeul (Pieters et al., 1991) en tevens op de plaatcomplexen. Ook zijn kortsluitgeulen door de platen opgevuld (Svašek, 1999). Bij het storten van de baggerspecie werd destijds een strategie gebruikt om de waterbeweging en de geulontwikkeling te sturen, ten einde een vermindering van het baggerwerk te bewerkstelligen. Om meer water door de hoofdgeul te dwingen werd in de nevengeulen gestort. Hierdoor zou drempelvorming in de hoofdgeul beperkt worden (Parée, 2002).

Door de Nederlandse regering is in 1995 het 48'/43' verdiepingsverdrag getekend en pas in 1997 is er daadwerkelijk begonnen met baggeren. Het programma 48'/43' hield in dat met vloed schepen met een diepgang van 14.63 meter (48 voet) de haven van Antwerpen kunnen bereiken en met eb schepen met een diepgang van 13.10 meter (43 voet).

De berekende initiële baggerhoeveelheid bedroeg 14,5 miljoen m<sup>3</sup> per jaar, waarvan 20% ten westen van Vlissingen. Tussen 1 juli 1997 en 31 juli 1998 is de verruiming ten oosten van Vlissingen uitgevoerd (Svašek, 1999). Het voorspelde volume aan onderhoudsbaggerwerk ter grootte van 14 miljoen m<sup>3</sup> per jaar blijkt ca. 40% groter dan de ca. 10 miljoen m<sup>3</sup> per jaar, die nu gebaggerd wordt (Winterwerp en Kuijper, 2002). Naast het verlagen van de drempels uit de vaargeul werd ook de vaarwegbreedte aangepast, geulwandverdedigingen aangelegd en

wrakken opgeruimd. Momenteel wordt er alleen onderhoudsbaggerwerk gedaan en wrakken geruimd. Circa 60 wrakken en andere obstakels worden en zijn verwijderd.

Bij deze laatste verdieping van de vaargeul in 1997/1998 en vaarwegverruiming van 1998/2000 is gebruik gemaakt van een nieuwe stortstrategie, dat wil zeggen baggeren en zandwinning in het oostelijk en storten in het westelijk deel van het estuarium (Winterwerp en Kuijper, 2002). Er is overgegaan op een nieuwe stortstrategie omdat de stortstrategie die gebruikt is bij de baggerwerken van 1970-1975 bij de sterk toegenomen baggerintensiteit niet meer efficiënt was. Destijds werd er op de drempels gebaggerd en in de buitenbocht van dezelfde bochtgroep gestort. In het oostelijk deel was daardoor duidelijk sprake van het rondpompen van grote hoeveelheden zand over zeer korte afstanden: de blijvende berging was minimaal. De regulerende werking van het storten in de nevengeulen was gering. Het storten in de buitenbochten van de hoofdgeul is zeer inefficiënt. Ook de buitenbochterosie is ermee niet, zoals werd beoogd, tot stilstand gebracht (Pieters, 1993). Door dit gewijzigd bagger- en stortbeleid en zandwinbeleid wordt er binnen de Westerschelde sediment getransporteerd in westelijke richting. Doelstelling hierbij zijn het vergroten van de morfologische dynamiek en het minimaliseren van de baggerinspanning (Technische Schelde Commissie, 2001) en het beperken van het verlies aan ondiepwater areaal door groei van platen (Svašek, 1999). Het beleid is erop gericht het twee-geulen systeem niet aan te tasten en op duurzame wijze te gebruiken voor menselijke behoeften (Technische Schelde Commissie, 2001).

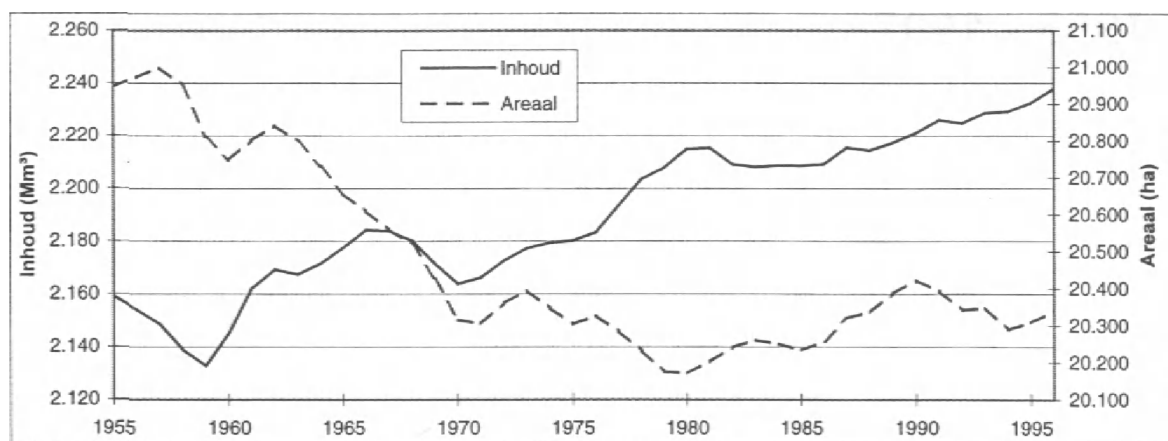
### **3. Impact op de morfologie**

Tot op de dag van vandaag worden er vaargeulverdiepingen in de Westerschelde uitgevoerd om de bereikbaarheid van de haven van Antwerpen te vergroten. De hydrodynamica van de Westerschelde is hierdoor merkbaar gewijzigd; zo is het getijverschil toegenomen (figuur 6) en slibben schorren en platen sneller op, ten koste van de slikken en het ondiepe water (Van Haperen et al, 1999). In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de impact die de verschillende baggerwerken hebben gehad op de morfologie. Allereerst wordt besproken wat de impact was van de baggerwerken in 1970-1975, omdat de prognose van de effecten van de 48'/43' verruiming grotendeels gebaseerd is op de ervaringen die zijn opgedaan bij de verdieping in de periode 1970-1975. Daarnaast is er veel gebruik gemaakt van berekeningen met o.a. het model ESTMORF (Svašek, 1999).

#### **3.1 Gevolgen 1970-1975 baggeren**

##### **3.1.1 Geulen**

Het geulprofiel stelt zich in op de hoeveelheid water dat erdoor stroomt, het natuurlijke evenwichtsprofiel. Door doorlopend te baggeren wordt het geulprofiel ter plaatse uit evenwicht gehouden, waarop het systeem reageert met versterkte sedimentatie. Door deze kunstmatige verlaging van de drempels ondervindt de getijgolf minder wrijving en zijn de snelheden groter waardoor er meer sediment wordt verplaatst. Zo wordt er bij een ruimer geulprofiel een soort dynamisch evenwicht onderhouden tussen baggeren en sedimentatie (Pieters, 1993). Als gevolg van de verdieping in de periode 1970-1975 is de hoofdgeul verdiept en verbreed (Svašek, 1999). In figuur 12 is een toename van de inhoud van de geulen te zien. Deze toename is het gevolg van een toename in baggerhoeveelheden. Het verticale areaal aan geulen vertoont een minder duidelijke trend. De ontwikkeling van het verticale areaal geulen is globaal onder te verdelen in een periode van afname (tot 1980) en een periode van toename (vanaf 1980). In de periode tot 1980 neemt het areaal met circa 900 ha af (ca. 4%). Hierna neemt het areaal weer met 200 ha toe tot 20.350 ha voor de verruiming (toename 1%) (Parée, 2002) van 1997 (programma 48'/43').



Figuur 12. Inhoud en oppervlakte geulen (Bron: Parée, 2002)

In het oosten is de verticale areaal toename het grootst geweest. Hier wordt dan ook het meest gebaggerd. Door baggeren neemt de inhoud aan geulen toe.

Het sediment dat bij de hoofdgeulverdieping en verbreding vrijkwam en het sediment dat werd gebaggerd om de drempels op diepte te houden, werd voornamelijk gestort in de nevengeulen en plaatcomplexen. De platen zijn hierdoor zowel in oppervlak als gemiddelde hoogte toegenomen (figuur 14). Ook zijn kortsluitgeulen door de platen opgevuld, hetgeen heeft bijgedragen aan de sterke achteruitgang van het areaal ondiepwater gebieden (Svašek, 1999).

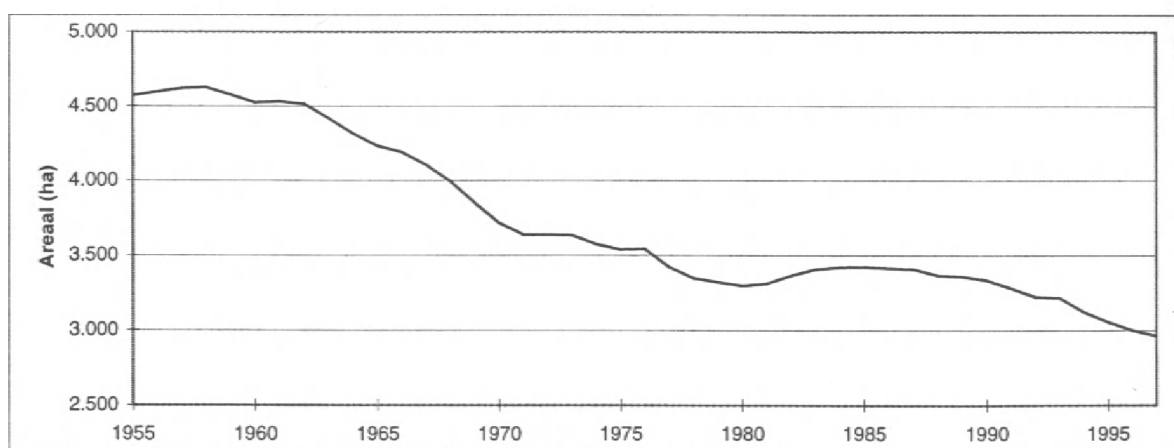
Door het storten in de nevengeul is de nevengeulinhoud afgenomen. Hierdoor gaat er meer water door de hoofdgeul stromen dan door de nevengeulen. De stroomsnelheden in de hoofdgeul nemen toe. Dit proces wordt ook versterkt door het baggeren van de drempels in de hoofdgeul waardoor de wrijving afneemt en daarmee het binnendringen van het getij wordt versterkt. De getijverschillen nemen toe (figuur 6). Door het baggeren op de drempels is de ebgeul aaneengesloten tot een doorgaande ebgeul. Er ontstaat een trend richting een één-geul systeem. Omdat een één-geul systeem minder ruimte nodig heeft zal er in de nevengeulen sedimentatie optreden. Het daarvoor benodigde zand zal in eerste instantie ten koste gaan van de platen en slikken. Dit is terug te zien in tabel 1.

Aan de toegenomen stroomsnelheden, als gevolg van de verruiming en vermindering wrijving, past de geul zich via erosie –en sedimentatieprocessen aan. Na een aanpassingsperiode zal de geulinhoud stabiliseren. De aanpassingsperiode is ongeveer 10 à 15 jaar. Na deze periode werden de hoeveelheden als gevolg van de onderhoudsbaggerwerken na de verdieping van 1970-1975, constant. Kunstmatig wordt een verstoring in stand gehouden ten opzichte van het natuurlijk evenwicht. Het systeem probeert dit plaatselijk onderhouden

sedimenttekort op te heffen door aanvoer van sediment. (Huijs, 1996) Om een constante overdiepte ten opzichte van de natuurlijke diepte te handhaven moet er evenveel materiaal worden weggebaggerd als het systeem naar de betreffende locatie aanvoert. (Pieters, 1993) In het algemeen wordt westelijk van de baggerlokaties gestort. Via 'natuurlijke' sedimenttransport komt dit terug op de drempels. (Huijs, 1996)

### 3.1.2 Ondiepwater

Al sinds 1955 is een dalende trend in het totale areaal ondiepwater in de gehele Westerschelde zichtbaar, met uitzondering van de periode 1980-1987, die een lichte stijging te zien geeft (Parée, 2002). De afname is het gevolg van het vroegere stortbeleid (baggeren en storten in dezelfde bochtgroep) dat gericht is op het storten in de nevengeulen en plaatcomplexen. Door het dieper worden van de geulen en de afname in areaal ondiepwater is er een versteiling van het grootschalig reliëf van het estuarium opgetreden.

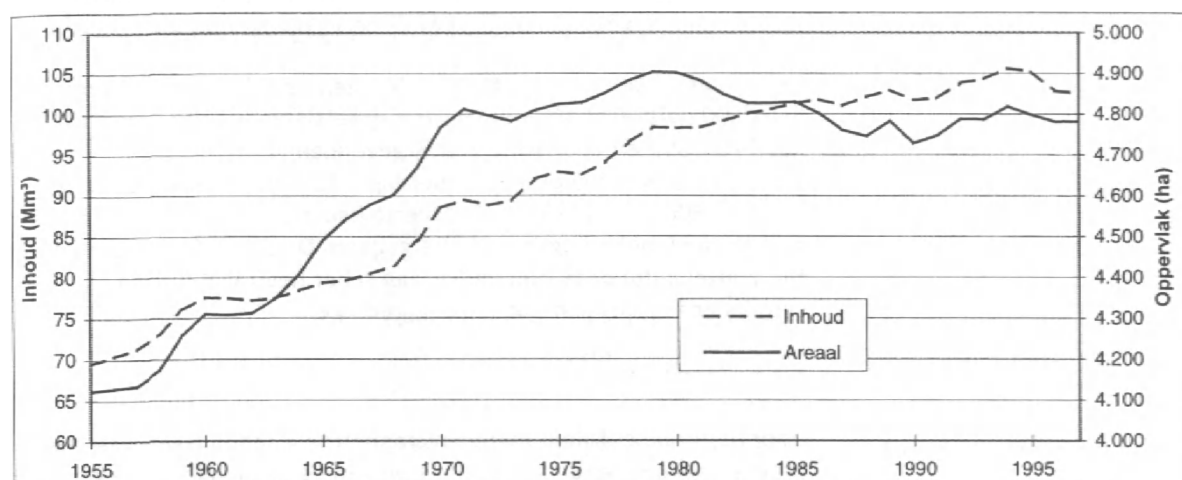


Figuur 13. Areaal ondiepwater (Bron; Parée, 2002)

### 3.1.3 Platen

De inhoud van de platen neemt tot 1994 geleidelijk toe. Ten opzichte van 1955 is in 1994 de inhoud van de platen met 50% toegenomen. Het areaal platen neemt tot 1970 sterk toe (17%). Vervolgens schommelt het areaal rond de 4800 ha. Het totale areaal platen in de Westerschelde is in de periode '85-'97 met 47 ha afgenomen. Er is echter een verschil in de deelgebieden. In het middendeel van de Westerschelde is het areaal platen met 155 ha toegenomen (een toename van ongeveer 13% in de periode '85-'97 en ongeveer 1% op jaarbasis) (Parée, 2002). In het westen is het areaal platen daarentegen juist met 132 ha (5%) afgenomen. In het oosten is het areaal platen ook afgenomen. Deze afname heeft grotendeels in de jaren '80 nog plaatsgevonden. Het areaal platen is vanaf 1990 min of meer gelijk

gebleven. (Parée, 2002) In deze periode was het systeem gestabiliseerd rond een nieuw evenwicht.



Figuur 14, Inhoud en oppervlak platen (Bron; parée, 2002)

Over de periode 1985-1997 neemt de inhoud van de platen in de Westerschelde gemiddeld met ca. 0,1% per jaar toe. Het areaal platen neemt echter met ca. 0,1 % per jaar af, wat duidt op ophoging van de platen (Parée, 2002). Aan de inhoud platen en het areaal platen valt dus te zien dat er een toename is in gemiddelde hoogte en in oppervlak als gevolg van het storten op en tussen de platen tijdens de bagger- en stortactiviteiten tussen 1970 en 1975.

|      | Slikken (ha) | Schorren (ha) |
|------|--------------|---------------|
| 1959 | 4260         | 3551          |
| 1988 | 3760         | 2505          |
| 1996 | 3663         | 2392          |

Tabel 1, Areaal slik en schor in hectare (Bron; Parée, 2002)

### 3.1.4 Slikken en schorren

Door de verruiming van de hoofdgeul zijn slikken in de buitenbochten versmald en verlaagd. (Svašek, 1999). De slikgebieden langs de hoofdgeulen gaan allemaal sinds 1971 achteruit door een toename van de stroomsnelheden vooral in de buitenbocht van de hoofdgeul door vermindering van de wrijving.

Netto gaat er in het estuarium geen slik en schor areaal verloren aangezien binnen de nevengebieden enkele slikken fors aangroeien (Huijs, 1996). Van 1988 tot 1996 is in het

westen het grootste oppervlak slik verdwenen (151 ha). In het oosten nam het areaal slik, hoofdzakelijk als gevolg erosie schor, toe. Dit door een toename in getijamplitude, waardoor vooral in het oosten hogere waterstanden optreden, die leiden tot een toename van de erosie aan het schor. De toename in getijamplitude komt doordat de geulen dieper werden en drempels verdwenen, waardoor de hydraulische wrijving afnam. Hierdoor is het binnendringen van het getij versterkt, zodat de getijverschillen met name in het oostelijk deel zijn toegenomen (figuur 6). In de periode 1970-1980 bleek in het oostelijk deel een geringe toename te zijn van de hoogwaters (Bath  $\pm 5$  cm) en een grotere afname van de laagwaters (Bath  $\pm 15$  cm) Technische Schelde Commissie, 1984).

In de hele Westerschelde is er in de periode 1988-1996 bijna 70 ha slik verdwenen (Parée, 2002). De grootste arealen schor zijn voor 1988 verdwenen waarvan inpolderingen de voornaamste oorzaak zijn geweest (vanaf 1959 ruim 1000 ha). De ontwikkelingen na 1988 zijn vrijwel autonoom. De arealen in het westelijk en het midden deel van de Westerschelde zijn op enkele ha na gelijk gebleven. In het oostelijk deel is na 1988 nog ruim 100 ha schor verdwenen. Tot 1996 verdween er hier gemiddeld bijna 14 ha per jaar (Parée, 2002).

De hoofdgeulinhoud is sterk toegenomen. De geulinhoud in de nevengebieden is verminderd. En dus een afname in areaal ondiepwater. Het areaal platen is in de nevengebieden sterk toegenomen en opgehoogd. Dit alles betekent een versteiling van het grootschalig reliëf van het estuarium en de ontwikkeling naar een één-geul systeem (Huijs, 1996). Het areaal slik en schor is min of meer gelijk gebleven.

### **3.2 Prognose gevolgen 48'/43'**

De verwachting is dat het 10 à 15 jaar zal duren voor het getij en de bodem zich hebben aangepast aan de menselijke ingrepen. Deze verwachting is gebaseerd op een vergelijking met de verruimingswerken in de jaren 70. Tussen 1968 en 1976 liepen in de Westerschelde de baggerhoeveelheden op van 4,7 tot 12,8 miljoen m<sup>3</sup> per jaar en duurde het tot eind jaren 80 voor zich een nieuwe toestand instelde, met een jaarlijkse baggerhoeveelheid van 8 tot 10 miljoen m<sup>3</sup>/jaar (Technische Schelde Commissie, 2001).

De verwachting is dat in het oostelijk deel van de Westerschelde de dynamiek zich herstelt. Onzekerheden bestaan over de aanpassing van de hoofdgeul, met name over het risico dat de hoofdgeul verder wordt gefixeerd. Ook wordt verwacht dat het getijverschil toe neemt en dat de getijgolf verder het estuarium indringt waardoor in het oostelijk deel het systeem overgaat van een vloeddominantie naar een ebdominantie (Wang et al., 2002).



Op grond van veldwaarnemingen tot 1999 en modelberekeningen met ESTMORF zal volgens Svašek (1999) over 25 jaar de volgende gevolgen zijn opgetreden;

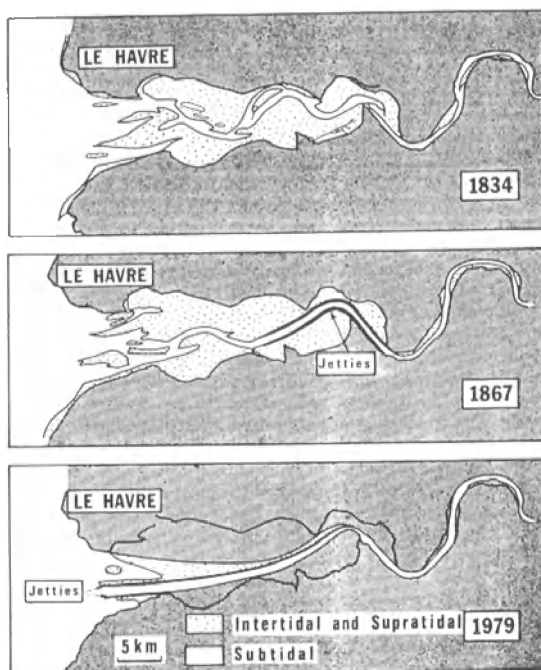
- toename debieten en geulvolume (5%) en geulareaal (250 ha), door verdieping hoofdgeul en doordat de hoofdgeul in de toekomst meer water zal kunnen trekken waardoor de nevengeulen verzanden
- toename van hoogwaterstanden (5cm) en daling laagwaterstanden (10 cm), als gevolg toename getijamplitude
- opschuiving stroomopwaarts van de zone waarin menging is van zoetrivierwater met zoutzeewater, als gevolg van de toename van de indringing van het getij.
- groei van plaatareaal (220 ha), dus versteiling en afname ondiepwater areaal (370 ha)
- vermindering van de netto zandimport. Uit lodingen blijkt dat het importerende karakter van de Westerschelde in de periode 1994-1997, net voor het begin van het programma 48'/43', overging in een export van zand naar het mondingsgebied. Uit ESTMORF berekeningen blijkt dat ook voor de toekomst een export van zand mag worden verwacht. Dit wordt veroorzaakt door een toename van de stroomsnelheden vooral bij eb, als gevolg van de afname wrijving. Het wordt versterkt door het storten in het westen. Op de langere termijn kan er dus een tekort aan zand ontstaan.
- toename van het netto zandtransport van westen/midden naar oosten, als gevolg gewijzigd stortbeleid
- het opleggen van een één-geul systeem, voor de ontwikkeling naar een één-geul systeem zijn enorme hoeveelheden zand vereist, omdat het gezamenlijke doorstroomprofiel van een eb- en vloedgeulsysteem veel groter is dan dat van één geul die zowel het totale eb- als het totale vloedvolume transporteert. Bij de verwachte vermindering van de zandimport is een ontwikkeling naar een één-geul systeem daarom niet waarschijnlijk.

Niet zeker is of het gewijzigde stortbeleid (in plaats van storten in de buurt van de baggergebieden, wordt er gestort in het westen en gebaggerd in het oosten) waarbij het langer duurt voordat sediment terugkeert op de baggerlocatie (de retourstroom), het gewenste effect heeft. (Technische Schelde Commissie, 2001)

### **3.3 Overgang twee-geul systeem naar een één-geul systeem**

In de probleemstelling werd een beeld geschetst dat de Westerschelde wel eens de kant op kan gaan als de Seine. Ook in de voorspellingen komt de verandering terug van een twee-geul systeem naar een één-geul systeem. Door de bedijkingen en de inpolderingen is de

Westerschelde gefixeerd en het bed versmald, de horizontale schaal wordt beperkt. De toenemende scheepvaart met grotere schepen vraagt grotere geuldiepten. Om dit te realiseren wordt de stroom geconcentreerd in een geul, de hoofdgeul. Dit reguleren van het water door de hoofdgeul gebeurt door te baggeren of door stroomgeleidingsconstructies of door combinaties (Pieters et al, 1991). In het Seine estuarium heeft dit een versnelde verlanding tot gevolg gehad, een één-geul systeem heeft minder ruimte nodig dan een twee-geul systeem. De stroomsnelheden in de nevengeulen en vloedscharen nemen af waardoor hier een sedimentatie kan optreden. Ter plaatse neemt de komberging af en zullen de zeewaarts gelegen geulen gaan verlanden. Vervolgens is daar weer een regulatie nodig dusdanig dat dit proces zich voortzet tot de monding. Dit is terug te zien in figuur 15.



Figuur 15. Veranderingen in morfologie en geulvorm tussen 1834 en 1979 (Bron: Avoine et al., 1981)

Van het Seine estuarium is vandaag de dag, na 130 jaar van opvulling, inpolderingen, stroomgeleidingsconstructies aanleggen en baggeren, alleen een smalle diepe geul afgebakend met jetties over, die loopt tot in zee. De slikken en schorren zijn allemaal opgevuld (Avoine et al, 1980).

Toch zal dit bij de Westerschelde niet snel gebeuren. Voor de ontwikkeling naar een één-geulstelsel zijn enorme hoeveelheden zand vereist, omdat het gezamenlijke doorstroomprofiel van een eb – en vloedgeulsysteem veel groter is dan dat van één geul die zowel het totale eb- als het totale vloedvolume transporteert. Bij de verwachte vermindering van de zandimport is een ontwikkeling naar een één-geul systeem daarom niet waarschijnlijk. Afsterven van kleine nevengeulen is wel mogelijk (Svašek, 1999).

### **3.4 Samenvatting**

Als gevolg van het verdiepen in de periode 1970-1975 is de hoofdgeul verdiept en verbreed, waardoor het verticale areaal aan geul is toegenomen en het verticale areaal aan ondiepwater evenredig is afgenomen. Het sediment dat bij de verdieping vrijkwam is gestort in de nevengeulen tussen de platen. Het verticale plaatareaal is daardoor toegenomen, evenals de gemiddelde hoogte. Door de verruiming van de hoofdgeul zijn slikken in de buitenbochten versmald en verlaagd. Het areaal aan slik en schor te samen is gelijk gebleven. Dit alles heeft voor het steiler worden van de gradiënt gezorgd en een verandering richting een één-geul systeem. Deze verandering zal waarschijnlijk niet doorzetten zoals bij de Seine is gebeurd door een gebrek aan zand. Door de verdieping van de geulen is ter plekke een zandtekort ontstaan, deze wordt door het systeem gecorrigeerd door een zandtransport van west naar oost. Dit zand moet vervolgens weer worden gebaggerd. De gevolgen die na de vorige verdieping ontstonden worden ook na het programma 48'/43' verwacht. Door de nieuwe stortstrategie zullen de onderhoudsbaggerwerkzaamheden beperkter zijn. Door de verbeteringen van de modellen worden de effecten van de bagger- en stortactiviteiten steeds nauwkeuriger.

#### 4. Conclusie

Al sinds het ontstaan van de Westerschelde is deze onderhevig aan menselijke ingrepen. Dit heeft geresulteerd in een verandering in de ruimtelijke structuur. Het begon met enorme inpolderingen waardoor een toename in getij optrad. De laatste jaren zijn vooral verdiepingswerken uitgevoerd. De belangrijkste verdiepingwerkzaamheden zijn de verdieping van 1970 –1975 en het 48'/43'-programma. Binnen het programma 48'/43' is de verdieping reeds in 1997 en 1998 afgerond. Andere punten uit het programma zoals het verwijderen van wrakken en andere obstakels is nog niet helemaal afgerond.

De morfologische veranderingen, die als gevolg van de bagger –en stortactiviteiten tussen 1970-1975 zijn verricht, zijn behoorlijk ingrijpend. Zo is het verticale areaal aan geul toegenomen waarmee een afname aan verticale areaal ondiepwater is gerealiseerd. Het verticale areaal slik en schor te samen is ongeveer gelijk gebleven. Het verticale plaatareaal is echter toegenomen en opgehoogd als gevolg van de gebruikte stortstrategie. Destijds werd er in de hoofdgeul gebaggerd en in dezelfde bochtgroep in de nevengeulen of buitenbocht gestort. De getijamplitude is toegenomen en dit zorgt voor waterstandsverhoging met vloed en een verlaging met eb. Hierdoor is de sedimentatie toegenomen. Dit alles heeft voor het steiler worden van de gradiënt gezorgd. Na 10 à 15 jaar stelde zich een nieuw evenwicht in. De gevolgen die na de vorige verdieping ontstonden worden ook na het programma 48'/43' verwacht. Door de nieuwe stortstrategie is er niet meer sprake van het rondpompen van sediment. Er wordt verwacht dat door het in het oosten baggeren en westen storten het langer duurt voordat het sediment de geul opnieuw opvult. De onderhoudsbaggerwerkzaamheden zullen dus afnemen en dat is reeds gebleken. De verwachting is dat de Westerschelde niet vervalst van een twee-geul systeem naar een één-geul systeem door het gebrek aan sediment.

## Literatuurlijst

1. Allersma, E., 1992, Studie inrichting Oostelijk deel Westerschelde Analyse van het fysische systeem, Waterloopkundig laboratorium, Nota voor Werkgroep OOSTWEST, Rijkswaterstaat, Directie Zeeland. P.81
2. Avoine, J., Allen, G.P., Nichols, M., Salomon, J.C., Larssonneur, C., 1981, Suspended-sediment transport in the Seine estuary, France: effect of man-made modifications on estuary-shelf sedimentology, *Marine Geology*, nr. 40, p. 119-137
3. Berendsen, H.J.A., 2000, *Landschappelijk Nederland*, 2<sup>de</sup> druk, Assen: Van Gorcum, p.218
4. Van den berg, 1986, Aspects of sediment and morphodynamics of subtidal deposits of the Oosterschelde (the Netherlands), Universiteit Utrecht, Utrecht, p. 126
5. Van den Berg, J.H., Jeuken, C.J.L. en Van der Spek, A.J.F. 1996, Hydraulic processes affecting the morphology, and evolution of the Westerschelde estuary. In: Nordstrom, K.F. en Roman. C.T. *Estuarine Shores, evolution environment and human alterations*. Wiley, Chichester, 155-184
6. Van Genuchten, P.M.B., 1982, effecten van het verdiepen van de vaargeul naar antwerpen op de schor-en intergetijdegebieden in het oostelijk deel van de westerschelde, kaartanalyse, luchtfoto interpretatie en literatuurstudie, R.W.S. Deltadienst, Hoofdafd. Milieu en inrichting, Studenten rapport 1-83, Middelburg, p.28
7. Van den Heuvel, H., 2001, Scheldemonding, twistappel tussen Nederland en België, *Openbaar Bestuur*, jrg. 11, nr. 9, p. 10-12
8. Van Haperen, A., de Kraker, K., van der Neut, J., van der Reest, P., Stoker, G., 1999, Aan de monding van Maas en Schelde, Staatsbosbeheer, Middelburg, p. 320
9. Huijs, S.W.E., 1996, De ontwikkeling van de morfologie in de Westerschelde in relatie tot menselijk ingrepen 1955-1994, Universiteit Utrecht, Utrecht. p. 57
10. Jeuken, M.C.J.L., 2000, On morphological behaviour of tidal channels in the Westerschelde estuary. Phd. thesis
11. Parée, E., 2002, De toestand van de bodem van de Westerschelde aan het begin van de verruiming 48'/43', *Herziene TO voor de bodem van de Westerschelde*, Rijkswaterstaat
12. Pieters, T., 1993, Het schelde-estuarium beheren of beheersen?, samenvatting van actuele beleids- en beheersrelevante inzichten uit het project Oost-West, betreffende de fysische structuur van het Schelde-estuarium, Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Middelburg, p. 31
13. Pieters, Ir. T., Storm, C., Walhout, T., Ysebaert, T., 1991, Het schelde estuarium, meer dan een vaarweg, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdenwateren, Directie Zeeland, Middelburg, p. 135
14. Svašek (Bram Blik en Arie de Gelder), 1999, Tussentijdse evaluatie 48'/43'verruiming en stortbeleid Westerschelde, RIKZ middelburg, Svašek bv, p. 21
15. Tank, F.T.G. Tank, 1997, het gedrag van drempels in de wetterschelde, (Beschrijving en analyse van metingen van de morfologie op en rondom de drempel van Hansweert),Universiteit Utrecht, Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, Vakgroep Fysische Geografie, IMAU, Utrecht, p. 40
16. Technische Scheldecommissie, subcommissie Westerschelde, 1984, Studierapport verdieping westerschelde programma 48'/43', deel 1 en deel 2, waterbouwkundig laboratorium, Antwerpen en Middelburg, p. 174
17. Technische Schelde Commissie, 2001, Langetermijnvisie Schelde-estuarium, Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Middelburg, p. 86

18. Wang, Z.B., Jeuken, M.C.J.L., Gerritsen, H., de Vriend, H.J., Kornman, B.A., 2002, Morphology and Asymmetry of the vertical tide in the Westerschelde estuary, Continental Shelf Research, Nr. 22, Blz. 2599-2609.
19. Werkdocument RIKZ, 2001, Morfologische ontwikkeling Westerschelde 1931-2000, Rijkswaterstaat, RIKZ.
20. Winterwerp, J.C., Kuijper, C., 2002, Morfologisch model Westerschelde, verkenndende studie naar operationalisering, Waterloopkundig laboratorium, opdrachtgever Rijkswaterstaat, Delft, p.
21. Wolters-Noordhoff, 1997, Derde oplage, De Grote Bosatlas, 51<sup>ste</sup> editie, Wolters-Noordhoff Atlasproducties Groningen