



Beperkte toestandbeschrijving van de monding van de Westerschelde (KTS Voordelta)

De bijbehorende figuren en referenties kunnen via
bekeken en/of geprint worden

print

INHOUD

1	Inleiding	4
2	Gebied	7
	2.1 Geografische beschrijving	7
	2.2 Geologische beschrijving	8
3	Gebruiksfuncties	11
	3.1 Recreatie	11
	3.2 Baggeren en storten van sediment	13
	3.3 Delfstoffenwinning	17
	3.4 Overige functies	18
4	ECOLOGIE	20
	4.1 Ecosysteem	20
	4.2 Primaire productie	24
	4.3 Bodemdieren	25
	4.4 Vissen	27
	4.5 Kinderkamer	28
	4.6 Zeezoogdieren	29
	4.7 Vogels	30
5	HYDRODYNAMIEK	32
	5.1 Stroming en waterstand	32

5.2 Golven 35

6 MORFOLOGIE 1

6.1 Bodemontwikkelingen 3

1 Inleiding

Achtergrond

Voor het beheer van het Schelde-estuarium spelen de ruimtelijke ordening, het milieubeleid, natuurbeleid en waterbeleid gezamenlijk een rol.

Het Schelde-estuarium wordt hier beschouwd als het door land ingesloten water, dat in vrije verbinding met de zee staat en door het getij wordt beïnvloed. Voor de Schelde is dit het gebied tussen Gent in België en aan de zeezijde de zone waar de typische geomorfologie met eb- en vloedgeulen, platen, slikken, ondiep water en intergetijdegebieden overgaat in de normale zeebodem.

Het stroomgebied van de Schelde loopt door drie landen, die ook alle een rol spelen in het beheer van het stroomgebied. In België en Nederland is het besef ontstaan dat een integrale aanpak van de gesignaleerde problemen en ideeën over het gebied noodzakelijk is. In de Agenda Langetermijnvisie Schelde-estuarium (LTVSE), die door de Technische Schelde Commissie op 7 januari 1999 is vastgesteld, is als vertrekpunt voor de lange termijn visie vastgelegd:

"het ontwikkelen van een gezond en multifunctioneel estuarien watersysteem dat op duurzame wijze gebruikt wordt voor de menselijke behoeften".

In hetzelfde document is een inventarisatie gegeven van de problemen en wensen die samenhangen met het gebruik van het estuarium en zijn de uitgangspunten voor een lange termijn visie en een plan van aanpak verwoord. Er wordt gesteld, dat het maken van een lange termijn visie de mogelijkheid biedt een brede gemeenschappelijke basis te leggen voor de ontwikkeling van een bilateraal integraal Scheldebeleid. Het beheer en beleid van het estuarium kent gevoeligheden in beide landen. Door gezamenlijk een lange termijn visie te ontwikkelen, kan het vertrouwen en het inzicht van de beide partijen worden vergroot. Het uitgangspunt is een watersysteembrede benadering, waarbij drie hoofdfuncties van het estuarium zijn aangewezen, te weten veiligheid tegen overstromen, de toegankelijkheid van de Scheldehavens en de natuurlijkheid van het systeem. Hiervoor zijn drie werkgroepen opgericht. Dit rapport is opgesteld naar aanleiding van een vraag van de werkgroep Natuurlijkheid.

Monding van de Westerschelde

In verband met de werkzaamheden voor de LTVSE is voor het opstellen van streefbeelden een overzicht nodig van de huidige toestand van het estuarium. Tot nu toe is geen aandacht besteed aan de monding van de Westerschelde. Het blijkt dat over dit gebied minder onderzoeksgegevens voorhanden zijn dan over het overige deel van de Schelde. Ook in de Voordelta is wel onderzoek uitgevoerd, doch de resultaten worden in de rapportages echter vaak voor de gehele Voordelta besproken en niet specifiek voor het te beschouwen gebied.

In verband met de voortgang van het project is op korte termijn een beschrijving van de huidige situatie noodzakelijk alsmede een indicatie voor de korte termijn ontwikkeling van het te beschouwen gebied.

Er is getracht zoveel mogelijk gegevens van het onderhavige gebied in dit werkdocument te verzamelen. De nadruk ligt daarbij op het snel

opleveren van een overzicht; niet op de compleetheid van het overzicht. Met het schrijven van dit werkdocument is daarom getracht gecompriemd een aantal relevante gegevens te verzamelen die kunnen dienen als bouwsteen voor de LTVSE.

Voor het opnemen van gegevens over de waterkwaliteit ontbrak de tijd. Hiervoor wordt verwezen naar de literatuur over de Voordelta (van Berchum, 1998).

Dankwoord

Voor de vervaardiging van dit werkdocument is overleg gevoerd met een aantal deskundigen, die door eigen kennis en ervaring inzicht hebben in de optredende omstandigheden en relaties in het onderzoeksgebied en kunnen beschikken over nog niet gepubliceerde gegevens. Voorts is de het concept door een aantal deskundigen beoordeeld. In dit kader zijn bijdragen verwerkt of is contact opgenomen met medewerkers van het RIVO: Henny Welleman (vissen en zeezoogdieren) en het RIKZ: Henk Baptist (vogels), Tammo Bult (vissen), Richard Witte (zeezoogdieren), Ed Stikvoort (bodemdieren), Bert Wetsteijn (primaire productie) en Piet Roelse (getij en golven en kustontwikkeling), Aline Arends (gebruiksfuncties en hydrodynamiek), Albert Holland (gebied), Gert Jan Rotmensen (gebruiksfuncties), Birgit Dauwe (ecologie), Peter Meininger (ecologie) en Cornelis Israël (kustontwikkeling). Ik wil al deze personen bedanken voor de geleverde bijdragen aan dit document.

2 Gebied

2.1 Geografische beschrijving

Het gebied wordt in grote lijnen in het noordoosten begrensd door de zandige kust van Walcheren tussen Westkapelle en Vlissingen; aan de oostzijde door de lijn Vlissingen-Breskens; in het zuidoosten door de zandige kust van Zeeuws-Vlaanderen tot de haven van Zeebrugge; in het westen door de op een diepte van circa NAP -15 m liggende droogte van Schooneveld en in het noorden door een van oost naar west lopende lijn vanaf Westkapelle.

In dit gebied lopen twee scheepvaartgeulen: de Wielingen langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen en het Oostgat en de Sardijngeul langs de kust van Walcheren (kaart 1). Tussen deze scheepvaartgeulen ligt een aantal ondieptes en kleinere geultjes. Dit zijn van noord naar zuid: het Bankje van Zoutelande; de Geul van de Rassen; de Rassen en de Nolleplaat; de Deurloo en de Vlakte van de Raan (de grootste ondiepte, circa 5 x 15 km). Tussen de Wielingen en de kust van Zeeuws-Vlaanderen ligt de ondiepte de Paardenmarkt.

Met uitzondering van de stranden ligt het gebied bij hoogwater geheel onder water. Bij laagwater liggen enkele platen boven water. De grote ondiepten, zoals de Vlakte van de Raan liggen echter zo laag, dat ze ook bij laagwater nog meters onder het wateroppervlak blijven (kaart 1).

2.2 Geologische beschrijving

Grootschalige bodembeweging

De grootschalige bodembeweging in het gebied bestaat uit een langzame daling van de Noordzeebodem en een geleidelijk omhoog komen van het Massief van Brabant (gelegen in België en Engeland)

De afzettingen in de monding liggen op oudere (meer dan 2 miljoen jaar oud) lagen en Pleistocene en Holocene afzettingen. (tabel 1). Van oud naar jong worden afzettingen uit de volgende perioden aangetroffen.

- Eoceen tot en met Midden-Oligoceen
- Midden-Mioceen tot en met het vroeg Pleistoceen
- Laat-Pleistoceen en Holocene

Afzettingen uit tussenliggende perioden zijn niet aangetroffen (van der Spek, 1997).

ontwikkelingen in de periode van 2.000.000 jaar geleden tot nu

In het Vroeg-Pleistoceen werden de zandige en kleiige mariene afzettingen van de Westkapelle Ground Formatie-Formatie van Maassluis gevormd. Deze gaan oostwaarts over in de estuariene tot fluviatiele afzettingen van de Formatie van Tegelen. Na de vorming van deze afzettingen trok de zee zich uit het gebied terug. De geologische processen werden in deze periode sterk beïnvloed door de afwisseling van de koude en warme perioden en door de daarmee samenhangende schommelingen in de gemiddelde zeestand. Vooral tijdens de ijstijden trad een sterke daling van de zeespiegel op ten gevolge van het ontstaan van gletsjers op het noordelijke halfrond. Hierdoor viel een groot deel van de Noordzee droog en ontstond een sterke winderosie,

waarvan de erosieresten langs de kust van Walcheren worden aangetroffen. In de perioden tussen de ijstijden vonden mariene erosie en sedimentatie plaats.

De ontwikkeling tijdens het Holocene werd in sterke mate bepaald door de zeespiegelstijging als gevolg van het smelten van de landijskappen en de beweging van de ondergrond. Hierdoor verdween de kustvlakte geleidelijk onder het water en werden er door het getij geïnduceerde afzettingen gevormd. Ook ontstond een moerasvegetatie waardoor een veenpakket ontwikkelde (Laban 1979). Dit veenpakket werd door een schoorwal beschermd tegen de zee. Bij een doorbraak ontstonden in het veen geulen, die later met zand en klei werden opgevuld. De Schelde, die oorspronkelijk noordelijk van Walcheren uitmondde, verlegde haar loop naar het huidige mondingsgebied. De schoorwallen werden door de werking van de zee aangetast en er ontstonden diepe erosiegeulen. Het aanwezige veen werd geërodeerd; het estuarium werd steeds wijder en de positie van de eb- en vloedgeulen wijzigden steeds.

opbouw van de ondergrond

De opbouw van de ondergrond kan door de aanwezigheid van erosie-resistente lagen, de grootschalige ontwikkelingen in het studiegebied beïnvloeden (van der Spek 1997).

De gemiddelde korrelgrootte van het zand varieert van 0,162 mm tot 0,359 mm (matig fijn zand tot zeer grof zand). Ook komen zandige klei, kleilig slibrijk zand en dunne kleilaagjes voor.

Vaak is een scheve gelaagdheid zichtbaar; welke is ontstaan door het voorkomen van megaribbels.

De Holocene afzettingen bestaan uit zand, klei en veen. Vooral kleirijke afzettingen en veenlagen kunnen door het gewicht van de bovenliggende lagen ontwaterd en geconsolideerd zijn.

De Pleistocene afzettingen komen in de ondergrond van het mondingsgebied voor en kunnen door diepere geulen in het gebied worden aangesneden. Door de hoge leeftijd van de afzettingen kunnen het zand en de klei waaruit deze afzettingen oorspronkelijk zijn opgebouwd, van textuur zijn veranderd. Hierdoor kunnen zij een ander gedrag vertonen. Door de belasting van het bovenliggende sediment wordt het klei ontwaterd en samengedrukt, waardoor een stugge en harde substantie wordt gevormd; zand wordt beter gestapeld en er kan een verkitting van de zandkorrels plaatsvinden door bijvoorbeeld de aanwezigheid van kalk.

3 Gebruiksfuncties

3.1 Recreatie

De recreatie is naast de scheepvaart en visserij een belangrijke gebruiksfunctie van de Westerschelde. De recreatie kan in de volgende vormen worden onderscheiden: oeverrecreatie (met name zonnen en zwemmen), sportvisserij en waterrecreatie en overige vormen van recreatie.

oeverrecreatie

In het mondingsgebied worden alle stranden in het zomerseizoen zeer intensief gebruikt. In een onderzoek dat in 1991 en 1992 plaatsvond, is op basis van autotellingen berekend dat op een gemiddelde zomerse dag in juli of augustus het strand van Zeeuws-Vlaanderen (tussen Breskens en de Belgische grens) door ongeveer 83.000 mensen en het strand van Walcheren (tussen Vlissingen en Westkapelle) door circa 61.000 mensen zijn bezocht (Bakker, 1993). De recreanten bezoeken de kust vooral om te zwemmen en te zonnen. Vanwege een sterke stroming en de drukke scheepvaart (met een vaargeul direct onder de zuidkust van Walcheren) wordt plankzeilen relatief weinig beoefend.

sportvisserij

Door de sterke stroming en de intensieve beroepsscheepvaart wordt er in beperkte mate vanaf sportvisbootjes in de monding gevist.

Vanaf de stranden vindt gedurende het gehele jaar in beperkte mate sportvisserij plaats. Tijdens het zomerseizoen wordt er tijdens zomerse dagen overdag, vanwege de aanwezige drukte, weinig gevist. Ten

behoefte van de visserij worden pieren veelal niet in de monding gestoken maar elders in de Westerschelde.

waterrecreatie

Door de recreatievaart is het 's zomers extra druk op het vaarwater in de Voordelta en de Westerschelde. Het zeilen concentreert zich voornamelijk in de monding van de Westerschelde.

Vooraf in de buurt van Vlissingen is het door de aanwezigheid van een jachthaven en de sluis, die toegang geeft tot het Kanaal door Walcheren, druk met schepen en zeiljachten. Door de sluis in Vlissingen zijn in 1999 20.122 in- en uitgaande recreatievaartuigen geschut. Zo'n 75% hiervan bestaat uit op motor varende zeiljachten(bron: database Scheepvaart Provincie Zeeland). De jachthavens in Vlissingen en Breskens bieden plaats aan respectievelijk circa 650 en 300 recreatievaartuigen (Bron: internet; www.montparnasse.nl; <http://people.zeelandnet.nl/janvgorp/VVWSchelde.html>; www.breskens.com).

Vooraf de Wielingen, de Sardijngeul en de rede van Vlissingen en Breskens kennen een relatief grote intensiteit aan recreatievaart.

overige recreatievormen

Twee plaatsen langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen staan bekend als vindplaatsen van fossielen: Cadzand (Zwingenul) en de Verdrongen Zwarte Polder. In Cadzand worden haaiantanden en fossiele schelpen uit het eoceen (ouder dan 35 miljoen jaar) gevonden. In de omgeving van de Verdrongen Zwarte Polder worden haaiantanden en fossiele schelpen uit het plioceen en pleistoceen (van 10.000 tot 5 miljoen jaar oud) aangetroffen.

Ook wordt het strand gebruikt voor het uitlaten van honden, strandzeilen, paardrijden, vliegeren en wandelen. In de omgeving van Zoutelande wordt het parasailen beoefend.

3.2 Baggeren en storten van sediment

Voor het winnen van zand (voor particulier gebruik en voor zandsuppleties) en voor het op de vastgestelde diepte houden van de vaargeul, worden op een aantal plaatsen in het estuarium baggerwerkzaamheden uitgevoerd. Het sediment dat vrijkomt bij het op diepte houden van de vaargeul wordt opnieuw in het estuarium gestort.

vergunningen

Op grond van de Ontgrondingenwet, het Rijksreglement Ontgrondingen, het Baggerreglement en de Rivierenwet zijn voor het verrichten van baggerwerken een reeks vergunningen vereist. Uit het oogpunt van doelmatigheid wordt één procedure doorlopen die geleid heeft tot één vergunning: de Baggervergunning. In de baggervergunning voor de Westerschelde zijn 13 locaties voor het storten van baggerspecie opgenomen.

In de gemeente Vlissingen (en ook Reimerswaal en Hontenisse) is op grond van het vigerende bestemmingsplan of voorbereidingsbesluit, een aanlegvergunning vereist voor de bagger- en/of stortwerkzaamheden, behorend bij de verruiming van de vaargeul.

Ten behoeve van de aanvragen voor aanlegvergunningen zijn effectnota's opgesteld. In deze effectnota's wordt aangetoond, dat bij de geschatte hoeveelheden te baggeren en te storten materiaal aan de onderhavige gebieden in de Westerschelde door de bagger- en stortwerkzaamheden geen blijvende onevenredige schade zal worden toegebracht.

baggeren en storten

Er bestaat een verschil tussen zandwinning (voor particulier gebruik), waarbij zand uit het gebied wordt verwijderd en vaarwegonderhoud en kustonderhoud, waarbij het sediment van de baggerlocatie naar de stortlocatie wordt verplaatst en zo in het gebied aanwezig blijft.

De zandwinning voor particulier gebruik wordt hier als delfstof beschouwd en komt in hoofdstuk 3.3 aan de orde.

De Westerschelde staat in vrije verbinding met de zee. De sterke stroming van het water tijdens eb en vloed en het daarmee gepaard gaande sedimenttransport zorgen voor een continue migratie van de geulen.

Het voortdurende baggeren en storten van sediment vindt plaats met als doel de geulen op een voldoende diepte te houden voor een veilige scheepvaart.

Ten behoeve van de verruiming van de vaargeul moet een drietal jaren na de start van de werkzaamheden voor de verdieping, in een periode van twee jaar 3,2 miljoen m³ sediment uit de Wielingen worden verplaatst.

In de monding komen enkele bagger- en stortlocaties voor (kaart 2).

baggerlocaties geulonderhoud

Er zijn twee baggergebieden: de Wielingen (locatie 4) en de drempel van Vlissingen (locatie 1). Ook wordt er in de toegangsgeul en de haven van Zeebrugge gebaggerd.

Uit de monding van het Zwin wordt regelmatig zand verwijderd.

stortlocaties geulonderhoud

Aan de zijde van Zeeuws-Vlaanderen zijn dit: de Wielingen (locatie 16) en de kust van Zeeuws-Vlaanderen (locatie 20) en aan de zijde van Walcheren: de kust Vlissingen (locatie 21).

Het vrijkomende sediment van de toegangsgeul van de haven van Zeebrugge wordt deels gestort ter plaatse van de Paardenmarkt, een Vlaamse stortlocatie.

Het fijne materiaal wordt door golven en stroming uitgewassen en komt voor een deel weer in de haven van Zeebrugge terecht. Het grofste materiaal blijft achter in het stortgebied. Een deel van het geërodeerde stortmateriaal wordt in noordoostelijke richting getransporteerd en veroorzaakt een sedimentatie in de Scheur/Wielingen en in de Appelzak (Slikke, 1998)

Het zand uit de monding van het Zwin wordt in de nabijheid van het Zwin gestort op de noordelijk en zuidelijk hiervan gelegen stranden.

strandsuppleties

Voor strandsuppleties langs de kust van Walcheren en Zeeuws-Vlaanderen wordt sediment gebruikt uit de Noordzee (zoals van de Steenbanken, die westelijk van de monding van de Oosterschelde liggen). In de afgelopen tijd is ook zand gebruikt van het Bankje van Zoutelande (1995), de Nolleplaat (1998), Sluissche Hompels (1994) en de inloop van het Oostgat (1990).

doorzicht en slibhuishouding

Het aanwezige zwevend materiaal in het water beperkt het doorzicht. Het gemiddelde doorzicht van het westelijke deel van de Westerschelde blijkt circa 0,50 m te zijn.

Dit jaar (2000) zijn in de Westerschelde geen waarneembare veranderingen vastgesteld in de slibhuishouding als gevolg van het baggeren en storten van sediment. Dit komt waarschijnlijk doordat sterke natuurlijke variaties optreden. Er wordt gewerkt aan methoden om die natuurlijke variaties uit het meetsignaal te kunnen filteren. Het gebaggerde materiaal in de Westerschelde bevat relatief weinig slib, zodat de gemiddelde concentratietoename als gevolg van het baggeren en storten verwaarloosbaar is ten opzichte van de hoeveelheid materiaal dat tijdens elk getij in suspensie wordt gebracht. Het effect van het baggeren en storten van sediment in de Westerschelde op het doorzicht in de monding is dan ook gering.

Voor de Belgische kust bevindt zich oostelijk van de haven van Zeebrugge een "ontmoetingsgebied" van residuele sedimenttransporten; dit gebied wordt ook wel als "het troebelheidsmaximum" gekarakteriseerd. Hier sedimenteert veel sediment in de geul, zodat een aanzienlijke baggerinspanning noodzakelijk is voor het op diepte houden van de vaarweg. De jaarlijks gebaggerde hoeveelheid specie bevat circa 4 miljoen ton slib (sedimentdeeltjes kleiner dan 63 mm). Dit slib wordt gestort op de Vlake van de Raan. Uit Belgisch onderzoek blijkt dat circa 85% van de gestorte specie erodeert en weer terug wordt getransporteerd naar de omgeving van het troebelheidsmaximum. Dit betekent dat door het baggeren en storten in het mondingsgebied een circulatiepatroon in stand wordt gehouden waarin zeer grote hoeveelheden slib omgaan.

Het percentage slib in het sediment langs de kustzone van Zeeuws-Vlaanderen wordt geschat op 50% (van Maldegem, 1995).

3.3 Delfstoffenwinning

zandwinning

Naast de bagger- en stortactiviteiten om de vaardiepte in stand te houden, vindt in de Westerschelde ook zandwinning plaats. Bij zandwinning wordt sediment uit het estuarium verwijderd. Om het morfologische evenwicht niet te verstoren is er een maximumgrens (2,6 Mm³ per jaar) gesteld aan de te winnen hoeveelheden. Vanaf 1994 zijn geen nieuwe concessies meer uitgegeven voor de winning van zand in het mondingsgebied. De verwachting is, dat ook na 2001 geen concessies voor dit gebied zullen worden uitgegeven.

Op langere termijn kan de zandwinning een doorslaggevende rol gaan spelen in de morfologische effecten van het estuarium. In combinatie met de stijging van de zeespiegel kan dit op de langere termijn leiden tot een tekort aan sediment in het estuarium (Vroon et al, 1997).

Het is niet bekend welke concessies door de Belgische overheid worden uitgegeven. Ter plaatse van de Vlaamse banken wordt regelmatig sediment gewonnen.

schelpenwinning

In het estuarium heeft één bedrijf een vergunning om schelpen te winnen. Het betreft voornamelijk kokkels (*Cerastoderma edule*) en strandschelpen (*Spisula* soorten). Traditioneel wordt onderscheid gemaakt tussen kleischelpen en schone schelpen, dat zijn schelpen die vanuit zandafzettingen worden gewonnen. In de monding komen vrijwel uitsluitend schone schelpen voor. De schelpen worden gewonnen met een sleep- of steekhopperzuiger op een waterdiepte van 5 m tot 25 m in het Oostgat, onder Westkapelle (Stikvoort, 1999). Er moet aan de volgende voorschriften worden voldaan:

- de winning mag alleen plaatsvinden in gebieden beneden NAP -5 m;
- de winning binnen een strook van 100 meter van de waterkering of daartoe behorende kunstwerken is niet toegestaan;
- Natuurbeschermingsgebieden zijn van winning uitgesloten.

De winning van fossiele schelpen (tussen 10.000 en 1.000.000 jaar oud) vindt plaats op reeds aanwezige schelpenbanken. Deze komen vaak bloot te liggen als de stroomgeul zich verlegt. Het merendeel van de schelpen die worden gewonnen bestaat uit deze fossiele soorten.

3.4 Overige functies

kabels en leidingen.

Van Cadzand loopt een telecomkabel in noordelijke richting; deze buigt in oostelijke richting af naar Dishoek. De kabel ligt in de zeebodem.

beroepsscheepvaart, havens en industrie

Deze onderwerpen worden niet in het kader van dit werkdocument behandeld. Voor enige informatie over de scheepvaart in de monding wordt verwezen naar RIKZ, 1998

mogelijke ontwikkelingen

Momenteel bestaat een aantal plannen die invloed kunnen of zullen hebben op de ontwikkelingen in de monding. Het betreft:

- de aanleg van een containerkade langs de Westerschelde-zijde van de oostelijke havendam van Vlissingen-oost. De eerste berekeningen hebben aangetoond, dat de invloed van de kade op de morfologische ontwikkelingen gering zal zijn. Wel bestaat een mogelijk secundair effect: een optie op een verdieping van de Wielingen, zodat schepen

met een grotere diepgang de kade kunnen bereiken. Deze eventuele verdieping heeft wel een effect op de morfologische ontwikkelingen.

- de aanleg van een windmolenpark op de Vlakte van de Raan. Naar de effecten hiervan is nog geen onderzoek verricht.
- nieuwe ideeën over een extra verdieping van de Westerschelde, waardoor schepen met een grotere diepgang de haven van Antwerpen kunnen bereiken. Naar verwachting zal deze verdieping de morfologische ontwikkelingen in de monding beïnvloeden.
- de aanleg van een driehoekig eiland ten behoeve van de recreatie op de Vlakte van de Raan.

4 ECOLOGIE

4.1 Ecosysteem

Ecologisch gezien staan estuaria vrijwel overal op de wereld onder zware antropogene druk, als gevolg van de intensieve scheepvaart en visserij, landwinning, delfstoffenwinning en vervuiling. Dit geldt ook voor het Schelde estuarium. Estuaria spelen onder meer een dominante rol in de ecologie van de aangrenzende zeeën. Essentieel voor een estuarium is het zichzelf kunnen "vernieuwen". Dit gebeurt door continu opbouwen en afbreken ten gevolge van de optredende natuurlijke, fysische, chemische en biologische processen. Er ontwikkelen leefgebieden voor kenmerkende plant- en diersoorten en gradiënten. Deze cyclische processen waarborgen het duurzaam functioneren van het estuariene voedselweb.

De morfologische en chemische condities en de dynamiek en de beschikbaarheid van voedsel bepalen ter plaatse de geschiktheid of kwaliteit van de leefomgeving voor planten en dieren. Deze gebieden kunnen worden gekenschetst als: paai- en opgroeigebied, broed-, rust-, rui- en foerageergebied en in sommige gevallen uitwijkplaats voor planten of dieren (Hoogeboom et al. 1998).

De aanwezige soorten en de onderlinge relaties binnen het estuariene voedselweb vormen samen met de verschillende typen van leefgebieden een eenheid: het ecosysteem.

De volgende abiologische factoren bepalen mede of planten en dieren zich daadwerkelijk in het estuarium vestigen, of er kunnen verblijven:

- getij (stroming door eb en vloed)
- zoutgehalte en zoutdoordringing
- troebelheid (hoeveelheid slib, detritus en algen in het water)
- bodem- en waterkwaliteit
- bodemtype (vlak of reliëfrijk)
- bodemsamenstelling (gehalte aan zand en slib, aanwezigheid en type bestortingen)
- hydrodynamiek
- trofiegraad (voedselarm tot voedselrijk)
- zuurstofconcentratie
- temperatuur en klimaat

het ecologisch belang van het estuarium

De Westerschelde is het enige overgebleven estuarium in het Deltagebied en één van de weinige grote estuaria in West-Europa.

De belangrijkheid wordt nog eens onderstreept door de centrale ligging van de Westerschelde in West-Europa op het knooppunt van drie ecologische verbindingswegen:

- de trekroute voor vogels in noord-zuid richting;
- de migratieroute voor vis in oost-west richting;
- kinderkamer voor vis uit de Noordzee (Hoogeboom et al. 1998).

Twee erkende natuurgebieden staan in een rechtstreekse verbinding met de monding (tabel 2). Het Zwin strekt zich uit in Nederland en België en heeft daardoor twee beheerders.

Opgemerkt wordt, dat de monding niet is aangewezen als speciale beschermingszone op het gebied van de Europese Vogelrichtlijn.

tabel 2. Ligging erkende natuurgebieden in de monding van de Westerschelde

gebied	karakterisering	beheerder
Verdronken Zwarte Polder	Buitendijks terrein aan de Noordzee. Gevarieerd landschap van schor, duin, struwelen en strand.	Stichting "Het Zeeuwse Landschap"
Zwin	Buitendijks terrein op de grens tussen Nederland en België. Gevarieerd landschap van schor, getijgeul, duin, struwelen en strand.	Nederland: Stichting "Het Zeeuwse Landschap" België: Compagnie Het Zoute

Geomorfologische eenheden

platen en slikken (van circa NAP +2 m tot circa NAP -2 m)

Een intergetijdegebied kenmerkt zich door de dagelijkse rechtstreekse invloed van eb en vloed. Intergetijdegebieden komen alleen voor ter plaatse van de stranden en enkele kleine delen van platen. De gebieden op de droogvallende platen zijn zo klein en vallen zo kort droog dat ze nauwelijks een functie hebben als foerageergebied voor

vogels en rustgebied voor zeehonden. Een uitzondering hierop vormt het Bankje van Zoutelande, zuidelijk van Westkapelle.

Het bodemgebonden leven in de intergetijdegebieden bestaat uit algen, planten en dieren. Naast het aangevoerde en gesedimenteerde materiaal dienen deze als voedsel voor vogels, jonge vis en nabij de bodem levende dieren. Veel soorten steltlopers als scholekster, drieteenstrandloper, bonte strandloper, bontbekplevier, steenloper en tureluur, vinden hier hun voedsel.

ondiep water (NAP -2 m tot NAP -5 m)

In deze zone groeien jonge schol, tong, bot en garnalen op. De zone kan worden geschetst als de kinderkamer van het estuarium. Voedsel is er volop. De aanwezige bodemdieren leven van algen, bacteriën en het organisch materiaal, dat door de stromingen wordt aangevoerd. Het bodemleven bestaat uit wormen, schelpdieren en kleine kreeftachtigen zoals het slijkgarnaaltje en het kniksprietkreeftje.

geulen (dieper dan NAP -5 m)

De geulen zijn de transportroutes van het estuarium. Zand, slib en ander sediment en de daaraan gehechte voedingsstoffen en zware metalen vinden hun weg naar luwere plaatsen. Algen, bacteriën, dierlijk plankton, larven en zwevend organisch materiaal vormen in dit dynamische milieu elementen in het estuariene voedselweb. Vis, levend van de op en nabij de bodem levende dieren, dient weer als voedsel voor andere vissen en watervogels.

4.2 Primaire productie

De primaire productie vormt de allereerste stap in het voedselweb en is daarmee een zeer belangrijke factor voor het leven dat in en rond het water voorkomt. Voor de monding is geen onderzoek bekend. Op basis van veldkennis zal daarom op dit onderwerp nader worden ingegaan.

De belangrijkste producenten zijn: microfytobenthos en fytoplankton.

microfytobenthos

Microfytobenthos zijn eencellige algen, die voorkomen in en op het sediment van heldere, ondiepe wateren en droogvallende, niet al te geëxponeerde gebieden. In de monding komen deze gebieden weinig voor, zodat deze categorie niet van belang is.

fytoplankton

Fytoplankton zijn kleine in het water zwevende plantaardige organismen, die zich niet op eigen kracht kunnen verplaatsen.

Van Perkpolder naar Vlissingen neemt de primaire productie toe van 150 tot 300 g C/m²/jr (Kromkramp et al, 1995). De belangrijkste oorzaak hiervan is de toenemende helderheid van het water. Hierdoor kan meer licht toetreden, zodat de productie over een grotere waterdiepte kan plaatsvinden. Onderzoeksresultaten in de Westerschelde laten zien dat de primaire productie jaarlijks aanzienlijk kan fluctueren. In het westelijke deel zijn twee pieken (voorjaarspiek in mei en zomerpiek in augustus) in de productie te onderscheiden; in het oosten is één piek zichtbaar. Het Oostgat en de Wielingen lijken voor wat betreft de helderheid van het water te vergelijken met de omgeving van Vlissingen. Het is dan ook te verwachten dat de productie in deze geulen minstens zo groot zal kunnen zijn als die in de omgeving van Vlissingen en eventueel twee pieken zal vertonen. Voorwaarde hiervoor

is wel, dat voldoende nutriënten aanwezig zijn. Dit is in de kustzone zeker het geval. Voor de ondiepe gebieden (zoals de Vlake van de Raan) wordt vermoed dat door een geringere helderheid de productie wellicht wat lager zal zijn dan in de omgeving van Vlissingen.

4.3 Bodemdieren

Bodemdieren zijn een belangrijke voedselbron voor kleine en grote vissen, vogels en zeezoogdieren en vormen zo een belangrijk onderdeel van het voedselweb. De aanwezigheid van bodemdieren in een gebied is afhankelijk van een groot aantal lokale factoren, zoals waterkwaliteit, waterdiepte, voedselbeschikbaarheid, hydrodynamiek en samenstelling bodem.

Bodemdieren (zoöbenthos) kunnen worden onderscheiden naar grootte: meiobenthos (tot circa 1 mm) en macrozoöbenthos (groter dan circa 1 mm) en naar leefgebied: hyperbenthos (vlak boven de bodem levend, zoals aasgarnaal), epibenthos (op de bodem levend, zoals mosselen en krabben) en infauna (in de bodem levend, zoals wormen en kokkels).

Uit een onderzoek in de Voordelta bleken de geulen het rijkst te zijn aan bodemdieren (dichtheid meiobenthos 3000 dieren/10 cm² en macrobenthos 14.000 dieren/m²). De belangrijkste soorten zijn: nematoden, schelpdieren (zoals *Spisula subtruncata*) en wormen (zoals *Spiophanes bombyx* en *Lanice conchilega*).

Het platengebied in de Voordelta wordt gedomineerd door macrobenthische organismen als kniksprietkreeftjes (*Bathyporeia* soorten) en meiobenthische organismen als copepoden. Enkele gebieden in de monding vormen hierop biotisch gezien een uitzondering (Craeymeersch et al, ?) .

Bij een onderzoek in 1984 en 1985 werden in de gehele Voordelta 125 soorten macrozoöbenthos aangetroffen. In de monding van de Westerschelde, met hoge slibgehalten en een fijnzandige bodem en water met een hoog gehalte aan zwevende stof, kwamen relatief weinig soorten en individuen per monster voor (Seip et al, 1987). De kust van Vlissingen, de Wielingen en de kust van Zeeuws-Vlaanderen laten een grote variatie zien aan dichtheid en rijkdom aan bodemdieren (Stronkhorst, 1986).

In dynamische gebieden, zoals de monding van de Westerschelde, komen van jaar tot jaar grote verschillen voor in het aantal en de biomassa van schelpdieren (v.d. Land, 1990).

Het belang van de monding kan worden afgewogen door deze te vergelijken met de soortenrijkdom en de dichtheid aan bodemdieren per m² in de gehele Voordelta. Het blijkt (Seip et al, 1987), dat vooral ter plaatse van de Wielingen en tussen de Wielingen en de kust van Zeeuws-Vlaanderen het aantal soorten gering is (1 tot 5 soorten per monsterpunt). Het gebied noordelijk van de Wielingen is veelal rijker aan soorten (vaak meer dan 8 soorten per monster) en komt ongeveer overeen met het aantal soorten in de monding van de Oosterschelde.

De dichtheid van de bodemdieren per m² laat eenzelfde beeld zien: van de Wielingen tot de kust van Zeeuws-Vlaanderen is de dichtheid het kleinst (van 15 tot circa 150 bodemdieren per m²), noordelijk van de Wielingen is de dichtheid groter (van circa 150 tot circa 900 bodemdieren per m²), en noordelijk van de monding van de Oosterschelde is de dichtheid aanzienlijk groter (van circa 900 tot circa 3500 exemplaren per m²).

De meest algemene soorten aan de kust van Zeeuws-Vlaanderen zijn nonnetje (*Macoma balthica*) en zandzager (*Nephtys spec.*) en op de locatie Wielingen zandzager, wapenworm (*Scoloplos armiger*),

kniksprietkreeft (*Bathyporeia spec.*), de vlokreeft (*Urothoe poseidonis*) en de halfgeknotte strandschelp (*Spisula subtruncata*) (Seip et al, 1987).

In de monding komen weinig kokkels voor. Op kokkels (*Cerastoderma edule*) mag alleen in een vastgestelde periode in het najaar worden gevist. Sinds 1996 is het mechanisch vissen van kokkels aan vergunningen gebonden.

4.4 Vissen

In de eerste helft van deze eeuw nam de beroepsvisserij in het Deltagebied af door de vermindering van de populatie van bevisbare soorten, door vervuiling en door infrastructurele werken (Pieters et al, 1991). Op de Westerschelde is de beroepsvisserij nu relatief gering in omvang (RIKZ et al, 1998) en beperkt tot garnalen en platvis (tong en schol). In de monding wordt op dezelfde soorten gevist als voor de gehele Hollandse kust. Het betreft onder andere garnalen, schol, schar, bot, tong, kabeljauw, wijting, zeebaars en makreel. De visserij op garnalen is economisch gezien het belangrijkste. Garnalen komen vooral voor in ondiep water in de nabijheid van de intergetijdegebieden.

Hoewel er geen specifiek onderzoek naar is gedaan, kan worden aangenomen dat het aantal soorten vis in de monding niet wezenlijk zal afwijken van het aantal dat gevonden wordt voor de gehele Nederlandse kust.

Commerciële soorten paaien vaak in de omgeving van de Engelse kust, de plaatsen kunnen echter van jaar tot jaar verschillen.

In verband met het vermijden van overbevissing wordt jaarlijks voor verschillende vissoorten quota vastgesteld. De totale visvangst wordt hierdoor de laatste jaren beperkt.

Het economisch belang neemt niet af en is voor de gehele Voordelta voor 1996 berekend op 25 miljoen gulden. Het is niet bekend hoe groot het aandeel van de Westerschelde hierin precies is (mondelinge mededeling de heer den Hollander, visserijvereniging Kop van Goeree). Het belang van de monding van de Westerschelde is echter groter dan dat van de mondingen van de andere zeegaten (mondelinge mededeling de heer F. Lokerse, vismijn Breskens).

4.5 Kinderkamer

De kinderkamers zijn van groot belang voor vele vissoorten. Kinderkamers zijn potentieel beschikbare opgroeigebieden voor larven, jonge vis en jonge garnaal. Hierin groeien de juveniele vissoorten gescheiden van de ouderpopulatie op. De aanwezigheid van voedsel, de afwezigheid van predators en de lokale abiotische omstandigheden (zoals dynamiek, troebelheid) bepalen het succes van de kinderkamer.

Uit onderzoek (Welleman et al, 2000) is gebleken dat de Westerschelde een belangrijke functie heeft als kinderkamer voor de bodemvissen. Het onderzoek betreft het gebied tussen Bath, in het oostelijke deel van de Westerschelde en de zone waar in de westzijde van de monding de diepte van NAP -20 m wordt bereikt. De gegevens van de monding zijn echter niet afzonderlijk beschouwd.

Vooraf soorten als tong, harnasmannetje, zeedonderpad, bot, zeebaars, horsmakreel en pollak komen veel voor in deze kinderkamers. Enkele jonge pelagische soorten (haring, sprot) worden eveneens aangetroffen.

Als voor uitsluitend de commerciële vissoorten de kinderkamer van de Waddenzee wordt vergeleken met die van de Westerschelde, dan blijkt de Westerschelde veruit ondergeschikt te zijn aan de Waddenzee. De dichtheid van de juveniele tong (een belangrijke commerciële vissoort)

in het voorjaar en de zeebaars in het najaar zijn echter nergens zo hoog als in de Westerschelde.

4.6 Zeezoogdieren

Voor zeezoogdieren zijn waarnemingen beschikbaar van de gehele Voordelta en de Westerschelde tussen Vlissingen en de Belgische grens bij Doel. De waarnemingen zijn echter niet apart voor de monding gerapporteerd. In het studiegebied zijn daarom weinig waarnemingen beschikbaar over zeezoogdieren.

Vroeger kwamen regelmatig zeehonden en bruinvissen in de Westerschelde voor. Na een aanzienlijke afname van de aantallen wordt tegenwoordig weer een toename van het aantal dieren geconstateerd.

Zeehonden kunnen worden beschouwd als een indicator voor de toestand van het ecosysteem. Het Deltagebied biedt potentie voor een groter aantal dan nu aanwezig is. Hoewel het aantal zeehonden toeneemt, zijn de vervuiling van het kustwater, de invloed van de recreatie en de aanleg van afsluitdammen en compartimenteringsdammen er waarschijnlijk de oorzaak van dat deze toename toch nog beperkt is.

In de Westerschelde komen regelmatig zeehonden (1998: maximaal 19 dieren) voor. Er is hier sprake van een geleidelijke toename. In tegenstelling tot de Westerschelde, speelt de monding geen rol als rustgebied voor de zeehond omdat hier nauwelijks droogvallende platen aanwezig zijn. Uit onderzoek in de Oosterschelde is gebleken, dat er dagelijks een uitwisseling met de Voordelta voorkomt. Op grond hiervan mag verwacht worden dat in de monding ook zeehonden voorkomen, omdat er eveneens een uitwisseling zal plaatsvinden tussen de

Westerschelde en de Voordelta. Opgemerkt wordt, dat zowel bij Breskens als bij Vlissingen de laatste jaren regelmatig zeehonden worden waargenomen. Ook is er sprake van een seizoenspatroon, in de Oosterschelde verlaten de zeehonden in de winter het gebied en trekken dan naar de Voordelta. Er kan worden aangenomen dat hetzelfde geldt voor de Westerschelde.

Sinds 1985 is een toename van bruinvissen (*Phocoena phocoena*) in de Noordzee vastgesteld. Er is een ontwikkeling zichtbaar dat bruinvissen steeds zuidelijker op de Noordzee voorkomen. Sinds 1995 worden ze regelmatig aangetroffen in de omgeving van de Zeeuwse delta (Witte et al, 1998). Zo is in de omgeving van Terneuzen een bruinvis gesignaleerd (mondelinge mededeling Richard Witte). De toename van het aantal voorkomende bruinvissen blijkt ook uit de toename van het aantal aangespoelde dieren op het strand.

Ook in de monding van de Westerschelde zijn incidenteel bruinvissen gesignaleerd. De dichtheid van de bruinvissen is vooral in de periode februari-maart het grootst landwaarts van de dieptelijn van NAP -20 m. Vanaf april lijken ze zich vooral op te houden buiten deze zone. De laatste jaren worden tijdens waarnemingen vanuit een vliegtuig, steeds vaker enkele bruinvissen in de monding aangetroffen.

4.7 Vogels

Het mondingsgebied van de Westerschelde vormt enerzijds het zuidelijk deel van de Voordelta en anderzijds de meest westelijke uitloper van de Westerschelde.

De belangrijkste ornithologische functie van het gebied is die van foerageergebied voor sterns (Arts et al, 1995). De broedgebieden van deze sterns liggen zowel in het havengebied van Zeebrugge als op de

Hooge Platen (Meininger et al, 1997 en Meininger et al, 1999). De grote stern foerageert vooral aan de zeezijde van het gebied, de visdief langs de randen van de geulen en op de Vlake van de Raan. Het gebied vormt ecologisch één geheel met die broedplaatsen en kan derhalve worden beschouwd als gebied van internationale betekenis.

Buiten het broedseizoen foerageren verschillende soorten meeuwen in het gebied. Het meest specifiek is het overwinteren van kleine aantallen Dwergmeeuwen (Baptist et al, 1996 en Witte et al, 1998). Het is onduidelijk waarom het gebied deze functie vervult. De Vlake van de Raan vormt tezamen met de Vlaamse Banken een overwinteringsgebied voor zwarte zee-eenden (Baptist et al, 1996, Offringa et al, 1995). Ook vindt uitwisseling plaats met de groepen zee-eenden in noordelijker delen van de Voordelta. De plaatsen waar deze dieren in de winter verblijven varieert van jaar tot jaar, omdat de plaatsen waar schelpenbanken voorkomen jaarlijks verschillen. Langs de stranden van het gebied overwinteren behoorlijke aantallen drieteenstrandlopers en steenlopers, terwijl op de strekdammen langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen en op de verharde glooiingen bij Westkapelle relatief veel Paarse Strandlopers voorkomen (Baptist et al, 1996).

De functie als broedgebied als broedgebied is gering. In het Zwin bevinden zich kolonies van Zwartkopmeeuwen, Kokmeeuwen, Zilvermeeuwen, Kleine Mantelmeeuwen en Visdief. In de Verdrongen Zwarte Polder en het aangrenzende strand broeden een gering aantal kluten, Bontbekplevieren en Strandplevieren (persoonlijke mededeling P. Meininger).

5 HYDRODYNAMIEK

De beweging van de watermassa en het water ontstaat doordat hierop een aantal krachten aangrijpen, zoals de aantrekkingskracht van verschillende hemellichamen, de gravitatie, de draaiing van de aarde en de windkracht.

Het getij wordt opgewekt door de aantrekkingskracht van de zon en vooral de maan op de watermassa van de om zijn as draaiende aarde. De golven ontstaan door de invloed van de wind op het wateroppervlak. Het getij en de golven zijn de belangrijkste componenten bij de migratie van geulen en de veranderingen van de positie en hoogte van platen en slikken.

5.1 Stroming en waterstand

Per etmaal treden twee getijcycli op. Elk getij stroomt circa 2,2 miljard m³ water bij Vlissingen het estuarium in en uit. Tweemaal per maand treedt een doottij-springtij cyclus op. Het niveau van hoogwater en laagwater vertoont hierdoor elke dag een stijging of daling ten opzichte van de voorgaande dag. Het gemiddelde getijverschil bij Westkapelle is circa 3,36 m. Dit verschil wordt landinwaarts groter; bij Vlissingen is het verschil opgelopen tot circa 3,86 m (tabel 3). Het verloop van de doottij-springtij cyclus staat voor Vlissingen weergegeven in figuur 5.1. Het betreft de astronomische getijkromme, dat wil zeggen een theoretische kromme zonder het effect van waterstandsverschillen door de invloed van de wind. Door de dagelijks optredende verschillen in waterstand wordt ook de hoeveelheid water, die dagelijks de Westerschelde in- en uittrekt, beïnvloed.

tabel 3. Hoogwater- en laagwaterstanden in m t.o.v. NAP

locatie	gemiddeld getij		springtij		doodtij	
	HW	LW	HW	LW	HW	LW
Westkapelle	+ 1,79	- 1,57	+ 2,16	- 1,75	+ 1,34	- 1,29
Vlissingen	+ 2,05	- 1,81	+ 2,43	- 2,04	+ 1,55	- 1,47
Cadzand	+ 1,95	- 1,74	+ 2,36	- 1,99	+ 1,45	- 1,39

De stroming ontstaat in hoofdzaak door de getijbeweging. De natuurlijke veranderingen in de morfologie worden door de stroomsnelheid en golfbeweging geïnduceerd. Tijdens vloed wordt het estuarium gevuld door de trechtervormige opening. Het water wordt als het ware in het estuarium geduwd; er treedt een grotere stroomsnelheid op waardoor het water van alle zijden kan toestromen. Hierdoor ontstaan relatief ondiepe vloedscharen langs de zijkanten van de trechter (figuur 5.2). Tijdens de ebphase stroomt het water weer uit het estuarium. De waterstroom komt dan in een steeds breder wordend bekken. In zo'n situatie heeft de stroming de neiging rechtdoor te lopen. Zo ontstaat een diepe van oost naar west lopende ebgeul. Met het door de ebstroom meegevoerde sediment is in de loop van de eeuwen de Voordelta opgebouwd. Door de rotatie van de aarde trekt de getijgolf de Noordzee rond.

Hierdoor treden faseverschillen op tussen de getijbewegingen in de (voormalige) estuaria. Tengevolge van de optredende verschillen in

waterhoogte zijn kortsluitgeulen ontstaan langs de koppen van de eilanden. Dit fenomeen treedt ook op in de monding.

Door de ebstroom wordt sediment zeewaarts en door de vloedstroom en de brandingsstroom landwaarts getransporteerd (figuur 5.2). Dit laatste gebeurt door de brandingsstroom langs de flanken van Walcheren en Zeeuws-Vlaanderen en door het transportmechanisme van golven in ondiep water over het platengebied. Door het transport over de platen groeien deze in het algemeen langs de oostzijde aan. Een indicatie van de optredende stroomsnelheden is in tabel 4 aangegeven.

tabel 4. Optredende gemiddelde stroomsnelheden tijdens springtij in cm/s in de laag van 0 tot 5 m beneden het wateroppervlak

locatie\tijd t.o.v. HW	HW-6h	HW-4h	HW-2h	HW	HW+2h	HW+4h	HW+6h
Wielingen Cadzand	72	5	102	82	26	108	51
Oostgat Westkapelle	46	118	82	0	87	57	0
Vlakte van de Raan	57	62	77	46	72	41	36

Het sedimenttransport is evenredig met een vierde of vijfde macht van de stroomsnelheid, zodat kleine verschillen in stroomsnelheid een aanzienlijk gewijzigd sedimenttransport kunnen veroorzaken. Het verruimen van geulen beïnvloedt de verhoudingen van de waterbeweging door de geulen. Hierdoor wordt ook de in de geul optredende stroomsnelheid beïnvloed, hetgeen weer een gewijzigd

sedimenttransport veroorzaakt. Als gevolg hiervan ontstaan veranderingen in de morfologie.

In de monding is een vergroting van het getijverschil vastgesteld van 4% per eeuw (Kornman, 2000). De oorzaak hiervan is niet vastgesteld; vermoed wordt dat deze vergroting een gevolg is van de combinatie van zeespiegelstijging en de werken die zijn uitgevoerd in het kader van het Deltaplan. Voorts is voorspeld, dat ten gevolge van het broeikaseffect het getij op de Noordzee zal veranderen ten gevolge van een algemene zeespiegelstijging van 0,20 m/eeuw tot maximaal 0,80 m/eeuw (Rijkswaterstaat, 1990). De aangegeven vergroting van het getijverschil zal zich hierdoor naar verwachting voortzetten.

5.2 Golven

De optredende golfhoogte en -periode is van belang voor de scheepvaart en voor de veiligheid tegen overstromen.

duinen en dijken

De golfhoogte en daarmee ook de golfbelasting, is bij de diverse dijkvakken verschillend. Dit hangt onder andere af van het patroon van geulen en ondieptes tussen de Noordzee en het dijkvak, de strijklengte over het water en de oriëntatie ten opzichte van maatgevende windrichtingen, de opwaaiing, etc.

In het kader van de noodzaak de sterkte van de dijken en duinen te toetsen, is in opdracht van het projectbureau Zeeweringen berekend welke golven hiervoor als uitgangspunt moet worden genomen. Berekend zijn de golven gebaseerd op een kans van voorkomen van 1 maal per 4000 jaar. Als basis hiervoor is uitgegaan van een golfhoogte

aan de offshore rand van 8,16 m en een piekperiode van 13 seconde. Met behulp van het model SWAN is de maatgevende golfhoogte en periode (de tijd tussen twee golftoppen) voor de kust bepaald. De plaats waar deze maatgevende golf optreedt is voor een dijk ter hoogte van de teen van de dijk en voor een strand/duin ter hoogte van de dieptelijn van NAP -10 m (Kamsteeg, 1998). Hierdoor is de golfhoogte bij een duin veelal hoger dan bij een dijk.

De variatie in maatgevende golfhoogte blijkt groot te zijn. Voor de zone tussen Vlissingen en Westkapelle varieert deze tussen 1,50 m (bij Zoutelande) en 4 m (bij Vlissingen en Westkapelle); de meest voorkomende golfhoogte ligt tussen 2 m en 3 m. Voor de zone tussen Breskens en de Belgische grens varieert de maatgevende golfhoogte tussen 2 m en 4 m (bij Breskens); de meest voorkomende golfhoogte ligt hier tussen 2,5 m en 3 m. Bij het landinwaarts gelegen Zwin en de Verdrongen Zwarte polder is de maatgevende golfhoogte 0,50 m. De golfperiode varieert tussen 7 en 12 seconde.

ondiepe gebieden

In de ondiepe gebieden werken golven en getijstroom samen aan het verplaatsen van sediment. De rechtstreekse golfaanval op het oppervlak van de platen, strand en slikken veroorzaakt opwoeling van het sediment. Door de aanwezige getijstroom wordt dit opgewoelde sediment getransporteerd en treedt erosie op. Langs de randen van platen en langs de kust wekken golven een brandingsstroom op, waardoor eveneens sediment wordt verplaatst.

6 MORFOLOGIE

morfologische ontwikkelingen vanaf 1800

Als grootschalig over een lange periode naar de geometrie wordt gekeken, is de monding vrij stabiel. Op de middellange termijn echter, vinden wel allerlei morfologische ontwikkelingen plaats. Het betreffen min of meer autonome ontwikkelingen en ontwikkelingen die (zijn) ontstaan door de aanleg van de haven van Zeebrugge en het verdiepen van geulen.

Rond 1800 waren er 3 hoofdgeulen in de monding van de Westerschelde: de Wielingen, het Oostgat en de Deurloo. Daarvan zijn alleen de Scheur/Wielingen en het Oostgat overgebleven. De Wielingen en het Oostgat speelden in het begin van 1900 een minder belangrijke rol dan tegenwoordig.

Tot 1930 was de Deurloo één geul en vormde de centrale hoofdgeul van de monding. In 1930 wordt de aanzet tot splitsing van de Deurloo in een oostelijk en westelijk deel gegeven. Omstreeks 1970 is de splitsing voltooid en is er via de Deurloo geen directe verbinding meer tussen de monding en de Noordzee. Wel liggen de Deurloo-Oost en de Geul van de Rassen in elkaars verlengde (kaart 1), evenals de Deurloo-west en de Geul van de Walvischstaart.. (Kornman et al, 2000).

sedimentbalans

Uit de grootschalige sedimentbalans van de monding (van der Slikke, 1998) blijkt dat:

- tussen 1970 en 1975 het zandvolume in de monding toeneemt met 64 Mm³. Hiervan komt 35 Mm³ uit de Westerschelde en wordt 12 Mm³

gestort. Dit betekent dat er 17 Mm³ uit de aangrenzende gebieden van de Noordzee is geïmporteerd.

- tussen 1975 en 1980 het zandvolume in de monding met 41 Mm³ afneemt. De Westerschelde importeert 6 Mm³ en er wordt 12 Mm³ gestort. Dit betekent dat er 47 Mm³ naar de aangrenzende gebieden van de Noordzee is geëxporteerd.
- tussen 1980 en 1985 het zandvolume in de monding met 80 Mm³ afneemt. De Westerschelde exporteert 10 Mm³ en er wordt 13 Mm³ gestort. Dit betekent dat er 103 Mm³ naar de aangrenzende gebieden van de Noordzee is geëxporteerd.
- tussen 1985 en 1990 neemt het zandvolume in de monding met 2 Mm³ toe. De Westerschelde exporteert 0 Mm³ en er wordt 27 Mm³ gestort. Dit betekent dat er 25 Mm³ naar de aangrenzende gebieden van de Noordzee is geëxporteerd. (Kornman et al, 2000).

Momenteel is onduidelijk hoe de ontwikkelingen zich in de toekomst zullen gaan voltrekken. Onlangs is er een omslag vastgesteld van import naar export, echter, de kuberingen die hieraan ten grondslag liggen, vertonen jaarlijks grote verschillen waardoor het nog niet mogelijk is een reële trend vast te stellen. (Kornman et al, 1999).

Langs de Belgische en Nederlandse kust is een patroon van zandgolven zichtbaar. Dit beïnvloedt lokaal sterk de ontwikkeling op de lange termijn (Lambeek, 1991). Het effect hiervan op de gemiddelde kustlijnverplaatsing van grote kustvakken is gering.

6.1 Bodemontwikkelingen

Kust van België en Zeeuws-Vlaanderen

Dit gebied bestaat voornamelijk uit een grote ondiepte, de Paardenmarkt en een kleine geul, de Appelzak (kaart 1). De kustlijn wordt op de grens tussen Nederland en België onderbroken door een slufte: het Zwin.

Het gebied is in de loop der tijd sterk beïnvloed door de aanleg (1906) en de uitbreiding (1986) van de haven van Zeebrugge en de baggerwerkzaamheden om de vaargeul (Scheur/Wielingen) en de haven van Zeebrugge op diepte te houden.

Voor de aanleg van de haven van Zeebrugge liep langs de Belgisch-Nederlandse kust een vloedgeul, de Appelzak. Door de aanleg van de havendammen is deze vloedstroom onderbroken. Tegenwoordig is de Appelzak eb gedomineerd en loopt de geul alleen langs het Belgische deel van de kust. De geul migreert in landwaartse richting, maar wordt door de (verlengde) strandhoofden enkele honderden meters uit de kust gehouden. De resterende ebgeul langs de Nederlandse kust was tot de uitbreiding van de haven van Zeebrugge aan sedimentatie onderhevig. Na de uitbreiding van de haven van Zeebrugge is de geul gaan eroderen.

Ten noorden van de havendammen zijn grote ontgrondingskuilen ontstaan. Ten oosten en ten westen van de havendammen vindt, vlak naast de dammen, sedimentatie plaats. Ten oosten van de havendammen ontstaat een vloedschaar door de Paardenmarkt.

Door het storten van sediment uit de haven van Zeebrugge neemt de Paardenmarkt in hoogte toe en breidt in noordelijke en oostelijke richting uit. De zuidflank van de Scheur/Wielingen verondiept.

Door de uitbouw van de haven van Zeebrugge is de stroming in een gebied van ongeveer 100 km² veranderd.

Langs de kust loopt een door golven opgewekte brandingsstroom in noordoostelijke richting. Het Zwin is aan het verlanden, gevoed door de brandingsstroom. Dit proces is al eeuwen aan de gang (Kornman et al, 2000).

De Belgische kust is aan erosie onderhevig. Om deze erosie te compenseren zijn veel strandsuppleties uitgevoerd, de meeste in samenhang met de uitbreiding van de haven van Zeebrugge

Tussen Cadzand en de Verdrongen Zwarte Polder is de Nederlandse kust aan erosie onderhevig. Voor het behouden van de veiligheid tegen overstromen zijn in het verleden strandhoofden aangelegd, die later werden verlengd en verbeterd. Tegenwoordig wordt hier eveneens periodiek gesuppleerd om de optredende erosie te compenseren.

zuidwest kust van Walcheren

Het gebied omvat de geulen en banken ingesloten door de kust van zuidwest Walcheren en de lijn oostelijk van de Geul van de Walvischstaart en de Deurloo-west (kaart 1).

De kust van zuidwest Walcheren is voor het grootste deel beschermd door paalhoofden loodrecht op de kust en harde bolwerken bij Westkapelle en Vlissingen.

Omstreeks 1900 bestond de Rassen uit een grote ondiepte tussen de Deurloo-oost, het Oostgat en de Noordzee. Berekeningen hebben aangetoond dat door het verruimen van de Scheur/Wielingen het getij door het Oostgat is afgenomen. De opbouwende kracht van de Rassen is daardoor afgenomen. Dit proces is mogelijk de oorzaak van de in de loop van de tijd afgenomen omvang van de Rassen. Vanwege de

kleinere omvang van de Rassen is een kortsluitgeul ontstaan tussen de Deurloo-oost en het Oostgat, de Geul van de Rassen. Hierdoor is de verbinding van de Rassen met het Bankje van Zoutelande verbroken. De afgelopen twintig jaar is de Rassen in oostelijke en noordelijke richting gemigreerd, waardoor de geul van de Rassen aan de noordzijde is versmald en in de richting van de kust is opgeschoven (Kornman et al, 2000).

Het noordelijke deel van het Oostgat, de Rassen, de noordelijke uitloop van de Geul van de Rassen en het bankje van Zoutelande zijn de laatste decennia in noordoostelijke richting gedraaid. Deze draaiing is sterker naarmate de gebieden verder van de kust liggen. De Nolleplaat en de Sardijngeul liggen in de buurt van het draaipunt. Deze ontwikkeling heeft mogelijk te maken met de teloorgang van de Deurloo. Omstreeks 1970 is de Deurloo in twee geulen gesplitst: Deurloo-west en Deurloo-oost. Door de druk van de Geul van de Rassen wordt het noordelijke deel van het bankje van Zoutelande smaller. Het is onduidelijk waarom de smalle noordelijke punt van het Bankje van Zoutelande in stand blijft, wel is bekend dat op de huidige locatie sinds twee eeuwen een ondiepte aanwezig is.

Het Oostgat wordt in zijn migratie richting de kust sterk belemmerd door de resistente geologische ondergrond. De geologische laag en de kustverdedigingen zijn er waarschijnlijk de oorzaak van dat de migratie van het Oostgat naar de kust wordt beperkt.

Ten behoeve van de veiligheid tegen overstromen wordt ter compensatie van de alom optredende erosie regelmatig op de stranden zand gesuppleerd. Hierdoor is het mogelijk de basiskustlijn op zijn plaats te houden. Het diepere deel van de vooroever (dieper dan NAP - 10 m) blijft echter eroderen.

Scheur/Wielingen

Dit deel bestaat uit drie hoofdgeulen, de Wielingen, het Scheur en de Pas van 't Zand. Deze geulen zijn de belangrijkste toegangsgeulen voor scheepvaart naar de haven van Zeebrugge en naar de Westerschelde.

De morfologische ontwikkelingen die optreden in dit geulensysteem worden gedomineerd door baggerwerkzaamheden. Sinds deze omstreeks 1960 in het Scheur gestart zijn, is de Scheur/Wielingen eb gedomineerd. Na de verbinding van de Wielingen met het Scheur is het westelijke deel van de Wielingen noordelijker komen te liggen. Het oostelijke deel van de Wielingen migreert in zuidelijke richting, waardoor de geul een kleine meander vertoont. De baggerwerkzaamheden die in de Wielingen zijn verricht, zijn hiervan mogelijk de oorzaak. Omdat het centrale deel van de Wielingen wordt verdiept, wordt het debiet door de geul groter waardoor de geulomvang toeneemt. De laatste decennia heeft zich een verdieping en verbreding van de Wielingen voltrokken ter hoogte van het deel westelijk van de Paardenmarkt. Ter hoogte van het centrale deel van de Paardenmarkt is een versmalling van de geul ontstaan als gevolg van de stortingen op de Paardenmarkt. De verdieping van het Scheur is volledig toe te schrijven aan de uitgevoerde baggerwerkzaamheden. Hierdoor is sinds 1971/1972 ook een vervroeging van het getij bij Vlissingen ontstaan van ca. 2 minuten. De migratie van het Scheur en het westelijk deel van de Wielingen worden vertraagd door een resistente laag Boomse klei (Kornman et al, 2000).

De Pas van 't Zand is uitgebaggerd na de uitbreiding van de haven van Zeebrugge. Het merendeel van het vrijgekomen sediment (75%) is gestort op de Droogte van Schooneveld. Door de uitbreiding van de haven en het uitdiepen van de geul is de resultante van het sedimenttransport in het gebied voor de haven veranderd van een eb-naar een vloedoverschot.

Raan

De Raan is het grootste deelsysteem in de monding. Het bevat de Vlake van de Raan, inclusief de Droogte van Schooneveld en de geulen Spleet, Geul van de Walvischstaart en de Deurloo-west. Aan de noordwest rand wordt het gebied begrensd door de Noordzee. De Vlake van de Raan en de geulen Deurloo-west en Walvischstaart zijn in de laatste 30 jaar redelijk stabiel. Deze laatste twee geulen zijn in noordwestelijke richting gemigreerd door de splitsing van de Deurloo. De grootste veranderingen van deze geulen zijn in de 19e eeuw en in het begin de 20e eeuw opgetreden. Dit heeft ook veranderingen in de Spleet veroorzaakt.

De huidige Spleet is het restant van de oude, omvangrijkere geul. Door het verdiepen van de Wielingen is de Spleet sterk in omvang afgenomen. De stroomtrekkende functie is overgenomen door het Scheur. Voor zover gesproken kan worden over een meergeulen stelsel in de Raan, neigt het systeem naar een één-geulsysteem door de teloorgang van het Spleet.

De noordwestrand van de Raan erodeert als gevolg van golfaanval vanuit de Noordzee. De zuidwest punt bouwt uit door de stortingen van sediment uit de haven van Zeebrugge en scheepvaartgeulen (Kornman et al, 2000).

De functie van het bankengebied de Raan als golfbreker is erg belangrijk voor de achterliggende kusten en de ingang van de Westerschelde.