

Raadgevende Ingenieurs

Witteveen

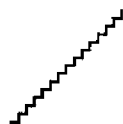
Bos

water

infrastructuur

milieu

bouw



Rijksinstituut voor Kust en Zee

**eindverslag
waterbeweging en morfologie van
slikken in de Westerschelde**

Witteveen+Bos

Raadgevende Ingenieurs b.v.

Van Twickelostraat 2

postbus 233

7400 AE Deventer

telefoon 0570 89 79 11

teletax 0570 89 73 44

eindverslag

waterbeweging en morfologie van slikken in de Westerschelde

registratie	projectcode	status
J:\seowrap-61.88	Rw537.2	definitief
projectleider	projectdirecteur	datum
Ir. S.T. Pwa	Ir. C.J. van Hassel	98-04-01

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	Ir. S.T. Pwa	

Witteveen+Bos

Raadgevende Ingenieurs b.v.

Van Twickelostraat 2

postbus 233

7400 AE Deventer

telefoon 0570 69 79 11

telex 0570 69 73 44



De kwaliteitssystemen van Witteveen+Bos zijn gecertificeerd volgens
NEN-EN-ISO 9001

© Witteveen+Bos Raadgevende Ingenieurs b.v.

Niets uit dit bestek/drukwerk mag worden vervaelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van Witteveen+Bos Raadgevende Ingenieurs b.v., noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

INHOUDSOPGAVE

1. INLEIDING	1
1.1. Algemeen	1
1.2. Leeswijzer	1
2. PROJECTBESCHRIJVING	2
2.1. Doelstelling	2
2.2. Aanpak	2
2.3. Beschikbaar materiaal	2
2.4. Data-analyse	3
2.4.1. Inleiding	3
2.4.2. Presentatie van veldgegevens	3
3. ZUIDGORS	5
3.1. Inleiding	5
3.2. Gebiedsomschrijving	5
3.3. Profielvorm	5
3.4. Samenstelling sediment	5
3.5. Bathymetrische ontwikkelingen	6
3.6. Wind	6
3.7. Waterstanden	7
3.8. Stroming	7
3.9. Golven	9
4. PAULINAPOLDER	11
4.1. Inleiding	11
4.2. Gebiedsomschrijving	11
4.3. Profielvorm	11
4.4. Samenstelling sediment	11
4.5. Bathymetrische ontwikkelingen	12
4.6. Wind	12
4.7. Waterstanden	12
4.8. Stroming	12
4.9. Golven	13
5. BATH	15
5.1. Inleiding	15
5.2. Gebiedsomschrijving	15
5.3. Profielvorm	15
5.4. Samenstelling sediment	15
5.5. Bathymetrische ontwikkelingen	16
5.6. Wind	16
5.7. Waterstanden	17
5.8. Stroming	17
5.9. Golven	18
6. WAARDE	20
6.1. Inleiding	20
6.2. Gebiedsbeschrijving	20
6.3. Dwarsprofiel	20
6.4. Samenstelling sediment	20
6.5. Bathymetrische ontwikkelingen	21
6.6. Wind	21
6.7. Waterstanden	22
6.8. Stroming	22
6.9. Golven	24

INHOUDSOPGAVE

7. SCHEEPSINVLOED	26
7.1. Inleiding	26
7.2. Theoretische beschouwing	26
8. GEBIEDSVERGELIJKING	28
8.1. Gebiedskenmerken	29
8.2. Bodemontwikkelingen	30
8.3. Kenmerken van het slik	30
8.3.1. Dwarsprofiel	30
8.3.2. Bodemsamenstelling	30
8.4. Kenmerken die een verandering weergeven	31
8.4.1. Laag gelegen deel van het slik	31
8.4.2. Hoog gelegen deel van het slik	34
8.4.3. Golven	34
8.5. Stortlocaties	36
9. HYPOTHESEN EN STELLINGEN	37
10. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	41
10.1. Golven	41
10.2. Stroming	42
10.3. Erosie	43
10.4. Aanbevelingen	44
LITERATUURLIJST	
laatste bladzijde	45

1. INLEIDING

1.1. Algemeen

In opdracht van het Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ heeft Witteveen + Bos Raadgevende Ingenieurs b.v. een analyse uitgevoerd van hydraulische, sedimentologische en morfologische veldgegevens met betrekking tot een viertal gebieden langs de oever van de Westerschelde waar slikken en schorren voorkomen. Deze analyse vormt het tweede deel van een in totaal drie delen tellend onderzoekprogramma dat wordt uitgevoerd in het kader van het project OEVERS.

In het eerste deel van het onderzoekprogramma, uitgevoerd in 1996, zijn metingen verricht op een viertal slikken langs de Westerschelde. De meetgegevens zijn uitgewerkt en gerapporteerd door Koster Engineering (zie lft. [1]).

De studie in het tweede deel van het onderzoekprogramma wordt in het voorliggende document behandeld. Het doel ervan is de meetgegevens te analyseren teneinde inzicht te verwerven in de processen die mogelijk ten grondslag liggen aan de erosie van slikken en schorren. Hierbij worden hypothesen en stellingen getoetst welke vooraf zijn opgesteld door het Rijksinstituut voor Kust en Zee (zie lft. [2]). De stellingen vormen handvatten voor de beeldvorming van de morfologische processen van de beschouwde slikken in de Westerschelde en in het bijzonder het erosieve gedrag van deze gebieden. De onderhavige studie dient als basis voor het project OEVERS. In opdracht van RWS directie Zeeland wordt onderzoek verricht naar de haalbaarheid van verdedigingen die de erosie van de randen van de schorren kunnen voorkomen of beperken (project Lamsoor).

De analyse is uitgevoerd door Ir. S.T. Pwa, Ir. T.J. Zitman en Ir. A. van der Sar. De leden van de begeleidende groep, werkzaam bij Rijksinstituut voor Kust en Zee, zijn Ing. J. Consemulder, drs. D.J. de Jong en drs. B.A. Kornman en werkzaam bij RWS directie Zeeland is drs. K. Storm.

1.2. Leeswijzer

In het volgende hoofdstuk wordt het project beschreven. De beschikbare meetgegevens van de individuele slikken bij Zuidgors, Paulinapolder, Bath en Waarde worden achtereenvolgens in de hoofdstukken drie tot en met zes geanalyseerd. Het onderwerp scheepsgolven wordt separaat in hoofdstuk zeven behandeld. In hoofdstuk acht worden de slikken onderling vergeleken voor wat betreft de morfologische, hydraulische en gebiedskenmerken. In hoofdstuk negen worden de stellingen van het RIKZ getoetst aan de bevindingen van de analyses van het veldonderzoek. Tenslotte worden in het laatste hoofdstuk conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan voor nader onderzoek.

2. PROJECTBESCHRIJVING

2.1. Doelstelling

Het onderzoek heeft ten doel aan de hand van analyse van beschikbare meetgegevens inzicht te verkrijgen in de processen die mogelijk ten grondslag liggen aan de erosie van vler onderzoeksgebieden. Deze gebieden zijn de slikken en randen van de schorren bij Zuidgors, Paulinapolder, Bath en Waarde (zie afb. 2.1). Op basis van de analyse worden hypothesen en stellingen getoetst welke vooraf zijn opgesteld door het Rijksinstituut voor Kust en Zee (zie lit. [2]).

Centraal in het onderzoek staan:

- de hydraulica en morfologie op het slik;
- het verband tussen de vorm van het profiel van het slik enerzijds, en de hydraulica en morfologie anderzijds;
- de invloed van scheepsgolven op de hydraulica en morfologie;
- de invloed van stortlocaties op de morfologie.

2.2. Aanpak

De aanpak van het onderzoek is een zuiver analytische beschouwing van meetgegevens en aanvullende gegevens. Fysische modelvorming en numeriek modelonderzoek vallen buiten het kader van dit onderzoek. Aan de hand van de data analyse dient inzicht te worden verkregen in de waterbeweging (golven en stroming) en het gedrag van het sediment op de slikken en aan de randen van de schorren. De ideeën die hierover bestaan zijn vervat in hypothesen en stellingen die aan de hand van dit onderzoek bevestigd dan wel verworpen moeten worden.

2.3. Beschikbaar materiaal

Het onderzoek is gebaseerd op de volgende data gemeten in 1996 op de slikken bij Zuidgors, Paulinapolder, Bath en Waarde gedurende 2 weken (lit.[1]):

- metingen van profielen van de slikken;
- metingen van waterstanden;
- metingen van windsnelheid en -richting;
- metingen van stroomsnelheid en -richting;
- gemeten maximale golfhoogten alsmede de daarop gebaseerde significante golfhoogten en golfperiode. De golfrichting is niet gemeten.

De golfhoogte is bepaald na 'smoothing' van het tijdsafhankelijke signaal van de waterstand. Als ondergrens geldt dat vanuit de karakteristiek van de meetapparatuur de golven met een golfperiode kleiner dan 2 s uit de gegevens zijn gefilterd en verwijderd. Als bovengrens omvat een filtering van golven met een periode die klein is ten opzichte van de periode van scheepsgolven.

De slikken bij Zuidgors, Bath en Waarde zijn opgedeeld in twee deelgebieden; een oostelijk en een westelijk deel. Per deelgebied zijn op een vijftal locaties op het slik metingen verricht. Op het slik bij Paulinapolder zijn op totaal vijf locaties metingen uitgevoerd.

In tabel 2.1 wordt een samenvatting van de perioden waarin op de deelgebieden van de slikken bovenstaande metingen zijn verricht.

Tabel 2.1 Meetperioden op de deelgebieden van de slikken

locatie	meetperiode
Bath-oost	7 mei t/m 20 mei
Bath-west	10 juni t/m 23 juni
Waarde-oost	25 juni t/m 9 juli
Waarde-west	9 juli t/m 31 juli
Zuidgors-oost	9 sept. t/m 23 sept.
Zuidgors-west	23 sept. t/m 8 okt.
Paulinapolder	14 okt. t/m 30 okt.

Daarnaast is gebruik gemaakt van het volgende materiaal:

- metingen van de bodemsamenstelling;
- stroombaanmetingen op en nabij de slikken;
- verschilkaarten van de slikken voor een drietal perioden, te weten 1982-1990, 1990-1996 en 1992-1996;
- kaarten van de opbouw van de schorren en de schorranden in 1993 en 1996;
- meerjarige opname van bodemhoogte;
- diverse bathymetrische opnames;
- transportpaden bepaald aan de hand van McLaren analyse;
- de locaties van fixatie van geulwanden;
- stortlocaties in de Westerschelde;
- scheepvaartroutes in de Westerschelde;
- verdeling van de jaarlijks gemiddelde windsnelheid over de Westerschelde;
- aanvullende rapporten van relevante onderzoeken naar de morfologie en scheepvaart.

De gegevens van scheepspassages ten tijde van de metingen ontbreken.

2.4. Data-analyse

2.4.1. Inleiding

In de volgende hoofdstukken worden achtereenvolgens de data van de slikken bij Zuidgors, Paulinapolder, Bath en Waarde geanalyseerd. De analyse van veldgegevens is gericht op de herkenning van patronen in en relaties tussen bemeeten grootheden; waar relevant heeft dit plaatsgevonden tegen de achtergrond van de heersende windcondities ten tijde van de metingen.

2.4.2. Presentatie van veldgegevens

Voor de analyse is gebruik gemaakt van bestanden waarin de gecorrigeerde meetreeksen zijn opgenomen en van de grafische weergave van de gegevens van Koster Engineering (lit. [1]). In aanvulling hierop is voor de analyse programmatuur in Matlab 4.2c.1 ontwikkeld om meetresultaten op de volgende wijze te presenteren.

Als eerste aanvullende grafische weergave wordt het gemeten signaal uitgezet tegen de zogeheten relatieve getijfase. Deze is als volgt gedefinieerd. Het tijdvak waar de waarnemingen betrekking op hebben, wordt verdeeld in stukken van 12,42 uur. Dat is gelijk aan 44.700 sec., wat overeenkomt met de periode van een dubbeldaags getij zoals dat langs de Nederlandse kust wordt aangetroffen. Elk stuk komt dus overeen met één getijcyclus. Zodoende kan van elke waarnemingen worden aangegeven in welke getijcyclus deze valt. De relatieve fase geeft aan welke fractie van die cyclus is verlopen op het moment waar de waarnemingen betrekking op hebben. Op deze manier kan het moment van waarnemen worden geschreven als de combinatie van een volgnummer van een getijcyclus en een relatieve getijfase.

De nummering van de getijcyclus is zo gekozen dat de vroegste waarneming uit een reeks steeds in de eerste cyclus valt. De bijbehorende relatieve fase is arbitrair. De keuze hiervoor is zodanig dat de karakteristieken van het te analyseren meetsignaal zo goed mogelijk in de grafische presentatie tot uiting komt. Overigens wordt de relatieve fase alleen voor de vroegste waarnemingen gekozen; voor alle andere waarnemingen ligt de relatieve fase daarmee vast.

De tweede soort grafische presentaties is gericht op identificatie van relaties tussen meetsignalen onderling. Elke presentatie bestaat uit vier grafieken die als een 2*2 matrix zijn weergegeven. De grafiek links boven is een correlatie-diagram. Elk punt heeft betrekking op simultane waarneming van de grootheden die langs de beide assen van de grafiek zijn uitgezet.

De grafiek rechts boven laat zien hoe de waarnemingen verdeeld zijn in de tijd. Elke horizontale lijn uit deze grafiek staat voor één getijcyclus. Langs zo'n lijn verloopt de relatieve getijfase van links naar rechts van 0 tot 1. Gezien vanaf zo'n lijn staat elk verticaal streepje naar boven voor een moment waarop een waarneming is gedaan aan de grootheid die in het correlatie-diagram langs de horizontale as is uitgezet. Op dezelfde manier staat een verticaal streepje naar beneden voor een moment van waarneming aan de grootheid die langs de verticale as van het correlatie-diagram is uitgezet. Een doorgetrokken streep van boven tot onder de lijn geeft een simultane waarneming aan.

Vaak zijn er aan de grootheid die in het correlatie-diagram langs de horizontale as is uitgezet, meer waarnemingen gedaan dan alleen in combinatie met de andere beschouwde grootheid. De verdeling van deze waarnemingen over het bereik van de meetwaarden, is weergegeven in het staafdiagram links onder. Op soortgelijke manier heeft het staafdiagram rechts onder betrekking op de grootheid die in het correlatie-diagram langs de verticale as is uitgezet.

Tot slot wordt opgemerkt dat voor de volledigheid, bij de correlatie-diagrammen een lineaire correlatie coëfficiënt is vermeld (het getal tussen rechte haken). Tevens wordt opgemerkt dat richtingen zijn gedefinieerd volgens het systeem waarbij 0° overeenkomt met 'noord' en de richting toeneemt bij een rotatie met de klok mee. Voor wind geeft de richting aan waar de wind vandaan komt, terwijl stroomrichtingen de richting aangeven waar de stroming heen gaat.

Per beschouwd gebied wordt aan de hand van een grafische weergave van veldgegevens, kwalitatief beoordeeld in hoeverre een relatie tussen gemeten grootheden aanwezig mag worden geacht. Tevens worden de meetsignalen beoordeeld op het voorkomen van karakteristieken, zoals een overheersende windrichting.

3. ZUIDGORS

3.1. Inleiding

Metingen zijn in de perioden 9 t/m 23 september 1996 (Zuidgors-oost) en 23 september tot en met 8 oktober 1996 (Zuidgors-west) verricht in een tiental locaties verdeeld over vier raalen op het slik bij het Zuidgors (afb. 3.1). Hierbij is per 2 raalen simultaan gemeten. Het bodemniveau van de meetlocaties is opgenomen in de onderstaande tabel 3.1.

Tabel 3.1 Bodemniveau meetlocaties Zuidgors

deelgebied	raal	meetpunt	bodemniveau in [m] + NAP
Zuidgors-oost	1	1	ca. + 0,80
		2	-1,07
	2	3	+ 1,64
		4	+ 0,85
		5	-1,38
Zuidgors-west	3	1	+ 0,60
		2	-0,85
	4	3	+ 1,12
		4	+ 0,92
		5	-1,13

3.2. Gebiedsomschrijving

Het slik bij Zuidgors ligt in een binnenbocht. In het westen is het slik begrensd door de achterliggende dijk en een havendam. Op deze locatie raakt de geul Everingen min of meer de oever. Richting het oosten neemt de breedte van het slik taps toe. In het oosten wordt het gebied gescheiden van het gebied rond de plaat van Baarland door de achterliggende dijk. Kenmerkend voor het oostelijk deel van het slik is het voorliggende dynamisch gebied van vloed- en ebscharen.

3.3. Profielvorm

Het profiel is langs vier raalen gemeten. In de meest oostelijke raal (raal 1) bevindt zich een horizontaal vlak iets boven NAP. In de andere raalen is sprake van een steil, recht profiel. In de meest westelijk gemeten raal ligt de geulwand van de geul Everingen relatief dichtbij de oever; het profiel is hier steil.

3.4. Samenstelling sediment

In geulwaartse richting neemt de korreldiameter toe. De zand- en slibfracties geven het volgende beeld te zien. Op de lager gelegen meetlocaties bedraagt de zandfractie 80%, op de hoger gelegen locaties circa 50%. De slibfractie vertoont een sterkere gradiënt: op de lager gelegen meetlocaties bedraagt deze circa 5%, terwijl op de hoger gelegen locaties waarden tussen de 15 en 25% worden aangetroffen. Deze hoge slibfracties zijn te verklaren doordat na 1992 op het slik bij Zuidgors geëxperimenteerd is met een constructie om slib te vangen. Dit veroorzaakt lokaal (een niet verwachte) sedimentatie. De andere fracties betreffen kalk en humus. Dit patroon geldt voor alle raalen.

3.5. Bathymetrische ontwikkelingen

Gedetailleerde verschilkaarten voor de periode 1992-1996 geven een afwisselend beeld van de bodemontwikkelingen te zien (afb. 3.1).

Opmerkelijk is het patroon in de oostelijke helft van het slik waar stroken van erosie afwisselen met stroken van sedimentatie (in dwarsrichting van de geul naar het schor gezien). Langs de NAP + 2,00 m contour, in het gebied tussen NAP + 1,00 m en NAP -1,00 m en het gebied tussen NAP -2,00 m en NAP -4,00 m is sprake van erosie, daartussen van stabielteit of sedimentatie (met name tussen NAP + 1,00 m en NAP + 2,00 m, en tussen NAP -1,00 m en NAP -2,00 m).

In de westelijke helft erodeert het slik over de volledige hoogte. Het meest westelijke punt van het slik, waar het sterk sedimenteert, vormt hierop een uitzondering; de overgang van erosie in sedimentatie is vrij abrupt.

Uit afb. 3.2 blijkt dat langs de gehele rand van het schor erosie heeft plaatsgevonden, op het westelijke deel iets sterker dan op het oostelijke deel van het slik.

Opgemerkt wordt dat in het meest oostelijk deel een stelsel van eb en vloedscharen zich voor de oever bevindt. Verder ondergaat het oostelijk gelegen gebied rond de Plaat van Baarland grote veranderingen. Aangenomen kan worden dat beide processen verband houden met de bodemontwikkelingen in het oostelijk deel.

Naast de voornoemde verschilkaart zijn ook verschilkaarten beschikbaar over de perioden 1982-1990 en 1990-1996. Deze verschilkaarten zijn op veel grotere schaal afgebeeld en de ontwikkelingen van het slik bij Zuidgors zijn hier minder nauwkeurig vast te stellen. Globaal is een erosieproces te onderscheiden van de rand van het slik (of de geulwand). De geul die voor het slik bij Zuidgors is gelegen, vertoont sedimentatie. Verder is de intensieve sedimentatie van de geul tussen de plaat van Baarland en de oever (het Boerengat) opmerkelijk. Deze verondieping van de geul is overigens geen proces van geulmigratie (geen aangrenzende erosiegebied te onderscheiden).

3.6. Wind

De jaarlijks gemiddelde windsnelheid ter hoogte van Zuidgors ligt volgens de Rijkswaterstaat Directie Zeeland tussen 5 en 6 m/s.

Zuidgors-west

In de periode van waarnemen kwam de wind voornamelijk uit zuidwestelijke richtingen. Daarbij kwamen ook de hoogste snelheden voor (tot 7,5 m/s). Gedurende één dag deed zich een relatief sterke zuidwesten wind voor met snelheden tussen de 4 en 7,5 m/s. Minder frequent kwam de wind uit het noordwesten. Ook de windsnelheid bij noordwesten wind was gemiddeld lager dan bij zuidwesten wind (afb. ZW-18).

Zuidgors-oost

In de meetperiode heeft de wind hoofdzakelijk gewaaid uit noordwestelijke en oostelijke richtingen, waarbij de snelheid heeft gevarieerd tussen nul en 6 m/s (afb. ZO-18). In de meetperiode bereikte de oostelijke wind snelheden tussen 4 en 6 m/s gedurende 3 aaneengesloten dagen.

3.7. Waterstanden

Gezien de bodemligging ter plaatse van de locaties zijn de waterstanden op twee locaties in twee raalen gemeten tijdens waterstanden boven NAP -1,5 m.

Zuidgors-west

De asymmetrie van het getij is in het westelijke deel van het Zuidgors duidelijker aanwezig dan in het oostelijke deel (vergelijk de figuren ZO-1 en ZW-1). Ook de variatie van de getij-amplitude over de doodtij-springtij cyclus is sterker. Overigens is er bij Zuidgors-west geen significant verschil tussen de waterstanden in meetpunt 3 en in meetpunt 5.

Zuidgors-oost

Uit het verloop in de tijd van de waterstanden in meetpunt 5 (afb. ZO-1), valt af te leiden dat er sprake is van een dubbeldaags getij. In elke periode van 12,42 uur is er één maal hoog water. Het moment van hoog water en ook de amplitude van het waterstandsverloop variëren over de doodtij-springtij cyclus. Uit de gemeten waterstanden voor meetpunt 5 blijkt ook een duidelijk asymmetrie van het getij. Dit verschijnsel kan leiden tot een getij-residueel transport van sediment.

Vergeleken met meetpunt 5, ligt meetpunt 3 op een vrij hoog deel van het slik. Er staat slechts een beperkt deel van de tijd (rond hoog water) een laagje water, waarbij de diepte varieert van nul tot enkele tientallen centimeters. Het gedrag van het waterstandsverloop komt overeen met dat bij meetpunt 5.

Deze laatste bevinding wordt ondersteund door het correlatie-diagram van afb. ZO-2. Echter, uit dat diagram blijkt tevens dat de waterstand bij meetpunt 5 consequent zo'n 15 cm hoger is dan bij meetpunt 3. Dit kan niet worden verklaard uit een faseverschil van het getij tussen beide meetpunten. Immers, dat zou ertoe leiden dat de waterstand in het ene punt afwisselend hoger en lager is dan die in het andere punt, waarbij de wisseling in de buurt van kentering zou optreden. Bovendien liggen de meetpunten te dicht bij elkaar om een significant faseverschil mogelijk te maken. Er is waarschijnlijk sprake van een verschil in referentieniveau.

Het verloop van de getij-asymmetrie langs het Zuidgors leidt tot een verschil in de omvang van het getij-residuele transport van sediment. Dit residu is een oostwaarts transport. De omvang hiervan neemt in oostelijke richting af.

3.8. Stroming

Zuidgors-west

De stroming is getij-ge domineerd. De vloedstroom is oostwaarts gericht (richting ongeveer 90°) en de richting van de ebstroom is west-noordwestelijk (rond 270°). Bij vloed zijn de stroomsnelheden gemiddeld hoger dan bij eb (figuren ZW-3 t/m ZW-5 en ZW-8 t/m ZW-10). De concentratie rond de eb- en vloedrichtingen is bij meetpunt 3 iets minder sterk aanwezig dan bij de andere meetpunten. Bovendien zijn daar de snelheden gemiddeld iets lager.

Bij meetpunt 2 lijkt er een soort echo in de waargenomen richtingen aanwezig te zijn. Dat geldt voor zowel de metingen boven in de verticaal als voor die onder in de verticaal. Aangezien dit verschijnsel zich niet voordoet bij de andere meetpunten en ook niet evident is vanuit een of ander fysisch proces, wordt een storing in de waarnemingen als oorzaak voor dit verschijnsel waarschijnlijk geacht.

Bij de interpretatie van afbeelding ZW-7 (vergelijking van stroomrichtingen boven en onder in de verticaal) moet hiermee rekening worden gehouden. Uit deze afbeelding blijkt dat er veel overeenkomst in richtingen bestaat (clusters van simultane waarnemingen rond 90° en rond 270°), maar tegelijkertijd vertoont de stroomrichting boven in de verticaal meer spreiding dan die onder in de verticaal.

De stroomsnelheden boven in en onder in de verticaal zijn duidelijk aan elkaar gerelateerd, waarbij de snelheid bovenin vrijwel steeds groter is dan die onder in, wat in een getij-gedomineerde situatie verwacht mag worden. Dat geldt zowel voor meetpunt 2 (afb. ZW-6) als voor meetpunt 5 (afb. ZW-12).

Meetpunt 5 geeft een merkwaardige relatie te zien tussen de stroomrichting en de stroomsnelheid boven in de verticaal. Het lijkt erop alsof er een bovengrens aan de snelheid bestaat, die afhankelijk is van de richting. De achtergrond hiervan is niet duidelijk, net zo min als de betekenis voor de interpretatie van andere figuren waarin de beide betreffende grootheden voorkomen.

Onder in de verticaal zijn de stroomrichtingen sterk geconcentreerd rond die voor eb en vloed. Dat blijkt niet alleen uit het correlatie-diagram van afb. ZW-13, maar ook uit het bijbehorende staafdiagram voor waarnemingen aan de stroomrichting onderin de verticaal zonder dat simultaan is gemeten aan de stroomrichting boven in de verticaal. Bovenin de verticaal, daarentegen, is er een duidelijke spreiding in richtingen.

Er is geen duidelijk verband tussen de windsnelheid en de stroomrichting boven in de verticaal bij de meetpunten 2 en 5. Bij toenemende windsnelheden vertonen de stroomsnelheden geleidelijk aan meer uitschieters naar betrekkelijk hoge waarden, maar significant lijkt dat niet te zijn (figuren ZW-19 en ZW-21). Stroomrichtingen boven in de verticaal blijken daarentegen wel invloed te ondervinden van de wind. Bij wind uit het zuidwesten, waarbij de hoogste snelheden zijn opgetreden, vertoont de stroomrichting significant meer spreiding dan bij andere windrichtingen (afb. ZW-20 en ZW-22).

Zuldgers-oost

Voor meetpunt 1 zijn geen waarnemingen beschikbaar (afb. 3.1 en afb. ZO-3).

Het stroombeeld in meetpunt 2 (afb. ZO-4 en afb. ZO-5) wordt duidelijk bepaald door de getijbeweging. Stroomrichtingen zijn geconcentreerd oostwaarts (vloed) en westwaarts (eb), en de stroomsnelheden zijn bij vloed gemiddeld hoger dan bij eb. Bij relatief hoge snelheden is de stroomsnelheid onder in de verticaal vrij systematisch lager dan boven in de verticaal (afb. ZO-6). Dat past bij een getij-gedomineerd stroombeeld (log-profiel). Bij relatief lage snelheden doet dit verschijnsel zich niet voor. Dat heeft deels te maken met kentering, dat boven en onder in de verticaal niet op hetzelfde moment hoeft op te treden. Bovendien kan sprake zijn van invloed van wind boven in de waterkolom. Dat is met name bij relatief lage stroomsnelheden merkbaar, hetgeen zich uit een verschil in stroomrichting over de verticaal.

Dat de stroomrichtingen over de verticaal kunnen variëren, blijkt ook uit het correlatiediagram van afbeelding ZO-7. In veel gevallen zijn de stroomrichtingen onder en boven in de verticaal gelijk (de twee clusters van waarnemingen nabij 90° en nabij 270°), maar het komt ook voor dat stromingen boven en onder tegengesteld gericht zijn (voor de volledigheid wordt vermeld dat waarnemingen waarbij zowel de richting als de snelheid gelijk zijn aan nul, niet in de analyse zijn betrokken).

De geconstateerde variaties in stroomrichting over de verticaal kunnen op het eerste gezicht in tegenspraak lijken met de eerder gemelde dominante rol van het getij in het stroombeeld. Echter, daarbij moet worden bedacht dat de simultane waarnemingen aan stroming boven en onder in de verticaal steeds betrekking hebben op een periode rond hoogwater. Dat houdt in dat kentering relatief oververtegenwoordigd is in de beschikbare waarnemingen.

In de stroommetingen bij meetpunt 3 (afb. ZO-8) is de invloed van de getijbeweging niet te onderscheiden. De reden daarvoor is dat meetpunt 3 alleen bij hoogwater onder water staat. Een relatief lage gemiddelde stroomsnelheid en grote spreiding in stroomrichting is dan te verwachten.

Voor wat betreft stroming is ook meetpunt 4 getij-gedomineerd (afb. ZO-9). De snelheden bij de vloedstroom zijn gemiddeld hoger dan die bij eb. Overigens zijn voor meetpunt 4 ook alleen voor de periodes rond hoogwater waarnemingen beschikbaar. Buiten die periodes valt meetpunt 4 droog.

Bij meetpunt 5 (fig ZO-10) vertoont de stroming onder in de verticaal het zelfde gedrag als die bij meetpunt 4, zij het met gemiddeld iets hogere snelheden en de richtingen van de eb- en vloedstromen zijn ten opzichte van die bij meetpunt 4 ongeveer 20° à 30° met de klok mee gedraaid. Het verschil met betrekking tot de gemeten snelheden heeft te maken met het feit dat bij meetpunt 5 een groter deel van de getijcyclus bemeten is dan bij meetpunt 4. Daardoor zijn voor meetpunt 5 ook waarnemingen beschikbaar voor dat deel van de getijcyclus waarbij maximale snelheden optreden. Meetpunt 4 staat op zulke momenten droog. De verschuiving in de stroomrichting is een invloed van de geul voor het slik.

Boven in de verticaal bij meetpunt 5 is ook sprake van getij-dominantie (afb. ZO-11), waarbij de eb- en vloedrichtingen nog eens zo'n 20° met de klok mee gedraaid zijn ten opzichte van die onder in de verticaal. Daarnaast is er boven in de verticaal sprake van meer spreiding in stroomrichting dan onder in de verticaal (figuren ZO-11 en ZO-13). Vergelijking van de snelheden boven en onder in de verticaal (afb. ZO-12) levert het zelfde beeld op als bij meetpunt 2.

Dat de stroming op de meetlocaties door vloed gedomineerd wordt, komt overeen met het feit dat het slik bij Zuidgors aan een vloedgeul ligt (lit. [3]).

De betrekkelijk kalme winden hebben geen waarneembare invloed uitgeoefend op de stroomsnelheid (afb. ZO-19 en ZO-21). Daar staat tegenover dat de bij meetpunt 2 de stroomrichting boven in de verticaal relatief veel spreiding vertoont als de wind uit één van de hoofdrichtingen waait (afb. ZO-20). Bij meetpunt 5 geldt dat vrijwel alleen voor oosten wind (afb. ZO-22).

stroombaanmetingen

Een beperkt aantal stroombaanmetingen zijn uitgevoerd tijdens vloed. Met name in de oostelijke helft van het slik is sprake van een substantiële stroomversnelling richting het oosten. Tijdens eb zijn geen stroombaanmetingen uitgevoerd.

3.9. Golven

Zuidgors-west

Voor meetpunt 3 is er geen duidelijke relatie tussen golfhoogte en -periode. Beide parameters vertonen enkele uitschieters naar betrekkelijk hoge waarden, maar niet tegelijkertijd (afb. ZW-14). Voor meetpunt 5 geldt een soortgelijk verschijnsel, alhoewel de uitschieters in de golfhoogte daar aanmerkelijk sterker zijn dan bij meetpunt 3 (afb. ZW-15). Dat die hoge golven wel bij meetpunt 5 voorkomen, maar niet bij meetpunt 3, kan het gevolg zijn van breking door beperkte waterdiepte (bij meetpunt 3 varieert de waterdiepte tussen nul en twee meter), maar waarschijnlijker is de oorzaak gelegen in het feit dat meetpunt 3 een substantieel deel van de tijd droog staat. Dit wordt ondersteund door de overeenkomsten in simultane waarneming van golfhoogte en -periode bij meetpunten 3 en 5 (afb. ZW-16 en ZW-17).

Ten tijde van de meetcampagne werd op de lager gelegen meetlocatie 5 significante golfhoogten tot ca. 55 cm gemeten. Vergelijkingen hiervan met de golfhoogte op de hoger gelegen meetlocatie 3 leiden tot onduidelijk beeld over de golfvoortplanting langs de raal. Sommige golven behielden tijdens hun voortplanting richting de dijk hun hoogte, terwijl andere afnamen tot significante golfhoogten van ca. 25 cm. Alle metingen vonden plaats bij dermate hoge waterstanden dat in eerste instantie geen golfhoogteafname door golfbreken zou worden verwacht. Het vermoeden bestaat dat golfrefractie de voornaamste oorzaak is

van de golfhoogteafname. De windrichtingen duiden immers erop dat de golven het slik naderen onder een grote hoek van inval.

Golfhoogte en -periode nemen duidelijk toe bij toenemende windsnelheid (afb. ZW-23 en ZW-24). Voor Zuidgors-west geldt op dit punt een soortgelijke opmerking als voor Zuidgors-oost: golven die door noordwesten of zuidwesten wind zijn gegenereerd, kunnen vrij onbelemmerd het slik benaderen.

Op het slik bij Zuidgors-west neemt de significante golfhoogte toe bij toenemende windsnelheid. Op basis hiervan kan geconcludeerd worden dat de significante golfhoogte op het slik bij Zuidgors-west positief gecorreleerd is met de windsnelheid. De windrichting varieert tijdens de meetperiode. Er is echter geen duidelijk verband tussen de significante golfhoogte en de windrichting. Dit geldt zowel op het lager gelegen deel als op het hoger gelegen deel van het slik.

Zuidgors-oost

Het aantal golfwaarnemingen bij meetpunt 3 is te gering om een uitspraak te kunnen doen over een eventueel verband tussen golfhoogte en -periode (fig ZO-14), of een relatie met golfcondities die bij meetpunt 5 zijn waargenomen (afb. ZO-16 en ZO-17).

Uit de golfwaarnemingen voor meetpunt 5 komt geen verband naar voren tussen golfhoogte en -periode (afb. ZO-15). Omdat er zo weinig simultane golfwaarnemingen zijn voor de meetpunten 3 en 5, geeft het staafdiagram voor de significante golfhoogte in meetpunt 5 (afb. ZO-16) een goed beeld van de verdeling van die golfhoogte.

Er zijn te weinig simultane waarnemingen beschikbaar om een uitspraak te kunnen doen over een eventuele relatie tussen wind enerzijds, en golven die bij meetpunt 3 zijn waargenomen anderzijds.

Voor meetpunt 5 kan dat wel. Er is een duidelijke relatie tussen windsnelheid en de significante golfhoogte bij dat meetpunt (afb. ZO-24). Op het slik bij Zuidgors-oost zijn twee periodes te onderscheiden waarin de windsnelheid toeneemt van 0,5 m/s tot 6 m/s. In de eerste periode komt de wind vanuit het noord-noordwesten. In de tweede periode komt de wind vanuit het oosten. De duur van de periodes verschilt, nl. tijdens de tweede periode is de windsnelheid langer maximaal (6 m/s) dan tijdens de eerste periode. In meetpunt 5 is tijdens de tweede periode de berekende significante golfhoogte aanzienlijk groter dan tijdens de eerste periode, resp. gemiddeld 30 cm (varierend tussen 10 en 50 cm) en gemiddeld 15 cm. Op basis van de gegevens kan geconcludeerd worden dat de grotere significante golfhoogte in de tweede periode het gevolg kan zijn van de oostenwind of de langere duur van de maximale windsnelheid of een combinatie daarvan.

Samengevat, de significante golfhoogte op Zuidgors-oost neemt toe bij een hogere windsnelheid en mogelijk ook bij een oostenwind.

Het is overigens te betreuren dat op het slik bij Zuidgors geen simultane golfmetingen langs meerdere raalen heeft plaatsgevonden. Mogelijk zou hiermee een verband gelegd kunnen worden tussen het golfklimaat en de erosie, die in de westelijk helft verschilt van die in de oostelijke.

4. PAULINAPOLDER

4.1. Inleiding

In 1996 zijn van 14 tot en met 30 oktober metingen verricht op een vijftal locaties verdeeld over twee raalen op het slik bij Paulinapolder (afb. 4.1).

Het bodemniveau van de meetlocaties is opgenomen in de onderstaande tabel.

Tabel 4.1 Bodemniveau meetlocaties Paulinapolder

raal	meetpunt	bodemniveau in [m] + NAP
1	1	+ 0,41
	2	+ 0,19
2	3	+ 1,16
	4	-0,16
	5	-0,65

4.2. Gebiedsomschrijving

Het slik bij Paulinapolder wordt in het westen begrensd door de dijk en een dwarsdam, en in het oosten door de Ingang van de Braakmanhaven, zie afb. 2.1.

Het slik is min of meer noordwest-zuidoost georiënteerd en ligt langs de buitenbocht van de geul 'Vaarwater langs de Paulinapolder'. Deze geul schiedt het slik bij een onderwaterbank in het noorden en de plaat Lage Springer in het noordwesten. Tussen de bank en de plaat ligt de Thomasgeul.

De geul 'Vaarwater langs de Paulinapolder' is op twee plaatsen lokaal verdiept; ter plaatse van de kop van de dwarsdam en ter hoogte van de onderwater bank.

De onderwaterbanken de plaat schermen het slik af van de grote geul Pas van Terneuzen in het noorden, die als hoofdvaargeul dient. Deze laatstgenoemde geul raakt de oever van Zeeuws Vlaanderen pas ten oosten van de haveningang van de Braakmanhaven.

4.3. Profielvorm

Er is langs twee raalen gemeten. De opname van de oostelijke raal (raal 1) geeft een bolle vorm te zien, terwijl in het profiel van de westelijke raal (raal 2) een horizontaal vlak tot holle vorm heeft.

4.4. Samenstelling sediment

Opmerkelijk is de relatief hoge slibfractie op de meeste locaties en de hogere zandfracties juist op de hoger gelegen meetlocatie 3. Deze slibdeposities zijn naar verluidt onderhevig aan seizoensfluctuaties.

Mogelijk duldt de relatief hoge slibfractie op erosie van de schorrand bij Paulinapolder; dit erosieproces doet zich het meest voor bij de noordwestelijke stormen in het winterseizoen. Waarschijnlijker is dat het slib uit het water afkomstig is, zie ook paragraaf 6.4. Doordat de stroming op deze locatie gematigd tot zwak is, zal het geërodeerde materiaal niet worden afgevoerd naar andere gebieden maar blijft het voor een deel binnen het gebied.

De hoge zandfractie in meetpunt 3 lijkt het gevolg te zijn van de eerder genoemde lijfeffect van de dwarsdam in het westen.

Op het slik zijn veenlagen in de ondergrond aanwezig.

4.5. Bathymetrische ontwikkelingen

De verschilkaart tussen 1992 en 1996 geeft op het slik nauwelijks veranderingen in de bodemhoogte te zien (afb. 4.1).

Aan de rand van het schor ten westen van de dam heeft lichte erosie plaatsgevonden. In het middendeel aan de rand van het schor bij Paulnapolder laat afbeelding 4.2 zien dat in 1996 twee schorranden te onderscheiden zijn. Op delen tussen deze twee randen was in 1993 primair schor aanwezig. Mogelijk zijn er tussen 1993 en 1996 zulke condities geweest (zoals sedimentatie) waardoor vegetatie zich heeft kunnen ontwikkelen. Hierdoor is een nieuwe, mogelijk lager gelegen tweede schorrand ontstaan. Daarnaast blijkt uit de afbeelding dat de oorspronkelijke schorrand is geërodeerd. Aan de oostelijke schorrand heeft sedimentatie plaatsgevonden.

Op de verschilkaart is tevens een loef- en lijzijde effect te zien van de voornoemde dwarsdam ten westen van het slik die geldt voor de (dominante) ebstroom (zie paragraaf 8.4.1). Dit leidt aan de lijzijde oftewel aan in het westelijk deel van het slik nabij de geulrand, tot sedimentatie.

4.6. Wind

Uit de beschikbare waarnemingen valt af te leiden dat tijdens de meetcampagne de windrichting voornamelijk tussen 90° en 315° heeft gevarieerd (afb. PA-18). Dat komt neer op wind vanuit richtingen tussen oost en noordwest (met de klok mee draaiend). Gedurende de meetcampagne zijn gedurende twee dagen relatief hoge windsnelheden gemeten van 4 tot 8 m/s. Hierbij draaide de wind van ZZW naar NNW. Het hoogtepunt werd bereikt bij NNW wind.

Op de andere dagen van de meetcampagne is de wind zwak tot matig. De jaarlijks gemiddelde windsnelheid op deze locatie ligt volgens de Rijkswaterstaat directie Zeeland iets boven 5 m/s.

4.7. Waterstanden

Uit de waarnemingen komt naar voren dat Paulnapolder wordt gekenmerkt door een dubbeldaags, asymmetrisch getij (de mate is vergelijkbaar met Zuidgors-west). In een van de getijcycli is sprake van een opvallend hoog hoogwater. Dat is waargenomen bij twee meetpunten (afb. PA-1). In de rapportage van Koster Engineering is deze cyclus terug te vinden op dag 303. Op die dag was er een relatief sterke, noordwesten wind. De waargenomen verhoging van de waterstand zal zijn veroorzaakt door windopzet.

De gemeten waterstanden bij meetpunt 5 zijn systematisch enkele centimeters hoger dan die bij meetpunt 3 (fig. PA-2). Dit kan niet het gevolg zijn van een eventueel faseverschil tussen beide meetpunten, want daarvoor liggen ze te dicht bij elkaar. Het kan ook niet het gevolg zijn van bochtstroming (verhang langs de straal van de bocht), omdat het slik bij Paulnapolder in een vrij recht deel van de Westerschelde ligt. Waarschijnlijk zit er een klein verschil in de referentieniveaus van beide meetpunten.

4.8. Stroming

Uit de beschikbare waarnemingen kan geen geprononceerde eb- en vloedstroming worden afgeleid. (figuren PA-3 t/m PA-5 en PA-8 t/m PA-11). Alleen meetpunt 2 (onder in de verticaal) is hierop een uitzondering (afb. PA-4). Daar is sprake van een vloedstroom in de richting oost-noordoost en een ebstroom in de richting west-zuidwest (bij benadering). Gemiddeld is de ebstroom een beetje sterker dan de vloedstroom. Uitzondering hierop is het bovenste meetpunt in het verticaal van meetlocatie 5, maar gegeven de opmerkingen van Koster Engineering (lit.[1]) wordt aan de uitkomsten van de stroommetingen hier geen verder aandacht aan besteed.

De stroomsnelheden zijn groter bij grotere afstand van de dijk. De stroming op dit slik zijn overigens vrij zwak met snelheden die veelal lager zijn dan 25 cm/s.

In de relatie tussen stroomsnelheid en -richting (afb. PA-5) is de dominantie van de ebstroom nog herkenbaar. Daarbuiten zijn de stroomsnelheden steeds vrij laag (20 à 30 cm/s) en vloed valt in de waarnemingen niet op.

Rond hoogwater stroomt bij meetpunt 1 vrijwel continu water het slik op (afb. PA-3). Bij meetpunt 3 lijkt dat in eerste instantie ook zo te zijn (afb. PA-8), maar daar is de spreiding in richtingen iets sterker dan bij meetpunt 1. Het verschil kan verklaard worden door het verschil in bodemhoogte op beide locaties. Meetpunt 1 ligt lager dan meetpunt 3, waardoor meetpunt 1 gedurende een groter deel van de getijfase onder water staat en eb en vloed geprononceerder zijn. Bij vloed is er bij meetpunt 3 sprake van stroming in oostelijke tot zuidoostelijke richting het slik op, terwijl bij eb afstroming plaats vindt in westelijke tot noordwestelijke richting. Bij meetpunt 4 vertoont de stroming een overeenkomstig verschijnsel, zij het dat de stroomrichtingen ten opzichte van die bij meetpunt 3 met zo'n 90° met de klok mee zijn gedraaid (fig. PA-9).

Met name in de meetpunten 3, 4 en 5 zal het stroombeeld worden beïnvloed door de aanwezigheid van de dam aan de westzijde van het bemeten gebied.

stroombaanmetingen

Metingen zijn verricht in het westelijk deel van het slik. Tijdens de metingen is sprake van een relatief krachtige wind uit NO tot N terwijl de fase van het getij vloed is. De stroombanen zijn gemeten met als startpunt de NAP -2,5 contourlijn.

Opmerkelijk is dat tijdens vloed een zuidwestelijke stroming te zien is; een dergelijke stroombaan zou eerder bij eb verwacht worden. Een vloedstroom zoals die verwacht zou worden op basis van de bathymetrie, is niet gemeten.

Aan het wateroppervlak heeft de wind geen merkbare invloed op de stroomsnelheid (figuren PA-19 en PA-21), maar de stroomrichting vertoont een significante spreiding bij wind uit een dominante richting (figuren PA-20 en PA-22).

4.9. Golven

Uit de golfwaarnemingen voor meetpunt 3 valt een suggestie af te leiden voor een relatie tussen golfhoogte en -periode (afb. PA-14), maar die gaat bij meetpunt 5 niet op (afb. PA-15). Overigens bestaat er wel een duidelijk verband tussen overeenkomstige golfparameters voor beide meetpunten (figuren PA-16 en PA-17). Bij meetpunt 5 is de golfhoogte gemiddeld iets groter en de periode gemiddeld iets langer dan bij meetpunt 3. Dit houdt vrijwel zeker verband met het feit dat bij meetpunt 3 een kleiner deel van de getijcyclus (rond hoogwater) is bemeten dan bij meetpunt 5.

Golven zijn gemeten op twee locaties langs de westelijke raal 1. Gedurende de meetcampagne passeerde een krachtiger windveld het gebied. Hierbij draaide de wind van ZZW naar NNW. Naast de eerder genoemde stormopzet zijn in deze periode op het lager gelegen meetpunt ook hogere golven van meer dan 40 cm gemeten. De significante golfhoogte op de hoger gelegen meetlocatie was relatief groot, m.a.w. de golfhoogteafname was beperkt. De richting van de golven (kleine hoek van inval en derhalve weinig refractie) en de hoge waterstanden (geen golfbreken) zijn mogelijke verklaringen voor de geringe afname.

De significante golfhoogte op het slik bij Paulinapolder vertoont drie uitschieters op zowel het lager gelegen deel als op het hoger gelegen deel van het slik. De uitschieters zijn groter in meetpunt 5 dan in meetpunt 3. De eerste uitschieter in meetpunt 5 heeft een maximale significante golfhoogte van ongeveer 32 cm, de tweede uitschieter bijna 40 cm en de laatste uitschieter 55 cm. Tijdens de dagen met een windsnelheid variërend tussen 0,5 en 4 m/s is de maximale significante golfhoogte 20 cm. In meetpunt 3 is de maximale golfhoogte tijdens de eerste uitschieter 15 cm, tijdens de tweede uitschieter 18 cm en tijdens de derde uitschieter 45 cm.

Tijdens de rustige (wind)perioden bedraagt de maximale significante golfhoogte ongeveer 10 cm. De resultaten geven weer dat de significante golfhoogte op het lager gelegen deel van het slik sterker door de windsnelheid wordt beïnvloed dan op het hoger gelegen deel.

De windrichtingen tijdens de meetperiode variëren. Er is geen duidelijk verband tussen de windrichting en de significante golfhoogte. De uitschieters in de significante golfhoogte overeenkomen met de tijdstippen van toename van de windsnelheid. De significante golfhoogte op het slik bij Paulinapolder is dus positief gecorreleerd met de windsnelheid.

5. BATH

5.1. Inleiding

Verdeeld over een oostelijk deel van het slik (Bath-oost) en een westelijk deel (Bath-west) zijn op een tiental locaties metingen verricht op het slik bij Bath (afb. 5.1). Opgemerkt wordt dat de digitale gegevens van de snelheidsmetingen op de vaste meetlocaties op het slik bij Bath-oost onwaarschijnlijke waarden geven die op geen enkele wijze overeenkomen met de grafische presentatie van resultaten door Koster Engineering. Derhalve is voor de analyse van de stroming in Bath-oost enkel gebruik gemaakt van de digitale gegevens uit de rapportage van Koster Engineering (lit.[1]). Bij Bath-west geldt dat in de digitale bestanden weinig stroommetingen beschikbaar waren.

Het bodemniveau van de meetlocaties is opgenomen in tabel 5.1.

Tabel 5.1 Bodemniveau meetlocaties Bath

deelgebied	raai	meetpunt	bodemniveau in [m] + NAP
Bath-oost	1	1	+ 1,02
		2	-1,14
	2	3	ca. + 1,7
		4	+ 1,32
		5	-0,66
Bath-west	3	1	+ 1,29
		2	-1,06
	4	3	+ 1,23
		4	+ 0,06
		5	-1,03

5.2. Gebiedsomschrijving

Het slik bij Bath ligt in de buitenbocht van de Westerschelde. De afstand van de dijk tot de geulrand (zeg NAP -2,00 m) neemt in oostelijke richting iets toe, zie afb. 2.1. In het oosten wordt het slik begrensd door de dijk (bij Bath) die dicht langs de geul is gelegen. In het westen gaat het slik bij Bath over in een smal vooroevergebied dat is gelegen langs een waterkering tegen de dijk van een voormalige haven.

De geulwand is in het oostelijk deel van Bath verdedigd, dit om verdere geulverplaatsing richting de waterkering te voorkomen. Een karakteristieke doorsnede van de geulwandverdediging is weergegeven in afbeelding 5.2.

5.3. Profielvorm

De gemeten profielen langs de meetraaien 1, 2 en 3 zijn licht bol van vorm. In raai 4, de meest westelijke raai, is het profiel verlaagd en kan voor zover mogelijk gesproken worden van een hol profiel.

5.4. Samenstelling sediment

De zandfracties van de bodemonsters in alle meetpunten is groter dan 75%. De siltfracties zijn in het oostelijk deel van het slik iets lager dan in het westelijk deel; de verschillen zijn klein. Op het slik zijn veenlagen aanwezig.

5.5. Bathymetrische ontwikkelingen

Op het slik bij Bath zijn grotendeels geen veranderingen in de bodemhoogte opgetreden. Op een drietal locaties heeft erosie plaatsgevonden (afb. 5.1).

Uit afbeelding 5.3 kan worden opgemaakt dat in de periode 1993-1996 de westelijke schorrand redelijk stabiel is geweest. De rand van het oostelijke deel van het slik is wel grotendeels erosie te onderscheiden.

De noordelijke geulwand van het Nauw van Bath erodeert. Opmerkelijk is dat de rand van het slik op NAP -2,00 m, die de bovenzijde van de geulwand markeert, in de periode van 1993-1996 nauwelijks is verdiept of verondiept. De reden hiervan is dat op dit niveau zich een resistente veenlaag bevindt. De NAP -2,00 m dieptecontour lijkt op een sterke scheidinglijn tussen het stabiele slik (boven NAP -2,00 m) en de eroderende geulwand (onder NAP -2,00 m). De contourlijnen van de waterdiepten boven NAP -2,00 m zijn marginaal in noordelijke richting opgeschoven.

De verschilkaarten 1982-1990 en 1990-1996 zijn op een te grote schaal afgebeeld om tendensen in het gebied te kunnen onderscheiden. Wel is op beide verschilkaarten de verdieping van de noordelijke geulwand van het Nauw van Bath te zien, terwijl de zuidelijke geulwand verondiept; dit proces duidt op een migratie van de geul in noordelijke richting en is kenmerkend verschijnsel in buitenbochten.

Het beeld van een redelijk stabiel slik bij Bath wordt mede bevestigd door de hoogtemetingen in de periode juni 1994 t/m augustus 1996. Hierbij is in een raal in het oostelijk deel (Bath-Oost) gemeten op drie niveaus: NAP +1,3 m, NAP +0,8 en NAP -1,4 m. Op deze niveaus heeft de bodem praktisch geen veranderingen ondergaan in deze periode.

5.6. Wind

Tijdens de meetcampagne op vaste locaties was de wind zwak met snelheden tot 5 m/s. De jaarlijks gemiddelde windsnelheid op deze locatie ligt volgens de Rijkswaterstaat directie Zeeland tussen 5 en 6 m/s. Ook de stroombaanmetingen zijn uitgevoerd onder zwakke windcondities.

Bath-west

Gemeten windsnelheden variëren tussen nul en circa 5 m/s, waarbij de wind voornamelijk komt uit richtingen tussen west-zuidwest en noordoost. In vergelijking met andere gebieden is er betrekkelijk veel spreiding in windrichting (afb. BW-13).

Uit de weinige simultane waarnemingen is geen verband af te leiden tussen windsnelheid en golfhoogte bij de meetpunten 3 en 5 (afb. BW-16 en BW-17).

In het algemeen is dus geen duidelijke relatie te onderscheiden tussen wind en stroomsnelheid in de meeste punten. Belangrijkste verklaring hiervoor is dat de winden zwak zijn geweest tijdens de meetcampagne. Uitzondering hierop lijken op het eerste gezicht de onderscheidend hoge ebsnelheden van meer dan 70 cm/s onder in het verticaal van meetlocatie 2 van raal 3 die optraden tijdens zuidoosten wind. Analyse van tijdreeksen doet echter een meetfout vermoeden.

Bath-oost

Net als bij Bath west, vertoont de windrichting nogal wat spreiding. Desondanks is er wel een hoofdrichting aan te wijzen: wind uit noordelijke tot oostelijke richting. In deze sector komen de grootste windsnelheden voor bij noorden wind (afb. BO-13).

Uit de beschikbare waarnemingen zijn geen aanwijzingen af te leiden voor het bestaan van een relatie tussen windsnelheid en golfparameters (afb. BO-16 en BO-17). Net zo min is er een relatie tussen windsnelheid en de stroomsnelheid boven in de verticaal bij meetpunt 2 (afb. BO-14). Onafhankelijk van de wind concentreert de stroming zich rond de eb- en vloedrichtingen.

5.7. Waterstanden

Bath-west

Ook bij Bath is sprake van een dubbeldaags getij met een lichte asymmetrie. Er is nauwelijks verschil tussen Bath oost en Bath west in de mate van asymmetrie (vergelijk de figuren BW-1 en BO-1). Bij Bath west zijn de gemeten waterstanden bij meetpunt 3 systematisch lager dan bij meetpunt 5 (afb. BW-2). Net als bij de andere gebieden waar een dergelijk verschijnsel is waargenomen, wordt ook hier verondersteld dat dit verschil wordt veroorzaakt door verschillend gekozen referentie-niveaus.

In een van de getijcycli komt in meetpunt 5 een duidelijke verhoging van de waterstand voor. Dit treedt niet op in meetpunt 3 (afb. BW-1). In afbeelding BW-2 uit zich dit verschil als de slinger in het correlatie-diagram. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een meetfout.

Bath-oost

Het verloop van de waterstand met de tijd is bij Bath-oost vrijwel identiek aan dat bij Bath west. Anders dan bij Zuidgors is er dus geen verloop van de getij-asymmetrie langs het slik, waardoor geen gradiënten in getij-residueel transport van sediment verwacht moeten worden (vergelijk figuren BW-1 en BO-1).

Simultaan gemeten waterstanden in de meetpunten 3 en 5 komen goed overeen (afb. BW-2). Dit is echter gebaseerd op een betrekkelijk gering aantal metingen omdat meetpunt 3 een substantieel deel van de tijd droog staat.

5.8. Stroming

Bath-west

Voor Bath-west zijn relatief weinig stroommetingen beschikbaar. Echter, er zijn aanwijzingen voor een eb-dominantie (figuren BW-3 t/m BW-8). De sterkste aanwijzing wordt gevonden onder in de verticaal bij meetpunt 2 (afb. BW-4).

De metingen onder in de verticaal in meetpunt 2 geven een oost-west stroming te zien, waarbij het water vanuit de geul over het slik stroomt tijdens eb en van het slik richting geul tijdens vloed. Onder in de verticaal van meetpunt 5 is minder sprake van een geprononceerde eb- en vloedrichting. Tijdens vloed is de stroming grotendeels evenwijdig aan de vaargeul. De stroming tijdens eb is net zoals in meetpunt 2 naar het westen gericht.

De stroming is slechts in de meest westelijke raal (raal 4) tegelijkertijd gemeten op meerdere locaties. Hier zijn tijdens eb op de hoger gelegen meetlocatie in vergelijking tot Bath-oost relatief hoge snelheden gemeten. De hoogste snelheden zijn op de lager gelegen meetlocaties te vinden. Gegevens ontbreken om in de raalen 1 en 2 de snelheidsverdeling langs een raal te kunnen analyseren.

Bath-oost

Net als bij Bath-west, zijn ook hier slechts weinig waarnemingen van stroming beschikbaar. De metingen onder in de verticaal bij meetpunt 2 laten een invloed van eb en vloed zien. De stroomsnelheden tijdens vloed zijn gemiddeld een klein beetje hoger dan tijdens eb, maar het verschil is gering (afb. BO-5). De waarnemingen voor meetpunt 4 bieden hetzelfde beeld (afb. BO-7, waaruit de evident foute meetwaarden worden weggedacht). De stroming in meetpunt 1 is parallel aan de rand van het schor.

In meetpunt 1 in raal 1 (de meest oostelijke meetraal) is sprake van een variërende stroomrichting. Er is geen eb- of vloedrichting te onderscheiden. Het stroombeeld hier wijkt af van het stroombeeld elders op het slik. Dit is te verklaren doordat meetpunt 1 in een hoek ligt: ten noorden en ten oosten van het meetpunten ligt een dijk.

stroombaanmetingen

Uit de stroombaanmetingen kan het volgende worden herleid:

- In het algemeen volgen de stroombanen de contouren van de geulwand van het Nauw van Bath. Opgemerkt dient te worden dat na de kentering van vloed naar eb het water in het oostelijk deel het slik op stroomt, terwijl in het resterend deel van het slik sprake is van geleidelijke afstroming;
- tijdens **eb** vindt een versnelling plaats in westelijke richting. Dit geldt met name voor de stroming in de geul. Op het slik nabij de geulrand worden de hoogste snelheden bereikt in het traject tussen raal 3 en 4. Eenmaal voorbij raal 4 vertraagt het water op het slik;
- tijdens **vloed** is het beeld van vertraging of versnelling minder duidelijk. Een vertraging doet zich voor van water dat het slik in het westelijk deel op stroomt.

5.9. Golven

Bath-west

Voor meetpunt 3 lijkt een relatie aanwezig tussen golfhoogte en -periode, maar dat wordt vanuit de waarnemingen voor meetpunt 5 niet bevestigd (figuren BW-9 en BW-10). Er is dan ook geen echte overeenkomst tussen de golfhoogte bij meetpunt 3 en die bij meetpunt 5 (afb. BW-11). Voor de golfperiode lijkt zo'n verband eerder aanwezig (afb. BW-12). Dat is ook te verwachten. Bij goede benadering kan worden aangenomen dat de golfperiode door shoaling en refractie niet wijzigt, mits er geen breking plaatsvindt.

Bij meetpunt 5 vertoont de periode enkele uitschieters naar betrekkelijk hoge waarden, zonder dat daarbij overigens een relatief grote golfhoogte optreedt. Dat kan een aanwijzing zijn voor invloed van scheepvaart. De vaargeul ligt bij Bath vlak voor het slik.

Zoals verwacht gezien de zwak tot gematigde windcondities tijdens de metingen zijn gedurende de meetcampagne geen hoge golven gemeten; hogere significante golfhoogten dan 25 à 30 cm zijn niet bereikt.

Ten tijde van de meetcampagne waren de overheersende windrichtingsectoren west tot noordoost. De golven zijn van gematigde omvang met soms relatief lange golfperiodes. Tussen de windsnelheid en significante golfhoogte is geen duidelijk verband te vinden.

Een mogelijke verklaring voor het bovengenoemde is dat de invloed van de scheepsgolven in de significante golfhoogte terug te vinden is. Het slik kenmerkt zich immers door het feit dat het langs een vaargeul is gelegen.

Bath-oost

De golfperiode die in meetpunt 3 is gemeten, vertoont geen herkenbare relatie met de golfhoogte die op dezelfde plaats is gemeten (afb. BO-9), maar wel met de simultaan gemeten golfperiode bij meetpunt 5 (afb. BO-12).

Ook in meetpunt 5 is er geen verband tussen golfhoogte en -periode (afb. BO-10). De golfperiode vertoont enkele uitschieters naar hogere waarden, wat een aanwijzing voor passerende schepen kan zijn.

In meetraal 2 en 4 is de golfhoogte op twee locaties simultaan gemeten. In alle metingen is een afname van de significante golfhoogte waar te nemen. Op basis van de waterstanden en daarmee de waterdiepte op het moment van de golfmetingen zou deze afname op basis van golfbreken niet worden verwacht. Derhalve zal de golfrefractie met in dit gebied een sterke divergente van golfstralen de belangrijkste verklaring zijn voor dit fenomeen.

Op beide delen van het slik bij Bath is de significante golfhoogte op zowel het lager als het hoger gelegen deel redelijk constant. Tijdens de meetperiode staat er een zwakke wind (max. 4,5 m/s) uit verschillende richtingen. Op basis van de resultaten zijn op het slik bij

Bath geen verbanden te leggen tussen de significante golfhoogte enerzijds en de windrichtingen en windsnelheden anderzijds.

6. WAARDE

6.1. Inleiding

In 1996 zijn op tien locaties metingen verricht op het slik bij Waarde (afb. 6.1). Hiertoe is het slik verdeeld in een westelijk (Waarde-west) en een oostelijk deel (Waarde-oost). Per deel zijn twee raalen gedefinieerd. Raal 1 is aan de meest oostelijke zijde van het slik en raal 4 aan de meest westelijke zijde (afb. 6.1). De perioden waarin gemeten is van 25 juni tot 9 juli in Waarde-oost, van 16 juli tot 30 juli in Waarde-west.

Het bodemniveau van de meetlocaties is opgenomen in tabel 6.1.

Tabel 6.1 Bodemniveau meetlocaties Waarde

deelgebied	raal	meetpunt	bodemniveau in [m] + NAP
Waarde-oost	1	1	+ 1,20
		2	-0,59
	2	3	+ 1,58
		4	-1,26
		5	-1,19
Waarde-west	3	1	-0,56
		2	-1,61
	4	3	+ 1,40
		4	+ 1,20
		5	-1,09

6.2. Gebiedsbeschrijving

Het slik bij Waarde ligt aan de noordzijde van de Westerschelde. Ten westen van het slik ligt de Schaar van Waarde. Langs het slik is een kortsluitgeul tussen de Schaar van Waarde en de Geul van Zimmerman ontstaan. Deze kortsluitgeul scheidt het slik bij de Platen van Valkenisse. Van west naar oost neemt de afstand van de dijk tot de geulrand ter plaatse van het slik in eerste instantie toe en vervolgens weer af, zie afbeelding 6.1.

6.3. Dwarsprofiel

Raalen 1 en 4, resp. de meest oostelijke raal en de meest westelijke raal, bevinden zich grotendeels boven NAP. De gemeten profielen langs raal 1 is (licht) bol van vorm. Raal 2 heeft een redelijk vlak tot hol profiel op het lager gelegen slik en gaat vervolgens over in een bol profiel. Raal 3 is licht hol van vorm. Het profiel van raal 4 aan de geulzijde is bol van vorm en gaat vervolgens over in een vlak deel. Raal 4 ligt relatief dichtbij de geul van de Schaar van Waarde, het profiel is hier het meest steil. In afbeelding 6.2 is een overzicht van de meetraalen in het slik bij Waarde weergegeven.

6.4. Samenstelling sediment

Op 30 juni 1996 zijn zowel op Waarde-west als op Waarde-oost bodemonsters genomen. In de Westerschelde kan de slibfractie in de bodem door seizoensfluctuaties sterk variëren. De hier gemeten slibfracties zijn hierdoor momentopnamen.

De zandfracties in de bodemonsters variëren sterk per raal. In raal 1 zijn de zandfracties in beide meetpunten meer dan 75%. Opmerkelijk zijn de hogere zandfracties gemeten op de hoger gelegen delen van het slik (meetpunten 1 en 3) van resp. raal 3 en raal 2 ten opzichte van die gemeten op de lager gelegen delen van het slik. In de lager gelegen delen van deze raalen zijn de zandfracties relatief laag. Op deze locaties is een hoog humusgehalte (plantenresten) gedetecteerd. De verklaring hiervoor is de aanwezigheid van een veenlaag (Hollandveen) in de ondergrond. Daarnaast was het slik bij Waarde in het verleden landbouwgebied, wat inhoudt dat er toen vruchtbare grond (bv. klei) aanwezig was en nog steeds is.

De slibfracties in de bodem op de meetpunten in de raalen 2, 3 en 4 zijn relatief hoog, variërend tussen 10,5 tot 31,6%. Het slib kan van meerdere bronnen afkomstig zijn. Het water in de Westerschelde is slibrijk. De bronnen van het slib in het water kunnen zowel de zee als de Schelde zijn. Ook al zijn de gemeten slibfracties in de bodem een momentopname, het is opmerkelijk dat er slib ligt en blijft liggen ondanks de stroming. Mogelijke oorzaken hiervan zijn dat het water volledig verzadigd is of dat de cohesieve eigenschappen van slib een rol spelen.

6.5. Bathymetrische ontwikkelingen

Het slik bij Waarde groeide tot midden jaren zeventig aan, maar is sindsdien sterk verlaagd (lit.[3]).

De kaarten met de hoogteveranderingen in de gehele Westerschelde in de perioden 1982-1990 en 1990-1996, laten zien dat het gebied voor het slik Waarde een (hoog)dynamisch karakter heeft. De kortsluitgeulen verplaatsen zich. Erosie en sedimentatiegebieden wisselen elkaar af. De mate van sedimentatie en mate van erosie is in de perioden wel afgenomen.

De verschilkaart 1993-1996 opgemaakt door Meetdienst Zeeland laat zien dat op het slik de gebieden waar erosie plaatsvindt vlak naast de gebieden met sedimentatie liggen; de overgangsgebieden zijn vrij smal (afb. 6.1). Ter hoogte van de Geul van Zimmerman vindt in de (flauwe) buitenbocht erosie plaats, en aan de binnenbocht sedimentatie. Opmerkelijk is echter dat er in oostelijke richting van het slik sedimentatie plaatsvindt in de buitenbocht van de geul. In de eerste plaats zou dit verklaard kunnen worden door het feit dat er in de afgelopen jaren een verbreding van de bocht heeft plaatsgevonden. Daarnaast is de wand ter plaatse vrij steil.

Uit afbeelding 6.2 blijkt dat de schorrand op het westelijke deel van het slik geërodeerd is en op het oostelijke deel stabiel is gebleven tussen 1993 en 1996.

6.6. Wind

Waarde-west

De windsnelheden bereiken een maximum van ongeveer 6 m/s. Gedurende de meetcampagne is er wind vanuit elke richting gemeten. De hoogste windsnelheden zijn gemeten bij een noord tot noordwesten wind.

Waarde-oost

De windsnelheden variëren tussen circa 0 en 7 m/s. De maximale snelheid ligt iets hoger dan de jaarlijks gemiddelde snelheid, nl. 5 à 6 m/s. De wind draait van het zuidzuidwesten naar het noorden (met de klok meedraaiend) (afb. WO-1). In de andere slikgebieden kan er minder duidelijk onderscheid gemaakt worden tussen de afzonderlijke windrichtingen.

De verschillen in de windrichtingen in Waarde-west en Waarde-oost worden verklaard door de meetcampagnes die in verschillende perioden zijn uitgevoerd.

6.7. Waterstanden

Langs de raalen 2 en 4 zijn de waterstanden gemeten op twee locaties, nl. op de hoger gelegen delen van het slik (meetpunt 3) en de lager gelegen delen (meetpunt 5).

Waarde-west

Uit de waarnemingen bij meetpunt 5 komt naar voren dat er sprake is van een dubbel-daags getij. De afbeelding van waterstand 3 (afb. WW-2) laat zien dat er drie verschillende beginpunten van de relatieve getijfase zijn. De relatieve getijfase geeft aan welke fractie van de cyclus is verlopen op het moment waar de waarneming betrekking op heeft. Met andere woorden, de waarnemingen van de waterstanden hebben plaatsgevonden op verschillende momenten van de getijcyclus. Dit blijkt ook uit de afbeelding rechtsboven van WW-3.

De simultaan gemeten waterstanden in meetpunt 3 en 5 komen goed overeen (afb. WW-3). Hierbij dient opgemerkt te worden dat het aantal metingen echter beperkt is en slechts een klein deel van de getijcyclus beslaat.

Waarde-oost

De waarnemingen laten zien dat ook Waarde-oost wordt gekenmerkt door een licht asymmetrisch dubbel-daags getij. Afb. WO-2 met betrekking tot meetpunt 5 laat enkele merkwaardige uitschieters in de waterstanden zien. Dit treedt niet op bij meetpunt 3. De enige verklaring hiervoor is meetfouten.

Daarnaast is in meetpunt 5 in drie van de getijcycli sprake van opvallend laag water, nl. 100 cm lager dan de overige gemeten waterstanden. Het zou kunnen zijn dat er in die tijd een oosten wind staat, maar van de eerste paar dagen zijn geen windmetingen. Daarbij komt dat er in de dagen daarop volgend ook een oosten wind heeft gestaan, maar dan treedt er geen verlaging van de waterstand op. De windrichting vormt dus geen verklaring voor de drie lagere waterstanden. De lage waterstanden zijn gemeten tijdens het begin van de meetcampagne. Een waterstandsverschil van 1 m is aanzienlijk. Koster Engineering heeft aangegeven dat tijdens de meetcampagne de vlotter niet zo goed gefunctioneerd heeft (lit.[1]). Dat zal waarschijnlijk ook de verklaring zijn voor het grote waterstandsverschil.

De gemeten waterstanden bij meetpunt 3 zijn systematisch 20 cm hoger dan die bij meetpunt 5 (afb. WO-3). Net als in de andere gebieden waar dit verschijnsel wordt waargenomen, wordt ook hier verondersteld dat dit verschil wordt veroorzaakt door verschillend gekozen referentieniveaus.

Net zoals het slik bij Bath, is er nauwelijks verschil tussen Waarde-west en Waarde-oost in de mate van asymmetrie (afb. WO-2 en WW-2), waardoor gradiënten in getij-residueel transport van sediment niet verwacht worden.

6.8. Strooming

In deze paragraaf behandelen we per deel de metingen met betrekking tot stroomrichting en stroomsnelheid. Vervolgens worden de veranderingen in de strooming ten gevolge van de wind (snelheid en richting) beschreven. Tot slot worden de stroombaanmetingen beschreven. Deze metingen zijn uitgevoerd tijdens vloed en eb.

Waarde-west

Het stromingsbeeld op Waarde-west is niet eenduidig. Metingen in de meetpunten 1, 2 en 5 geven aan dat daar de gemiddelde stroomsnelheden tijdens vloed nagenoeg gelijk /iets groter zijn tijdens eb. De ebstrooming gaat voornamelijk naar het westen en de vloedstrooming naar het oosten/oost-noordoosten. In meetpunt 4 zijn iets hogere gemiddelde stroomsnelheden gemeten tijdens eb dan tijdens vloed. Op de hoger gelegen meetlocatie, meetpunt 3, is de richting van de vloedstrooming moeilijk te onderscheiden. Wel is de gemiddelde stroomsnelheid maximaal bij een westelijke stroomrichting, waarschijnlijk is dit de ebstroomrichting. De afwezigheid van een duidelijke vloedrichting zou verklaard kunnen worden doordat meetpunt 3 tegen de zeer steile, bijna klifvormig schorrand ligt. Tijdens vloed wordt de strooming gehinderd en in verschillende richtingen verspreid door de steile schorrand.

In meetpunt 2 zijn de stroomrichtingen boven in en onder in de verticaal gemeten. De stroomrichtingen onder en boven in de verticaal zijn voornamelijk noordoostelijk (vloed) of zuidwestelijk (eb) gericht. Vlak voor de kentering van eb naar vloed verandert de stroomrichting onder in de verticaal, nl. naar het noordwesten. Op hetzelfde moment is de stroming boven in nul, ofwel het meetpunt boven in staat droog.

Bij elke windsnelheid is de stroomsnelheid nagenoeg even groot. Dus de stroomsnelheid is bij deze gematigde winden onafhankelijk van de windsnelheid (afb. WW-11). Dit geldt ook voor de windrichting.

stroombaanmetingen

Gedurende de meting staat er een zwakke wind van 5 m/s uit het oost-zuidoosten. Uit de stroombaanmetingen wordt het volgende herleid:

- tijdens vloed vindt er versnelling van de stroming plaats in oost-zuidoostelijke richting. Als de drijver naar het oosten gaat, buigt de stroombaan iets in de richting naar het slik en de schorrand toe;
- tijdens eb vindt er in eerste instantie een versnelling plaats. Vlak daarna treedt er een vertraging op in west-noordwestelijke richting, ongeveer parallel aan de schorrand.

Waarde-oost

Uit de metingen bij de meetpunten 2, 3 en 4 komt naar voren dat de stroomsnelheden bij vloed gemiddeld iets hoger zijn dan bij eb (afb. WO-5, WO-6, WO-7 en WO-8). In de meetpunten 1 en 5 zijn de stroomsnelheden tijdens eb groter dan tijdens vloed (afb. WO-4 en WO-9).

In meetpunt 2 is zowel boven als onder in de verticaal de stroming gemeten. Onder in vertonen de gemeten stroomrichtingen tijdens de meetcampagne een vrijwel gelijkmatig patroon. Tijdens vloed is de stroomrichting boven in en onder in naar het oost-noordoosten gericht (ongeveer 55°) en tijdens eb is de stroming naar het west-zuidwesten gericht (ongeveer 255°). Tijdens de kentering van vloed naar eb vertoont de stroomrichting boven in de verticaal een (tijdelijke) uitschieter in noordwestelijke richting. Direct daarna is de stroomrichting boven in nagenoeg gelijk aan de richting onder in. De windrichting en de windsnelheid variëren tijdens de meetcampagne, terwijl de richtingsveranderingen van dezelfde orde van grootte zijn. Hier speelt dus niet de invloed van wind een rol. Een mogelijke verklaring kan gevonden worden in meetfouten. Ook op Waarde-oost staat meetpunt 2 tijdens een deel van de meetcampagne droog.

De stroomrichting op de hoger gelegen delen van het slik, op punten 1 en 3, is oost-west georiënteerd. De stromingen gemeten op meetpunt 3 zijn nagenoeg parallel aan de NAP + 1,00 m lijn. Op de lager gelegen delen, punten 2 en 5, vlakbij de Geul van Zimmerman, is de vloedstroom noordoost tot oost-noordoost georiënteerd en de ebstroom west-zuidwest tot west. In meetlocatie 4 heeft de vloedstroming een oost-zuidoostelijke richting en de ebstroming een west-noordwestelijke richting. De verschillende stroomrichtingen zijn te verklaren doordat de stroomrichting nabij het schor beïnvloed wordt door de kortsluiting. De stroomrichting op de lagere gelegen meetpunten wordt beïnvloed door de oost-noordoostelijke stroomrichting in de Geul van Zimmerman. Door deze geul wordt de vloedstroming naar het noordoosten gebogen.

Tijdens de meetperiode zijn duidelijk verschillende windrichtingen te onderscheiden, nl. een west-noordwestenwind en een zuid tot zuidwesten wind. Als de wind vanuit het west-noordwesten komt bedraagt de gemiddelde stroomsnelheid tijdens de meetcampagne ongeveer 100 cm/s. Bij een zuid tot zuidwesten wind is de stroomsnelheid gemiddeld ongeveer 120 cm/s. Bij een west-noordwesten wind is de stroomsnelheid dus lager dan bij een zuid tot zuidwestenwind (afb. WO-10), terwijl de windsnelheid bij een west-noordwesten wind hoger is dan bij een zuid-zuidwestenwind. Met andere woorden, uit de resultaten blijkt dat de windrichting een rol speelt in de stroomsnelheid. Daarnaast wordt de stroomsnelheid beïnvloed door het getij. Uit afb. WO-11 blijkt dat tussen de stroomsnelheid en de windsnelheid geen verband bestaat.

stroombaanmetingen

Gedurende de meting stond er een zwakke wind met een snelheid van 4 m/s uit het zuid-zuidwesten. Uit de stroombaanmetingen wordt het volgende herleid:

- tijdens vloed vindt er een versnelling plaats in oost-zuidoostelijke richting, met andere woorden van de schorrand af;
- tijdens eb wisselt het beeld van versnelling en vertraging. vlak na het keerpunt van vloed naar eb versnelt de stroming in west-noordwestelijke richting, de richting van het slik. Maar kort daarop vertraagt de stroming, eveneens in de richting van het slik.

Uit de metingen blijkt dat zowel tijdens vloed als tijdens eb de stroomsnelheden in Waarde-oost hoger zijn ten opzichte van die gemeten in Waarde-west.

De metingen laten zien dat op de lager gelegen meetpunten de vloedstroming is gericht naar het slik en de schorrand toe. Vroon et al. (lit.[3]) wijzen dit als oorzaak aan voor de verlaging van het slik bij Waarde.

In zowel Waarde-west als Waarde-oost wordt de stroomrichting in de meetpunten nauwelijks beïnvloed door de windsnelheid, het stromingspatroon wordt door het getij gedomineerd.

6.9. Golven

Waarde-west

De golfperiode die is gemeten in meetpunt 3, vertoont geen duidelijke relatie met de significante golfhoogte die op dezelfde plaats is gemeten (afb. WW-14). Dit geldt ook in meetpunt 5. Wel is er een verband aanwezig tussen de tegelijkertijd gemeten golfperiodes van meetpunten 3 en 5 (afb. WW-16). Dit komt overeen met de algemene opvatting dat de golfperiode van golven naar de kust toe constant blijft.

Op meetpunt 5 is een herkenbaar verband tussen de significante golfhoogte en windsnelheid aanwezig (afb. WW-19), op meetpunt 3 is echter moeilijker een verband te herkennen (afb. WW-18). Dit zou verklaard kunnen worden door de periodes waarover de significante golfhoogten zijn berekend. De periode waarover golfhoogten zijn gemeten op meetpunt 5 is aanzienlijk korter dan op meetpunt 3.

Gedurende twee dagen heeft er een zwakke tot gematigde wind gestaan: 5 tot 6 m/s versus 3 tot 4 m/s tijdens de rest van de meetcampagne. De significante golfhoogte op deze dagen is aanzienlijk hoger dan op de overige dagen, nl gemiddeld 30 cm versus gemiddeld 10 cm in de relatief rustige periode in meetpunt 5. In meetpunt 3 is de significante golfhoogte tijdens de hardere wind gemiddeld 20 cm en tijdens de overige dagen ongeveer 7 cm. De significante golfhoogte op Waarde-west is dus positief gecorreleerd met de windsnelheid.

Als de windrichting vanuit het noordwesten komt, is de golfhoogte groter dan bij andere windrichtingen (afb. WO-20). Tijdens noordwesten wind zijn de hoogste windsnelheden gemeten. Bij wind uit de overige richtingen met vergelijkbare windsnelheden is de significante golfhoogte nagenoeg constant. Met andere woorden, op Waarde-west bestaat geen verband tussen de significante golfhoogte en de windrichting.

Tussen de golfhoogte en de stroomsnelheid bestaat op beide locaties geen verband. De golfhoogte in meetpunt 5 in de ebstroomrichting is nagenoeg gelijk aan die in de vloedstroomrichting.

Tijdens de meetperiode op het slik bij Waarde-west is de significante golfhoogte redelijk constant, er zijn geen uitschieters. Hetzelfde geldt voor het windklimaat.

Waarde-oost

Net als in Waarde-west is in meetpunt 3 en meetpunt 5 geen herkenbaar verband aanwezig tussen de significante golfhoogte en de golfperiode (afb. WO-14 en WO-15). De golfperiodes in de twee meetpunten vertonen wel een relatie (afb. WO-16). Dit geldt tevens voor de significante golfhoogten.

Tijdens de meetperiode zijn de windsnelheden redelijk constant geweest. De berekeningen van de significante golfhoogte laten geen uitschieters zien. Op beide meetlocaties lijkt er een verband te bestaan tussen de significante golfhoogte en de windsnelheid (afb. WO-18 en WO-19). Hierbij dient echter te worden opgemerkt dat het aantal simultane metingen beperkt is en dient dus met de nodige voorzichtigheid gebruikt te worden.

Als de wind vanuit het zuidwesten komt, is de significante golfhoogte op meetpunt 3 groter dan als de wind vanuit het west-noordwesten komt bij een vergelijkbare windsnelheid. Op meetpunt 3 bestaat een verband tussen de significante golfhoogte en de windrichting (afb. WO-20). Op meetpunt 5 is geen windrichting aan te wijzen waarbij de significante golfhoogte duidelijk verschilt van een golfhoogte bij een andere windrichting. Met andere woorden, de windrichting gaat een rol spelen voor de significante golfhoogte, op het hoger gelegen, en dus ondiepe, deel van het slik. Op het lager gelegen deel van het slik speelt de windrichting nauwelijks een rol.

Ook op Waarde-oost bestaat tussen de significante golfhoogte en de stroomsnelheid geen relatie (fig WO-22 en WO-23). Bovendien is de significante golfhoogte nagenoeg gelijk in de vloed- en de ebstroomrichting (afb. WO-24). Veranderingen in de stroomsnelheden en de stroomrichting hebben geen invloed op de significante golfhoogte.

Op het slik bij Waarde-oost is de significante golfhoogte op het lager gelegen deel drie maal aanzienlijk hoger dan tijdens de rest van de periode. Tegelijkertijd met deze uitschieters heeft er een relatief harde wind gestaan (twee maal 6,5 m/s en een maal 7 m/s t.o.v. 3 tot 4 m/s in de overige periode). Deze uitschieters op het lager gelegen deel variëren ongeveer 2 cm van elkaar.

7. SCHEEPSINVLOED

7.1. Inleiding

Als uitzondering op de gebiedsgerichte aanpak, wordt in dit hoofdstuk het onderwerp van scheepsgolven separaat behandeld. Het onderwerp leent zich niet voor een analyse vergelijkbaar met die van gemeten grootheden, uit de verwerkte golfgegevens kunnen geen scheepsgolven worden gedestilleerd. Derhalve is de analyse aangevuld met een theoretische beschouwing van scheepsgolven.

7.2. Theoretische beschouwing

Een mogelijke oorzaak van de schorerosie zouden de door schepen opgewekte golven kunnen zijn. Het ontbreken van gegevens over scheepspassages tijdens de meetcampagnes vormt echter een beperking in het vaststellen van het belang van scheepsgolven voor (de erosie) van het slik. De beschouwing van de invloed van scheepvaart op de hydraulica blijft derhalve beperkt tot een theoretische beschouwing. Hierbij wordt gebruik gemaakt van bestaande literatuur (lit. [5] en [6]).

De waterbewegingen veroorzaakt door een varend schip kunnen in vier groepen worden ingedeeld:

1. het primaire golfsysteem;
2. het secundaire golfsysteem;
3. translatiegolven;
4. schroefstralen.

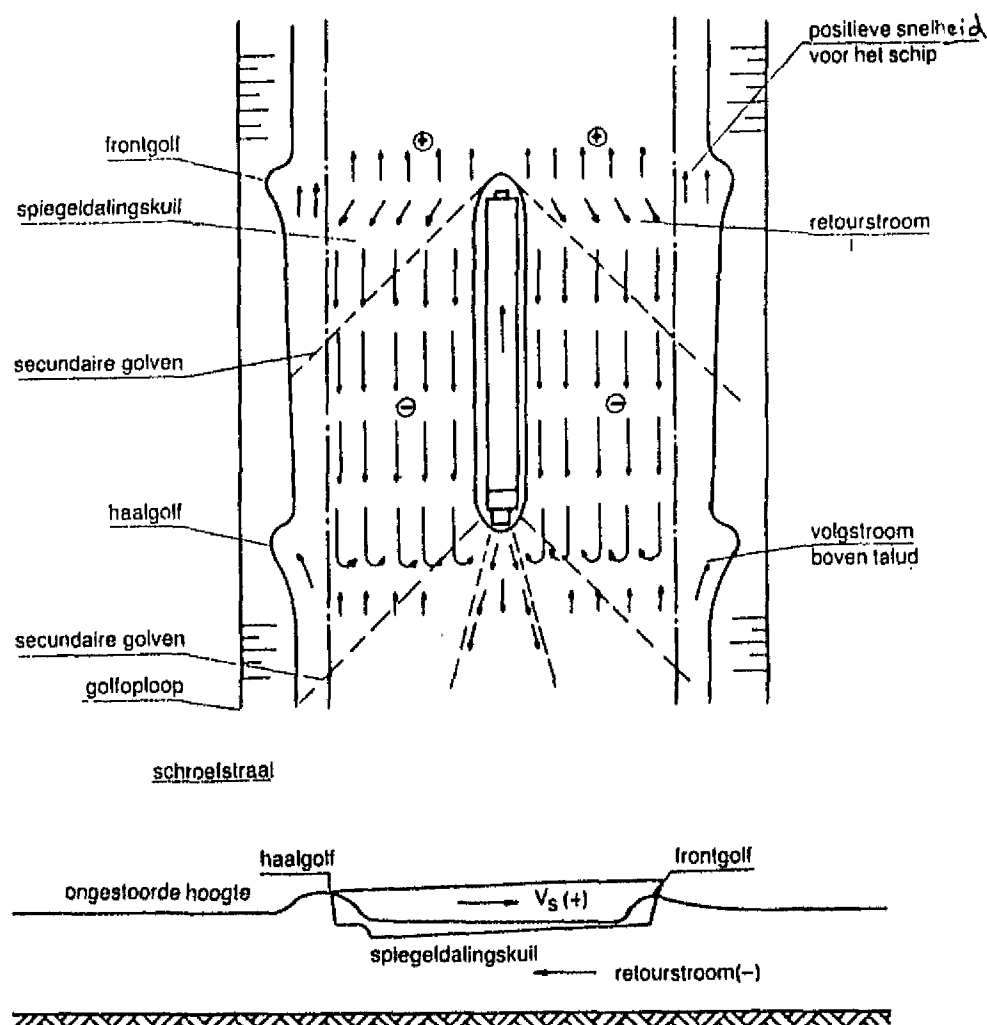
Het primaire en secundaire golfsysteem zijn hiervan het meest relevant.

Het primaire golfsysteem ontstaat door grote waterverplaatsingen rond een varend schip. Het water, dat door de boeg van het schip wordt verdrongen, verplaatst zich naar het achterschip om aldaar de vrijkomende ruimte op te vullen. Deze waterbeweging, de retourstroom, gaat gepaard met een waterspiegeldaling door het "verlies" aan snelheidshoogte. Bij de boeg wordt het water plaatselijk enigszins opgestuwd en ontstaat er een frontgolf. Verwacht wordt dat in de hier bestudeerde situatie deze golven niet van belang zijn.

Afhankelijk van de afstand tot de oever kan deze frontgolf een verhoging van de waterstand geven en een stroming veroorzaken op het slik. Bij het achterschip wordt een dergelijke opstuwing veroorzaakt door de schroef- en volgstroom (zie afb. 7.1).

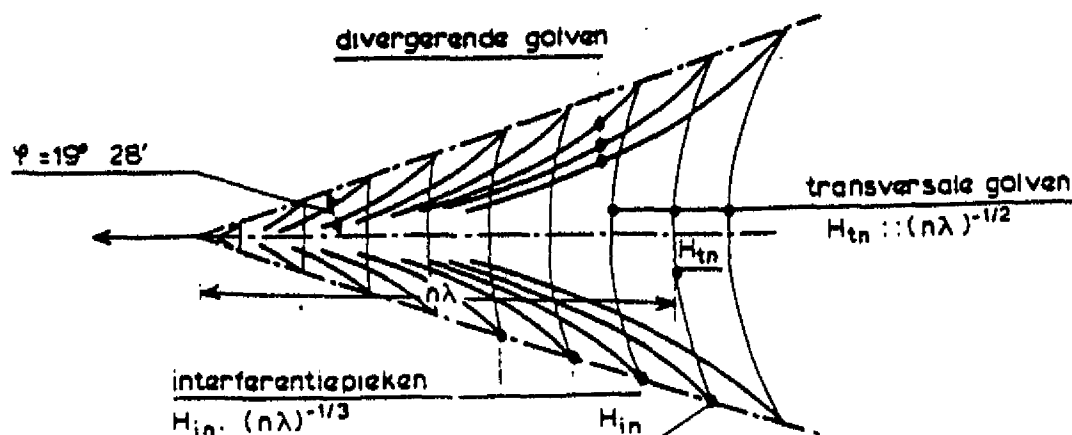
Naarmate de vaarsnelheid en dus de waterspiegeldaling toeneemt, moet over het traject een groter hoogteverschil worden overwonnen. Bij spiegelดาลing in de orde van 0,5 à 1 m gaat de haalgolf breken. In de zone achter de brekende haalgolf kunnen bij de oever (schorrand) hoge stroomsnelheden optreden in de zogenaamde taludvolgstroom. De grootte van de spiegelดาลing neemt af naarmate de afstand tot het schip groter wordt. Gezien de afstand tussen de slikken en de vaargeul wordt gesteld dat het effect van de taludvolgstroom nabij de schorrand klein is.

Het secundaire golfsysteem wordt veroorzaakt door discontinuïteiten in de waterspiegel langs de romp van het schip. Een varend schip veroorzaakt oppervlaktegolven die bij een normale vaarsnelheid kort zijn ten opzichte van de scheepslengte. Er ontstaat een golfpatroon van divergerende en transversale golven. Divergerende golven bewegen zijdelings van het schip en transversale golven bewegen zich loodrecht op de vaarlijn. In het secundaire golfsysteem worden interferentiegolven en transversale golven onderscheiden. Interferentiegolven ontstaan door interferentie van divergerende en transversale golven. Door diffractie neemt bij toenemende afstand van de boeg de golfhoogte af.



Figuur 3.5 Waterbewegingen rond een varend schip

De hoogte van de interferentiegolven nemen minder snel af dan de hoogte van transversale golven. De interferentiegolven worden dan prominenter. De interferentiegolven bereiken de oever eerder dan de transversale golven. (fig. 3.6) De invloed van het secundaire golfsysteem op (de erosie van) het slik is afhankelijk van de afstand tussen het slik en de vaargeul.



Figuur 3.6 Het patroon van golven opgewekt door een varend schip

Translatiegolven ontstaan wanneer een schip plotseling vertraagd of versneld of over een discontinuïteit in het dwarsprofiel van de vaargeul vaart. Voor de waterbewegingen op het slik zijn deze golven niet relevant. De hoogte van deze golven is gering ten opzichte van het primaire en secundaire golfsysteem.

De schroef van een schip veroorzaakt een geconcentreerde straal, waarin hoge snelheden (tot in de orde van 10 m/s) voorkomen. Deze stroming is zeer turbulent. De genoemde snelheid is ten opzichte van de snelheid van het schip. Ten opzichte van de vaargeul moet de scheepssnelheid van het schip van deze snelheid worden afgetrokken. De schroefstraal strekt zich uit tot een klein gebied achter het schip. Aangenomen wordt dat de waterbeweging ten gevolge van de schroefstraal een verwaarloosbaar effect heeft op bijvoorbeeld de stroomsnelheden op het slik.

Kornman (1991) heeft onderzoek verricht naar het effect van schepen op het hydrodynamische milieu van het slik bij Oost Saeftinghe. Uit dit onderzoek zijn de volgende zaken waargenomen:

- de effecten van het primaire golfsysteem op de stroomsnelheden waren klein. De stroomsnelheid nam maximaal 10 cm/s toe of af ten gevolge van de frontgolven, retourstroming en taludvolgstroom. De hoogst gemeten vloedstroomsnelheid varieerde tussen 40,5 en 61 cm/s;
- de secundaire scheepsgolven veroorzaakten geen toename in de stroomsnelheid (longshore current) langs de schorrand. Uit visuele observaties is wel gebleken dat deze golven tegen het klif van het schor aanliepen en vervolgens het sediment uit het klif in suspensie brachten. De gemiddelde significante golfhoogte van het secundaire systeem werd geschat op ongeveer 10 à 15 cm. De significante golfhoogte werd voornamelijk bepaald door de interferentiegolven;
- de vaarsnelheid van de schepen speelt een belangrijke rol in de golfhoogte. Middelgrote schepen met een hoge snelheid wekten hogere golven op dan grotere schepen met een lage snelheid zoals olietankers en containerschepen.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat het onderzoek alleen is verricht voor schepen die met de stroming meevoeren.

8. GEBIEDSVERGELIJKING

Teneinde te kunnen bijdragen aan het verkrijgen van inzicht in de morfologie van de onderzochte slikken, worden in dit vierde hoofdstuk overeenkomsten en verschillen tussen deze gebieden geïdentificeerd met betrekking tot waterbeweging en daaruit af te leiden transport van sediment, maar ook wat betreft sedimentologie en geometrie van de slikken zelf, alsmede die van de directe omgeving. De vergelijking van de gebieden is primair gericht op de morfologische ontwikkeling. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen kenmerken die een verandering weergeven (ruimtelijke patronen van erosie en sedimentatie, zoals die bijvoorbeeld uit verschilkaarten naar voren komen) en kenmerken die de hoedanigheid van een slik op een bepaald moment weergeven (de vorm van een slik en de bodemsamenstelling).

De vergelijking van gebieden onderling wordt in hoge mate gestuurd door de bevindingen van de beschouwing van individuele slikken, zoals beschreven in het voorgaande hoofdstuk. Die bevindingen zijn samengevat in tabel 4.1. Op een enkele plaats, echter, is de informatie in deze tabel in het kader van de vergelijking van gebieden onderling gericht aangevuld.

8.1. Gebiedskenmerken

In deze paragraaf worden de overeenkomsten en verschillen in gebiedskenmerken tussen de beschouwde slikken en schorren besproken.

De vier slikken en schorren liggen in het estuarium van de Schelde, in de Westerschelde. De schorren bij Zuidgors, Paulinapolder, Bath en Waarde lijken min of meer te zijn ingeklemd tussen zeewaartse uitstulpingen in de waterkering (dijk) of, anders gezegd, ze liggen in inhammen die door het tracé van de waterkering wordt gevormd. Alle slikken worden begrensd door een achterliggende dijk. Zowel nabij het slik bij Paulinapolder als nabij het slik bij Zuidgors zijn dammen aanwezig, nl. ten westen van Paulinapolder en ten westen (havendam) en oosten van Zuidgors.

Alle slikken en schorren hebben min of meer een langgerekte vorm. De oriëntatie van een slik vertoont overeenkomst met die van de lengte-as van het estuarium op de plaats waar het slik zich bevindt. De slikken bij Zuidgors, Bath en Waarde liggen aan de noordzijde van de Westerschelde. De oriëntatie van de slikken bij Zuidgors en Bath is vergelijkbaar, beide zijn noordoost-zuidwest georiënteerd, terwijl het slik bij Waarde noordwest-zuidoost is georiënteerd. Daarentegen ligt het slik bij Paulinapolder aan de zuidzijde van de Westerschelde en is zuidoost-noordwest georiënteerd.

De volgorde van de slikken met toenemende afstand tot de Noordzee is Paulinapolder, Zuidgors, Waarde en Bath. De slikken bij Paulinapolder en Zuidgors liggen in het westelijke deel van de Westerschelde en de overige twee slikken liggen in het oostelijke deel. Ten noordwesten van het slik bij Paulinapolder en ten oosten van het slik bij Zuidgors liggen platen. Onderwaterbanken zijn ten noorden van Paulinapolder en ten oosten en ten zuidoosten van Waarde aanwezig.

Het slik bij Zuidgors ligt aan de binnenbocht van een diepe geul, het slik bij Bath aan de buitenbocht en de slikken bij Paulinapolder en Waarde liggen aan een min of meer recht deel.

De hoofdvaarroute in de Westerschelde passeert via de Pas van Terneuzen het slik bij Paulinapolder op 1 tot 1,5 km afstand. De Pas van Terneuzen staat in verbinding met de Thomasgeul, die min of meer loodrecht op dit slik staat. De afstand tussen de hoofdvaarroute en het slik bij Bath is minder dan 0,5 km. In felte ligt de vaargeul tegen het slik aan. Het westelijke deel van het slik bij Zuidgors ligt tegen een drukke nevenvaarroute, de geul van Everingen. Het slik heeft ter plaatse een zeer steil profiel. Richting het oosten neemt de afstand tussen de nevenvaargeul en het slik toe. Het slik bij Waarde is het enige slik dat op grote afstand van de scheepvaartroute ligt, nl. minimaal 6 km.

Tabel 4.1 Samenvatting van gegevens van de bestudeerde slikken

	Zuidgors				Paulinapolder		Bath				Waarde			
meetperiode	23 sept. t/m 8 okt. '96		9 t/m 23 sept. '96		14 t/m 30 okt. '96		10 t/m 23 juni '96		7 t/m 20 mei '96		9 t/m 31 juli '96		25 juni t/m 9 juli '96	
deel	west		oost		midden		west		oost		west		oost	
fenomeen schorrand	erosie		sedimentatie		sed. erosie		0		erosie		erosie		erosie + 0	
raai	4	3	2	1	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
fenomeen langs raai	0	erosie	vnf. erosie	erosie + sed.	0	sed. + erosie	0	erosie + 0	erosie + 0	0	sed. + erosie	erosie	erosie	sed. op bolling
dwarsprofiel	vlak/bol	vlak/bol	vlak/bol	vlak/bol	bol	bol-plat- hol	bol-vlak- hol	bol	bol-vlak	bol	bol-vlak	hol	plat- hol	bol
gem.max. snelheid (cm/s)	eb	vloed	eb	vloed	eb	vloed	eb	vloed	eb	vloed	eb	vloed	eb	vloed
- mp1	35	50	-	-	25	25	40	10	15	20	50	70	70	40
- mp2 onder	50	90	60	110	45	40	60	30	-	-	75	85	110	130
- mp2 boven	80	150	90	150	50	30	-	-	30	50	100	110	100	160
- mp3	30	40	25	25	13	10	40	10	-	-	40	15	50	70
- mp4	35	50	30	50	30	10	45	30	30	40	40	35	60	100
- mp5 onder	50	70	50	75	45	20	60	55	-	-	50	60	85	50
- mp5 boven	100	75	100	50	50	30	-	-	-	-	-	-	-	-
afstand (m)														
- mp1 - mp2	90		245		140		260		280		150		230	
- mp3 - mp4	25		140		200		190		165		50		160	
- mp4 - mp5	75		150		240		260		185		80		245	
getij:														
-dominantie:														
* laag gelegen deel	vloed		vloed		eb		eb		vloed		eb/vloed		eb/vloed	
* nabij schorrand	vloed		0		eb		eb		vloed		eb/vloed		eb/vloed	
-richting	oost-west		oost-west		oost-wzw		ono- wzw		oost-west		ono-west		oost-west	
windsnelheid (m/s)	0 - 7,5		0,5 - 6		0,3 - 8,5		0 - 4,5		0 - 4,5		0 - 6		0 - 7	
sign.golthoogte (cm)														
- nabij schorrand	5-40		5-15		5-10		5-25		5-18		2-25		5-40	
- laag gelegen deel	5-65		5-50		5-55		5-35		5-35		5-50		5-50	
ligging t.o.v.vaargeul	binnenbocht				recht		buitenbocht				recht			
bodemsamenstelling	geulzijde: zand >75%, slib 5% schorzijde: zand 43-57%, slib 16-24%				west: geulzijde: zand 57 %, slib 13% schorzijde: zand 81%, slib 7% oost: geulzijde: zand 70 %, slib 8% schorzijde: zand 53%, slib 19%		geulzijde: zand >75%, slib 2-10% schorzijde: zand >75%, slib 3-8% slib% west is lager dan slib% oost veenlaag aanwezig				raai 1/4: geulzijde: zand 91/73%, slib 3/10% schorzijde: zand 77/64%, slib 7/12% raai 2/3: geulzijde: zand 37/44 %, slib 4/4%, schorzijde: zand 56/56, slib 20/30% veenlaag aanwezig			
stortlokatie	ten zuiden van slik (Everingen)				ten noordwesten (Schaar van Spijker- plaat)		ten zuiden van slik (Schaar van de Noord)				ten westen van slik (Schaar van Waarde + Platen van Ossensisse)			
intergetijde gebied	raai1 + 4: lager gelegen locaties laagdyna- misch, slibarm, overige slibrijk				laagdynamisch, slibrijk		laagdynamisch, slibrijk				raaien 1 + 4: hoogdynamisch raaien 2/3: laagdynamisch, slibrijk			
bijzonderheden					dwarsdam ten wes- ten van slik noord: onderwater- bank noordwest: plaat		oeververdediging op geul(slik)rand bij Bath- oost				oost + zuid: platen			

0 geen verandering in de bodemhoogte opgetreden
 - de metingen zijn niet uitgevoerd, mislukt of niet betrouwbaar bevonden (lit. [1]).

Het merendeel van de meetlocaties ligt in een laagdynamisch en slibrijk intergetijde gebied. Uitzondering hierop vormen de lager gelegen locaties op raalen 1 en 4 van het slik bij Zuidgors, deze liggen in een laagdynamisch, slibarm gebied. De bodemsamenstelling op het slik bij Zuidgors laat een afwisselende samenstelling zien (wellicht ook elders): in de zomer slibrijk en in de winter verdwijnt het slib. Van een hoogdynamisch gebied is alleen sprake op meetlocaties 1 en 2 op het slik bij Waarde-west en op meetlocaties 4 en 5 bij Waarde-oost (lit.[4]).

8.2. Bodemontwikkelingen

Als basis voor de analyse van bodemontwikkelingen worden hebben de verschilkaarten van de vier onderzoeksgebieden (afb. 3.1, 4.1, 5.1 en 6.1) gediend en de kaarten waarop de schorren zijn afgebeeld (afb. 3.2, 4.2, 5.3 en 6.2). de verschilkaarten hebben hoofdzakelijk betrekking op het slik van de onderzoeksgebieden.

Uit de verschilkaarten blijkt dat de slikken bij Zuidgors en Waarde het sterkst aan erosie onderhevig zijn. Afgezien van een tweetal locaties op de lager gelegen delen op het slik bij Bath zijn nauwelijks veranderingen in de bodemhoogte opgetreden op het slik bij Bath. Ook op het slik bij Paulinapolder is nauwelijks erosie opgetreden, afgezien van een aantal kleine lokale sedimentatie of erosiegebieden. Deze afwijkingen houden verband met de aan de westzijde gelegen dam.

De randen van de schorren bij Zuidgors, Bath-oost en Waarde-west zijn aan erosie onderhevig. De randen van de schorren bij Bath-west en Waarde-oost zijn nauwelijks tot niet aan erosie onderhevig. De schorrand bij Paulinapolder toont een afwijkend beeld. Hier kunnen twee schorranden worden onderscheiden (afb. 4.2). Mogelijk heeft er tussen de twee randen sedimentatie en vervolgens vegetatie-ontwikkeling plaatsgevonden. Daarnaast blijkt uit de afbeelding dat de oorspronkelijke schorrand is geërodeerd.

8.3. Kenmerken van het slik

In deze paragraaf worden de kenmerken die de hoedanigheid van de beschouwde slikken op een bepaald moment weergeven. Het betreft de vorm van het slik en de bodemsamenstelling.

8.3.1. Dwarsprofiel

De beschouwde slikken zijn verschillend van vorm. Het slik bij Zuidgors heeft een stelletje, rechte vorm met een lichte bolling. Het slik bij Paulinapolder is vrij plat van vorm, nabij het Vaarwater langs Paulinapolder heeft het slik een sterke bolling. Het slik bij Waarde heeft een koekepanvormig profiel, m.a.w. aan de oost- en westzijde is het slik bol van vorm en in het midden hol. Het slik bij Bath is in het westen hol van vorm en gaat in de richting van het oosten over in een bol profiel.

De meest uitgesproken bolle profielen komen voor op de slikken bij Bath en Waarde, waarbij de sterkste bolling aanwezig is op het slik bij Bath. Op deze slikken en op Paulinapolder zijn ook uitgesproken holle profielen aanwezig. Op zowel holle als bolle profielen heeft erosie van het slik plaatsgevonden. Ook de randen van de schorren van slikken met zowel holle als bolle profielen zijn aan erosie onderhevig.

8.3.2. Bodemsamenstelling

De vergelijking van de gebieden met betrekking tot de bodemsamenstelling van de slikken wordt bemoeilijkt doordat de bodemsamenstelling eenmalig is bepaald. Het is echter bekend dat de sedimentatie en erosie van slib in de Westerschelde seizoensfluctuaties vertonen.

In het algemeen is op de lager gelegen locaties een hoge zandfractie aangetroffen. Hoge slibfracties op de hoger gelegen delen van de slikken zijn aangetroffen op de slikken bij Zuidgors en Waarde.

Er is sprake van variatie in de verhouding tussen zand en slib in de dwarsdoorsnede van het slik. Op een aantal locaties neemt de slibfractie in de richting van het schor toe en de zandfractie af, zoals op Zuidgors, Waarde en het oostelijk deel van Paulinapolder. Op andere plaatsen neemt de slibfractie in de richting van de geul toe, zoals op het westelijke deel van Paulinapolder of varieert nauwelijks, zoals op Bath.

Dat de slibfractie richting de geul toeneemt is op zich merkwaardig. Dichtbij de geul is de stroming intenser (gemiddeld hogere snelheid en gedurende een kleiner deel van de tijd drooggevallen) dan in de buurt van een schorrand. Op grond hiervan zou men een tegengesteld verschijnsel verwachten. De situatie op het slik bij Paulinapolder is echter uniek vanwege de aan westzijde gelegen dam, zie paragraaf 4.2.1. Het slik van Bath onderscheidt zich van de overige slikken, omdat zowel op het hoger als het lager gelegen deel relatief hoge zandfracties zijn aangetroffen.

Op basis van de meetgegevens is het moeilijk een verband te leggen tussen de bodemsamenstelling en de hydrodynamiek.

Op hoger gelegen locaties waar een grote stroomsnelheid is gemeten, bestaat de bodemsamenstelling uit een relatief hoge slibfractie, zoals op de slikken bij Zuidgors en Waarde. Een uitzondering hierop is op het oostelijke deel van Zuidgors. Hier is bij lage stroomsnelheden een hoog slibgehalte aangetroffen. Mogelijk is dit toe te wijzen aan de seizoensfluctuaties. Op andere hoger gelegen locaties, waar de stroomsnelheid relatief laag is, bestaat de bodem voornamelijk uit zand, zoals op de slikken bij Bath en Paulinapolder (oost).

Op een aantal lager gelegen locaties waar de stroomsnelheden hoog zijn, zijn grote zandfracties aangetroffen, zoals op het slik bij Zuidgors.

Op de slikken bij Paulinapolder, Bath en Waarde zijn veenlagen in de ondergrond aanwezig. De profielen hebben een vergelijkbare holle vorm.

8.4. Kenmerken die een verandering weergeven

Ter wille van de overzichtelijkheid worden slikken bij hun onderlinge vergelijking verdeeld in twee vrij arbitraire stroken. Een daarvan omvat het hoog gelegen deel van het slik dat tegen de rand van het schor aan ligt. De andere strook omvat het laag gelegen deel van het slik, grofweg vanaf de NAP +0,00 m diepte contour.

8.4.1. Laag gelegen deel van het slik

Ruimtelijke patronen van en sedimentatie die uit de verschilkaarten voor de periodes 1982-1990, 1990-1996 en 1993-1996 naar voren komen, laten geen duidelijke overeenkomsten zien tussen de vier beschouwde slikken. Op het eerste gezicht lijkt dat niet erg verwonderlijk. Immers, de vier gebieden ontspringen elkaar nogal als het gaat om, bijvoorbeeld, de aanwezigheid van een (diepe) geul juist zeewaarts van het slik, de ligging van het slik ten opzichte van de as van het estuarium en de daarin optredende kromming, de aanwezigheid van slecht erodeerbare lagen en bodembescherming. In feite zijn er meer verschillen dan overeenkomsten tussen de vier gebieden. Deze worden hieronder nader toegelicht.

Bath

Het slik van Bath bevindt zich in het meest oostelijke deel van het Schelde estuarium en is gelegen aan de buitenbocht van de hoofdgeul. De morfologische ontwikkeling van de rand van het slik wordt vergaand bepaald door processen die ook bij bochten van rivieren optreden. Door de kromming van de hoofdgeul treden zowel bij eb als bij vloed verticale circulaties op, waarbij in het bovenste deel van de waterkolom de stroming naar de buitenbocht toe gericht is, terwijl de stroming onder in de verticaal een tegengestelde richting heeft. Deze persistente circulatie leidt tot erosie van de buitenbocht. Bij het slik van Bath is die erosie deels bestreden door een bestorting op het bovenste deel van de onderwateroever van de buitenbocht. Bovendien bevindt zich in de ondergrond van het slik een relatief moeilijk erodeerbare veenlaag. Echter, de zandlaag daaronder erodeert wel,

waardoor het veen langzaam wordt ondergraven en bezwijkt. Op deze manier zal de erosie zich vertraagd in de tijd manifesteren.

Uit de stroommetingen die op het westelijke deel van het slik bij Bath zijn uitgevoerd, valt af te leiden dat de stroming langs de rand van het slik ook erosie veroorzaakt. Dit is ontleend aan simultane waarnemingen aan de stroomsnelheid op de meetpunten 2 en 5, waarbij alleen gekeken is naar de waarnemingen die betrekking hebben op de stroming juist boven de bodem. Voor wat betreft de capaciteit om sediment te transporteren geven deze metingen onder in de verticaal een meer betrouwbaar beeld dan de stroming die hoger in de verticaal is gemeten.

Uit simultane waarnemingen van de stroomsnelheid in de beide meetpunten is een momentane verandering in de capaciteit om sediment te transporteren herleid. Dit is uitgevoerd door het verschil te bepalen tussen de snelheden die op een bepaald tijdstip in de meetpunten zijn waargenomen, nadat die snelheden elk tot een macht groter dan 1 zijn verheven. Door de stroomsnelheid tot een macht groter dan 1 te verheffen wordt een maat voor het sedimenttransport verkregen. Zodoende leidt de volledige bewerking tot een indicatie van de verandering in sedimenttransport op het traject van het ene meetpunt naar het andere.

De hierboven omschreven werkwijze is separaat toegepast op waarnemingen die betrekking hebben op vloed en op eb. Vervolgens is voor beide situaties het gemiddelde bepaald voor de maat voor verandering in sedimenttransport. Het teken van dit verschil geeft aan of er netto sedimentatie of juist erosie is.

Op het westelijke deel van het slik bij Bath is de vloedstroom gericht van meetpunt 5 naar meetpunt 2. In deze richting neemt de stroomsnelheid af. De tegengesteld gerichte ebstroom versnelt tussen de meetpunten 2 en 5. De daarmee gepaard gaande toename van de transportcapaciteit overtreft de afname die de vloedstroom te zien geeft. Het netto effect is dus erosie van dat deel van het slik dat het dichtst bij de hoofdgeul van het estuarium gelegen is.

Een dergelijke exercitie voor het oostelijke deel van het slik kan niet worden uitgevoerd omdat voor dat deel geen simultane waarnemingen beschikbaar zijn voor twee meetpunten die langs de rand van het slik gelegen zijn.

Waarde

Het slik van Waarde ligt, net als dat van Paulinapolder, langs een betrekkelijk recht deel van het Schelde estuarium. Anders dan bij Bath gaat het slik bij Waarde niet echt over in een geul. Alleen in het meest oostelijke deel wordt het slik min of meer begrensd door de Zimmermangeul. Elders vertoont het slik een betrekkelijk flauw hellende vooroever. Echter, voor het slik is momenteel wel een (kortsluit)geul in ontwikkeling. Deze geul zal, als de ontwikkeling zich volgens het huidige patroon voort zet, in de toekomst een verblinding vormen tussen de Zimmermangeul en de Schaar van Waarde.

Stromingen, geregistreerd in de meest zeewaarts gelegen meetpunten, vertonen onderling een overeenkomstig patroon. De vloedstroom heeft een veel sterkere component dwars op het slik dan de ebstroom. Met name in het oostelijk deel van het slik wordt de richting van de vloedstroom bepaald door de stroming in de Zimmermangeul. Stroomafwaarts, dus in westelijke richting, lijkt deze invloed zich voort te zetten.

In het oostelijke deel van het slik vertoont de vloedstroom een versnelling (gezien van meetpunt 5 naar meetpunt 2), terwijl de ebstroom (van meetpunt 2 naar meetpunt 5) juist vertraagt. Vergelijking van stroomsnelheden op dezelfde manier zoals beschreven voor het slik bij Bath, leert dat er netto sprake zou moeten zijn van erosie. Uit de verschilkaart 1993-1996 blijkt dat echter slechts in een deel van het gebied tussen beide meetpunten het geval te zijn. Met name rond meetpunt 2 (het meest oostelijke meetpunt) treedt sedimentatie op.

Een mogelijke verklaring voor deze discrepantie is gelegen in de stroomrichting die in beide meetpunten is waargenomen. Daaruit blijkt dat met name tijdens vloed de stroming niet echt gericht is van het ene meetpunt naar het andere. Dat houdt in dat de herleiding van veranderingen in sedimenttransport uit verschillen in waargenomen stroomsnelheid hier niet op z'n plaats is.

Zuidgors

Qua ligging ten opzichte van de hoofdgeul van het estuarium en de daarin optredende kromming, wijkt het slik bij Zuidgors duidelijk af van de beide hiervoor beschreven slikken. Zuidgors ligt aan een binnenbocht en de hoofdgeul ligt aan de overzijde van het estuarium. De helling van de rand van het slik, zeewaarts van de NAP-lijn, neemt af van west naar oost. Alleen in het uiterste westen wordt het slik aan zeewaartse zijde begrensd door een geul. Meer naar het oosten wordt een flauw hellende vooroever aangetroffen.

Zoals bij het slik bij Bath de ligging aan een buitenbocht erosie geeft, zo kan bij het slik van Zuidgors sedimentatie worden verwacht, omdat het langs een binnenbocht van het estuarium ligt. Deze verwachting is gebaseerd op een analogie met de morfologische ontwikkeling bij rivierbochten en die gaat hier niet geheel op. Dat zit voor een belangrijk deel in het feit dat er, anders dan bij een rivier, sprake is van een oscillerende (getij-) stroming en het effect van de lokale geometrische karakteristieken van het estuarium.

Gemiddeld genomen vertoont de vloedstroom langs de zeewaartse rand van het slik een versnelling (van west naar oost). Als gevolg daarvan treedt erosie aan die rand op. In het westelijke deel van het slik leidt een, overigens relatief geringe versnelling van de ebstroom ook tot erosie. In het oostelijke deel, echter, treedt vertraging van de ebstroom op. De daarmee gepaard gaande sedimentatie is klein ten opzichte van de erosie die door de versnelling van de vloedstroom wordt veroorzaakt. Het netto effect is erosie. Dit beeld is in overeenstemming met wat blijkt uit de verschilkaart voor de periode 1993-1996.

Het westelijke uiteinde van het slik valt samen met een knik in de waterkering. Vlakbij die knik ligt een kleine haven. Beide factoren leiden lokaal tot een concentratie van stroomlijnen. Ten oosten van de knik, dus net bij het slik, geeft de vloedstroom een vertraging te zien en de ebstroom een versnelling. Dit leidt respectievelijk tot sedimentatie en erosie. Uit de verschilkaart 1993-1996 blijkt dat het netto effect sedimentatie is.

Paulinapolder

Het unieke karakter van het slik van Paulinapolder wordt ingegeven door de dam die de westelijke begrenzing van het slik vormt. Als gevolg van de aanwezigheid van deze dam treedt bij vloed een circulatie aan de oostzijde ervan op. Daardoor heeft de vloedstroom nabij de geul een component het slik op (meetpunt 5 van raal 1), terwijl de vloedstroom hoger op het slik juist noordwestelijk gericht is (meetpunt 4 van raal 1). Stroomafwaarts van de dam geven de stroomlijnen bij vloed divergentie te zien (oostelijk van de dam), waardoor sedimentatie optreedt. Bij eb, daarentegen, leidt de dam tot opstuwning. Als gevolg daarvan kent de ebstroom nabij de dam (meetpunten 4 en 5 van raal 1) een sterke component van het slik af. In de buurt van de geul die voor het slik ligt is dat sterker dan hoger op het slik.

Uit de verschilkaart 1993-1996 blijkt dat ten westen van de dam erosie optreedt, terwijl aan oostelijke zijde sedimentatie voorkomt. Dit beeld past bij de contractie en divergentie van stroomlijnen bij de vloedstroom. Kennelijk domineert vloed de lokale morfologische ontwikkeling.

Elders op het slik worden gebieden van beperkte omvang aangetroffen waar geringe erosie of sedimentatie voorkomt. Blijkbaar is het slik in morfologisch opzicht niet erg dynamisch.

8.4.2. Hoog gelegen deel van het slik

Uit de vergelijking van de figuren 3.1, 4.1, 5.1 en 6.1 blijkt dat significante (hoge) stromingen op de hoger gelegen delen van de slikken zijn waargenomen bij Waarde en Zuidgors. De stroming is hier nagenoeg parallel aan de randen van de schorren en aan de hoofdstroom. Op deze slikken en aan de randen van de schorren heeft sterke erosie plaatsgevonden. Een overeenkomst tussen deze twee slikken is dat op beide locaties de geul via de slikken worden kortgesloten.

Daarentegen liggen het slik bij Paulinapolder en de schorrand bij Bath-west in een luwte. Dit verschil in ligging ten opzichte van de slikken bij Waarde en Zuidgors komt tot uiting in de stroomsnelheden. De stroomsnelheden zijn hier aanzienlijk lager. Bovendien vertonen de stroomrichtingen een sterke spreiding. Er zijn stromingen waargenomen die in de richting van de schorrand gaan tijdens eb en van de schorrand af tijdens vloed. Dit zou mogelijk een indicatie kunnen zijn voor toe- en afstroming. Slechts voor een klein deel zijn de randen van de schorren geërodeerd.

De schorrand bij Bath-oost is echter wel sterk geërodeerd. Gezien er geen gegevens beschikbaar zijn van stromingen bij deze rand is het niet mogelijk hierover een uitspraak te doen.

8.4.3. Golven

Een zinvolle gebiedsvergelijking van het golfklimaat waarmee een verband met het erosief gedrag van slikken en schorren gelegd kan worden, zou mogelijk zijn indien het gemiddelde jaarlijkse golfklimaat voor de gebieden bekend is. Dit kan echter niet uit de uitgevoerde meetcampagne worden herleid, omdat er slechts in een korte periode is gemeten en bovendien de metingen in verschillende perioden en derhalve onder verschillende windcondities hebben plaatsgevonden.

Met deze beperkingen in het achterhoofd zijn de gemeten golven in de verschillende gebieden onderling vergeleken en geanalyseerd op:

- het verloop van de golfhoogte in de richting van het schor. Dit verloop is interessant in het kader van brekende golven die van belang zijn voor het opwoelen van sediment en het beïnvloeden van de stroming. Verder is de golfdoordringing tot aan de schorrand van belang voor de erosie van deze schorranden door golfaanval;
- het golfklimaat (met name het voorkomen van hogere golven) op de hoger gelegen meetpunten, dit met het oog op erosie van schorranden door golfaanval.

De gebiedsvergelijkingen zijn zoveel mogelijk uitgevoerd op basis van geselecteerde waarnemingen waarbij de windcondities (met name de snelheid) vergelijkbaar zijn.

verandering van golfhoogte

In het algemeen neemt de significante golfhoogte af van de lager naar de hoger gelegen delen van de slikken. Om inzicht te krijgen in gebiedsverschillen op dit aspect zijn de regressiecoëfficiënten bepaald tussen de significante golfhoogte op de hoger gelegen meetlocaties en die op de lager gelegen meetlocaties, respectievelijk meetpunten 3 en 5. De resultaten zijn onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 8.1 Regressiecoëfficiënten van de significante golfhoogten

slik	regressiecoëfficiënt
Zuidgors-west	1,1
Zuidgors-oost	1,0
Paulinapolder	1,3
Bath-west	1,4
Bath-oost	*
Waarde-west	1,3
Waarde-oost	1,0

* niet kunnen berekenen vanwege beperkte beschikbare informatie

Hieruit volgt dat de golfhoogteverlaging bij Paullnapolder, Bath-west en Waarde-west het sterkst is.

Uit de correlatiecoëfficiënt blijkt een sterk verband tussen de significante golfhoogte op de hoger gelegen meetlocaties en die op de lager gelegen meetlocaties op de slikken bij Zuidgors-west, Waarde en Paullnapolder. Aangezien het verloop van de waterdiepte tussen de twee meetpunten weinig spreiding vertoont, doordat de metingen geconcentreerd zijn rond hoogwater, en de golfperiode en het diepteverloop nagenoeg gelijk zijn, is een sterke correlatie alleen mogelijk als de golven in dit gebied steeds nagenoeg hetzelfde pad volgen. Op de slikken Bath en Zuidgors-oost is in dit verband weinig correlatie gevonden. Het zwakke verband tussen de golfhoogte op het dieper gelegen deel en die op het hoger gelegen deel op het slik bij Bath houdt verband met het feit dat daar de golfcondities mede worden bepaald door passerende schepen. Afhankelijk van de richting waarin de schepen varen, kunnen door die schepen opgewekte golven uit verschillende richtingen komen. Op grond daarvan mag worden verwacht dat de correlatie voor Bath lager is dan die voor andere slikken waar in de nabijheid geen schepen passeren.

Voor het slik bij Zuidgors-oost is het onderzochte verband nauwelijks aanwezig. Deze afwijking van andere gebieden kan verklaard worden door de aanwezigheid van rijkshouten dammen op het slik die mede bepalend zijn voor de vorm van het slik.

De grafieken waarin de significante golfhoogte op de hoger gelegen meetlocaties zijn uitgezet tegen die op de lager gelegen meetlocaties, laten verder het volgende zien:

- bij een zwakke wind tot 2,5 m/s wanneer sprake is van lagere golven, geldt dat bij Bath-west en Paullnapolder voornamelijk sprake is van golfhoogte-afname in de richting van het schor. Op de andere slikken is het beeld van afname niet overheersend aanwezig en komen waarnemingen van gelijkblijvende of zelfs oplopende golfhoogten vaker voor. Een toename van de golfhoogte kan worden toegeschreven aan het effect van shoaling;
- bij sterkere windcondities en dus bij hogere golven van 30 cm op de lager gelegen meetlocatie, is in het algemeen sprake van afnames van 10 tot 15 cm met enkele uitschieters naar 25 cm.

Het ligt voor de hand om te veronderstellen dat de afnames van de golfhoogte voor een deel kunnen worden verklaard met breking. Immers, meetpunt 3 op het hoger gelegen deel van het slik staat een deel van de tijd droog; er zijn dus momenten dat de waterdiepte nabij meetpunt 3 zo gering is dat zelfs zeer kleine golven breken.

Aan de hand van de beschikbare bestanden is onderzocht of van breking sprake kan zijn geweest ten tijde van simultane golfhoogtemetingen in meetpunten 3 en 5. Indien de verhouding tussen de waterdiepte en de significante golfhoogte groter is dan 0,7 à 0,8, zullen golven zeker breken.

Uit de beschikbare data blijkt echter dat de gemeten golfhoogten in verhouding tot de waterdiepte zeer klein is en dat derhalve breking onwaarschijnlijk is. De verklaring zal dus gezocht moeten worden in de twee andere processen die een golfhoogteafname kunnen bewerkstelligen, te weten bodemwrijving en refractie.

Het eerstgenoemde is echter onwaarschijnlijk omdat bodemwrijving over dergelijke korte afstanden alleen tot zeer marginale golfhoogtereducties kan leiden.

Het tweede genoemde, refractie, is zeer goed mogelijk gegeven de geometrie van het estuarium en de variaties in de bodemligging. Refractie hangt af van het verschil in waterdiepte tussen twee punten en de hoek van golfinval. Aangezien de golfrichting niet is gemeten, kan het effect van refractie niet rechtstreeks uit de veldgegevens worden afgeleid. Derhalve is voor alle vier de gebieden het golfpatroon ingeschat door een golfrichting aan te nemen op basis van de windrichting (in de veronderstelling dat de golven lokaal zijn opgewekt), en vervolgens de golfstralen in samenhang met de bathymetrie en eventueel

aanwezige harde constructies te beschouwen. Hieruit volgt dat de waargenomen afname van de golfhoogte van de diepere naar de minder diep gelegen delen van de slikken goed kan worden verklaard uit refractie; in dit opzicht verschillen de gebieden onderling niet.

golfhoogte nabij schorrand

Voor zwakke windcondities tot 2,5 m/s is de significante golfhoogte op de hoger gelegen meetlocaties van vergelijkbare grootte (tot 15 cm). Onder deze veelvoorkomende condities is het golfklimaat nabij de schorrand dus vrijwel gelijk voor alle vier beschouwde gebieden.

Voor situaties met windsnelheden boven 2,5 m/s zijn op de meeste slikken nabij de schorrand golven gemeten van grotere omvang (30 tot 45 cm). Dat bij Bath-west en Zuidgors-oost de golfhoogte niet groter wordt bij toenemende snelheden kan naar waarschijnlijkheid worden toegeschreven aan het feit dat de heersende windrichting op dat moment niet gunstig was voor het ontwikkelen van hogere golven.

8.5. Stortlocaties

De baggerspecie die vrijkomt bij de verruiming en/of het aansluitende onderhoud van de vaargeul wordt op verschillende plaatsen in de Westerschelde gestort. Het gestorte materiaal bestaat voornamelijk uit zand.

Een stortlocatie kan een direct verband hebben op de morfologische ontwikkelingen van een slik en in samenhang daarmee met een schor. Of dit negatief of positief uitwerkt op het slik (en schor) is afhankelijk van de plaatselijke situatie.

9. HYPOTHESEN EN STELLINGEN

Op basis van een aantal hypothesen heeft het Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ een aantal stellingen opgesteld (lit. [2]). Deze stellingen zullen hieronder getoetst worden aan de bevindingen van de voorgaande gebiedsanalyses en gebiedsvergelijking.

Stelling: *Op een slik is zowel de maximale als de gemiddelde stroomsnelheid in de vloedfase groter dan in de eb fase.*

Uit de metingen blijkt dat de stroming op de slikken niet altijd door vloed wordt gedomineerd. Weliswaar overheerst in de stroming op de meeste locaties vloed boven eb, doch op alle slikken komen wel locaties met ebdominantie voor. Op het slik bij Paullnapolder en het westelijke deel bij Bath is de stroming zelfs volledig ebgedomineerd.

De belangrijkste verklaring voor de lokale afwijking van het algemene beeld van vloeddominantie is de aanwezigheid van constructies, platen en onderwateroevers in de omgeving die als het ware een fysiek obstakel voor de vloedstroom vormen. Zo bevindt zich een dwarsdam ten westen van het slik bij Paullnapolder die nabijgelegen meetpunten afschermt van de vloedstroom. Vergelijkbare effecten sorteren een onderwaterbank ten noorden van het slik bij Paullnapolder en platen ten zuidwesten van Waarde-oost.

Ook de positie van het slik ten opzichte van de hoofdstromen is een bepalende factor zoals het geval is op het slik bij Bath-west. Dit slik ligt ten opzichte van de vloedstroom achter een bocht en bevindt zich zodoende min of meer in een afgeschermd positie achter een dijk.

Stelling: *De maximale en de gemiddelde stroomsnelheid zijn zowel bij eb als bij vloed op het lager gelegen slik groter dan op het hoger gelegen slik.*

De stelling wordt bevestigd door de metingen. Op alle slikken zijn de maximale en de gemiddelde snelheid op de meetpunten op de lager gelegen delen van de slikken hoger dan of gelijk aan die op de hoger gelegen delen. Dit geldt zowel tijdens eb als tijdens vloed.

Stelling: *Gerelateerd aan de stroomsnelheden in de nabijliggende geul geldt dat de stroomsnelheid op het slik bij Zuidgors en Waarde hoger is dan op de overige slikken. Dit geldt zowel voor het laag gelegen slik als voor het hoog gelegen slik, voor de eb- en vloedfase en voor de maximale en gemiddelde stroomsnelheid.*

Deze stelling heeft betrekking op de ligging van de beschouwde gebieden ten opzichte van een nabijgelegen diepe geul. Het schor bij Zuidgors is gelegen aan de binnenbocht, het schor bij Bath in de buitenbocht en de schorren bij Waarde en Paullnapolder aan een min of meer recht deel van een diepe geul. De overeenkomst tussen Waarde en Zuidgors is dat de betreffende diepe geul via de slikken wordt kortgesloten, waar hoge stroomsnelheden zijn.

Uit de metingen blijkt dat de stroomsnelheid op het merendeel van de locaties op de slikken bij Zuidgors en Waarde hoger is dan op de overige slikken. Dit geldt zowel voor de maximale als gemiddelde snelheid en voor de eb- en vloedfase. Een uitzondering vormt Bath. Op dit slik is de snelheid tijdens eb op enkele hoger gelegen meetlocaties groter dan die op vergelijkbare locaties bij Zuidgors. Dit afwijkend beeld kan worden toegeschreven aan de kortsluiting van de ebstroom ter hoogte van Bath-west richting de Zimmermangeul.

Om de stelling nader uit te werken is tevens onderzocht of er sprake is van een vaste verhouding tussen de stroomsnelheden op het slik en die in de nabijliggende geul. Tijdens de meetcampagnes zijn geen metingen verricht van stroomsnelheden in de geulen nabij de slikken. Om toch een vergelijking te kunnen maken, worden de stroomsnelheden uit de stroomatlas van de Westerschelde gebruikt (lit. [7]). In tabel 9.1 worden de gemiddelde maximale stroomsnelheden gemeten op het slik vergeleken met die in de nabijliggende geul,

zowel tijdens eb als tijdens vloed. Uit deze tabel blijkt dat er niet sprake is van een vaste verhouding tussen de stroomsnelheden op het slik en die in de geul.

Tabel 9.1 Verhouding tussen de gemiddelde maximale stroomsnelheid op het slik (v_{mp}) en die in de nabijliggende geul (v_{geul})

locatie	meetpunt	eb			vloed		
		v_{mp} (m/s)	v_{geul} (m/s)	v_{mp}/v_{geul} (-)	v_{mp} (m/s)	v_{geul} (m/s)	v_{mp}/v_{geul} (-)
Zuidgors	5	0,50	1,2	0,4	0,70	1,4	0,5
	2	0,50		0,4	0,90		0,4
Paulinapolder	2	0,45	1,1	0,4	0,40	0,9	0,4
	1	0,25		0,2	0,25		0,3
Bath	2	0,60	1,5	0,4	0,30	1,2	0,3
	4	0,45		0,3	0,10		0,1
Waarde	2	0,75	1,1	0,7	0,85	1,1	0,8
	1	0,50		0,5	0,70		0,6

Stelling: *De ruimtelijke verdeling van de stroomsnelheid is gerelateerd aan de vorm van het slik. Op een slik met een hol dwarsprofiel zal de stroomsnelheid in de omgeving van de rand van de schor hoger zijn dan op een slik met een bol dwarsprofiel.*

Op basis van de bevindingen kan geconcludeerd worden dat de snelheid sterker afneemt in de richting van het schor bij een bol dwarsprofiel dan bij een hol dwarsprofiel. Uit de bevindingen op Zuidgors blijkt tevens dat de snelheidsafname op rechte (vlakke) profielen afhankelijk is van de steilheid van het profiel. Als het profiel steller is, is de afname van de stroomsnelheid in de richting van het schor minder. Wellicht speelt bij Zuidgors-west de neerwerking vanaf de havendam bij vloed een rol.

Stelling: *De stroomsnelheden op het slik worden wezenlijk beïnvloed als gevolg van sterke golfwerking.*

Golven genereren in beginsel stroming indien ze schuin invallen en breken. Voor het breken van golven is een beperkte waterdiepte en daarmee een lage waterstand benodigd. Onder deze waterstandcondities hebben echter geen golfmetingen plaatsgevonden en kan derhalve geen relatie tussen golven en stroming worden afgeleid uit de metingen.

Omgekeerd geldt ook dat de golfmetingen die wel zijn uitgevoerd, hebben plaatsgevonden bij dermate hoge waterstanden dat golven niet breken en dat derhalve geen sprake kan zijn van beïnvloeding van de stroming.

Stelling: *Golven ten gevolge van scheepvaart zijn zowel merkbaar aan een verandering in het golfpatroon als aan een verandering in het stroombeeld en in de stroomsnelheid.*

Tijdens de meetcampagnes zijn de scheepspassages niet geregistreerd. Tevens zijn er geen metingen verricht van golfpatronen. Derhalve ontbreken gegevens om de invloed van scheepsgolven op de veranderingen in het golfpatroon, het stroombeeld en de stroomsnelheid te analyseren. In hoofdstuk 10 worden aanbevelingen gedaan met betrekking tot metingen waarmee deze invloed wel geanalyseerd kan worden.

Stelling: *De golfhoogte wordt op een slik met een bol dwarsprofiel eerder verlaagd dan op een slik met een hol dwarsprofiel.*

Golven nemen af in hoogte door breking en door refractie. Voor het breken van golven is een beperkte waterdiepte en daarmee een lage waterstand benodigd. Tijdens de meetcampagnes hebben onder deze waterstandscondities geen golfmetingen plaatsgevonden. De afname, die in de geregistreerde golfhoogten kan worden onderscheiden, kan alleen vanuit refractie worden verklaard.

Aan de hand van lineaire regressie is een relatie gezocht tussen de significante golfhoogten in dezelfde raai. Uit beschouwingen van de regressiecoëfficiënt, die een indicatie zou kunnen zijn voor de golfhoogtereductie, wordt de stelling niet op eenduidige wijze bevestigd of tegengesproken.

In tabel 9.2 zijn de dwarsprofielen van de slikken en de regressiecoëfficiënten weergegeven. Een grotere regressiecoëfficiënt betekent een grotere golfhoogtereductie.

Tabel 9.2 Regressiecoëfficiënten van de significante golfhoogten

slik	profiel	regressiecoëfficiënt
Zuldgors-west	bol	1,1
Zuldgors-oost	bol/recht	1,0
Paulinapolder	hol	1,3
Bath-west	hol	1,4
Bath-oost	bol	*
Waarde-west	bol	1,3
Waarde-oost	hol	1,0

* niet kunnen berekenen vanwege beperkte beschikbare informatie

De grootste verlaging van de significante golfhoogte vindt plaats op Bath-west. Deze raai heeft een hol profiel.

Op de slikken bij Paulinapolder en Waarde-west is de verlaging van dezelfde orde grootte. De dwarsprofielen verschillen echter van vorm. Het slik bij Paulinapolder is hol van vorm en het slik bij Waarde-west bol van vorm.

Op de slikken bij Zuldgors-oost en Waarde-oost is de verlaging van de significante golfhoogte het minst. Ook deze dwarsprofielen verschillen. Zuldgors-oost heeft een vlak tot bol profiel, terwijl Waarde-oost een uitgesproken hol profiel heeft.

Op basis van bovenstaande vergelijkingen kan geconcludeerd worden dat op basis van de metingen geen eenduidig beeld te schetsen is. Hierbij speelt dat de golfhoogtereductie van vele factoren afhankelijk is. Naast de vorm van het profiel is de significante golfhoogte sterk afhankelijk van de golfhoogte en -richting op de rand van het slik, de windcondities, de waterdiepte en de golfperiodes.

Stelling: *De erosie van de rand van het schor is groter naarmate de stroomsnelheden en de golfhoogte nabij de schorrand groter zijn.*

Op basis van de metingen en bevindingen van de overige slikken is het niet mogelijk een sluitend antwoord op de stelling te formuleren.

Op het slik dat sterk geërodeerd wordt, Waarde, is de erosie positief gecorreleerd aan de stroomsnelheid en golfhoogte.

Aan de rand van het schor slik bij Paulinapolder heeft erosie van de oorspronkelijke schorrand plaatsgevonden bij in het algemeen lagere stroomsnelheden en gematigder

golfcondities dan op Bath-west, terwijl op dit laatste slik geen erosie heeft plaatsgevonden. Dit beeld kan verklaard worden door de lokale bodemgeometrie. De locatie bij Paulinapolder ligt tegen een (stille) rand van een kortsluitgeul, terwijl op Bath sprake is van een vlakke bodem.

Bij vergelijkbare stroomsnelheden en significante golfhoogten (bij een vergelijkbaar windklimaat) hebben op Bath-west geen veranderingen in de bodemhoogte plaatsgevonden, terwijl aan de schorrand bij Waarde-west erosie heeft plaatsgevonden. Mogelijk speelt de bodemsamenstelling een rol: de zandfractie op Bath-west is hoger dan op Waarde-west en op Bath-west is veen aan het oppervlak aanwezig.

De significante golfhoogten op de slikken bij Zuidgors en Bath-west zijn van vergelijkbare grootte. Op Zuidgors heeft sedimentatie plaatsgevonden, terwijl op Bath-west geen veranderingen zijn opgetreden.

Uit de analyse van deze slikken blijkt dat naast de stroomsnelheid en de golfhoogte ook de lokale bodemgeometrie en de bodemsamenstelling een bepalende rol spelen bij het erosieproces van de randen van de schorren.

Stelling: *De erosie van de rand van het schor en het voorliggende slik wordt niet veroorzaakt door de veel voorkomende kleine windgolven, maar door de minder vaak voorkomende grote windgolven.*

Als gevolg van de zwak tot gematigde windcondities tijdens de meetcampagnes zijn geen grotere windgolven voorgekomen. Bovendien geldt dat de stelling slechts is te toetsen aan de hand van een monitoring van het bodemniveau op een tijdschaal van dagen (vergelijkbaar aan de duur van de meetcampagnes). De bodemontwikkelingen waarvan gegevens beschikbaar zijn, zijn echter gemeten voor een tijdschaal van jaren. Los van het ontbreken van grotere golven in de metingen, kan de toetsing dus per definitie niet plaatsvinden op basis van beschikbare gegevens van de bodemontwikkelingen.

Stelling: *De erosie van de rand van het schor en het voorliggende slik wordt vooral veroorzaakt door scheepsgolven en door deining, waarvan de periode veel langer is dan van windgolven.*

De beperkte beschikbare informatie (met het accent op het ontbreken van scheepsgegevens) vormt een te smalle basis om de stelling te kunnen toetsen.

10. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In de onderhavige studie zijn de morfologische ontwikkelingen, en met name de erosieve processen geanalyseerd die optreden op vier slikken en de bijbehorende randen van schorren langs de oever van de Westerschelde. Het gaat om de slikken bij Zuidgors, Bath, Waarde en Paulinapolder.

De onderzochte slikken zijn alle in meer of mindere mate onderhevig aan erosie. In het kader van verantwoord beheer van deze gebieden wordt gezocht naar maatregelen om deze erosie tegen te gaan. Daarbij is het nodig om inzicht te krijgen in de factoren en mechanismen die bepalend zijn voor de morfologische ontwikkeling van deze gebieden. Tegen deze achtergrond zijn veldgegevens met betrekking tot waterbeweging, wind, geometrie en bodemsamenstelling ter plaatse van deze slikken verzameld en geanalyseerd. Deze analyse, waarvan in het onderhavige rapport verslag is gedaan, vormt de basis voor fase drie van het project OEVERS van RIKZ. In die fase moeten uitspraken worden gedaan over de haalbaarheid van de voornoemde maatregelen om erosie te bestrijden.

In het onderzoek is gekozen voor een fenomenologische aanpak, omdat het fenomeen van erosie van slikken en schorren te complex is om verklaard te kunnen worden met de tegenwoordig gebruikelijke aanpak met numerieke modellen.

De analyse is gebaseerd op veldmetingen van waterstanden, stromingen en golven, wind, geometrie en bodemsamenstelling. Met de meetresultaten is getracht een zo goed mogelijk beeld te vormen van de morfologische ontwikkeling van de beschouwde slikken. Daarbij zijn echter twee beperkingen naar voren gekomen. Eén daarvan is dat de duur van de periode waarop de veldgegevens betrekking hebben (circa 14 dagen), kort is ten opzichte van de tijdschaal van morfologische processen. De andere beperking is de volledigheid van de meetgegevens. Met name speelt hier het ontbreken van gegevens over scheepspassages, omdat op voorhand werd verwacht dat scheepsgolven een belangrijke oorzaak zijn van erosie van slikken die langs de vaargeul gelegen zijn.

In de analyse zijn eerst de hydrodynamische en morfologische karakteristieken van de vier individuele slikken in kaart gebracht. Vervolgens zijn de vier gebieden onderling vergeleken ten einde uitspraken te kunnen doen over verschillen en overeenkomsten in waterbeweging, geometrie van het slik en directe omgeving, sedimentologie en de hieruit af te leiden morfologische ontwikkeling. Tenslotte zijn stellingen, opgesteld door het RIKZ, getoetst aan de bevindingen van de genoemde analyse. Deze stellingen vormen handvatten voor de beeldvorming ten aanzien van morfologische processen die de ontwikkeling van de beschouwde slikken domineren.

De uitkomsten van de analyses zijn hieronder samengevat.

10.1. Golven

De invloed van golven op de stroming en de bodemontwikkelingen van de slikken en randen van de schorren komt niet duidelijk tot uiting. In de eerste plaats wordt dit veroorzaakt door de overwegend zwak en soms gematigde windcondities die tijdens de meetcampagnes heersten. Hierdoor hebben zich geen windgolven kunnen ontwikkelen die significant kunnen zijn voor de morfologische processen. In de tweede plaats zijn de golfmetingen beperkt. Er zijn geen gegevens beschikbaar over de golfvoortplanting op de slikken en golfmetingen in de nabijliggende geul. Daarnaast ontbreken gegevens over scheepspassages, waardoor niet eenduidig een relatie tussen geregistreerde golven en scheepsbewegingen kan worden gelegd. Tot slot wordt de vergelijking tussen de verschillende onderzoeksgebieden bemoeilijkt doordat geen simultane metingen op de vier beschouwde slikken zijn uitgevoerd.

Uit de analyses is het volgende naar voren gekomen:

- tijdens de meetcampagnes zijn in het algemeen kleine (significante) golfhoogten waargenomen. Bij deze kleine golfhoogten en bij de gemeten hoge waterstanden zal er geen sprake zijn van breking van golven die de stroming zou kunnen beïnvloeden. Tijdens de metingen was refractie het belangrijkste proces in de golfvoortplanting;
- een verband tussen de golfhoogtereductie en dwarsprofiel van het slik uit de metingen is moeilijk af te leiden. Naast het dwarsprofiel zijn een reeks van andere factoren mede bepalend voor de golfvoortplanting:
 - * de windcondities;
 - * de positie van het slik in het estuarium in relatie tot windrichtingen;
 - * de sterk tweedimensionale golfvoortplantingsprocessen;
 - * de waterdiepte die per meetlocatie verschilt en in de tijd varieert.
- qua golven zijn de morfologische ontwikkelingen op de slikken aan de randen van de schorren moeilijk vergelijkbaar aangezien de metingen momentopnamen zijn en het niet bekend is in hoeverre de metingen representatief zijn voor het gemiddelde golfklimaat.

10.2. Stroming

Door getij-asymmetrie in de Westerschelde is in het algemeen sprake van vloeddominantie. Deze getij-asymmetrie is herkenbaar in de waterstanden gemeten op de lager gelegen locaties. Uit de metingen blijkt echter dat op een aantal locaties hiervan wordt afgeweken. Op de locaties waar de stroming door eb wordt gedomineerd zijn de geometrie en fysieke omgeving van dusdanige aard dat hierin de verklaring gezocht kan worden. Op de beschouwde slikken wordt de stroming beïnvloed door de fysieke omgeving, te weten:

- oevers en waterkeringen (dijken) als grens tussen water en land;
- constructies, zoals de dwarsdam ten westen van het slik bij Paullinapolder;
- platen en onderwaterbanken, zoals ten noorden van het slik bij Paullinapolder en ten zuiden en ten zuidoosten van het slik bij Waarde.

Verder speelt de positie van het slik ten opzichte van de hoofdstroom een belangrijke rol, zoals in het geval van het slik bij Bath.

Uit stroombaanmetingen, die op de rand van de slikken zijn verricht, volgen stroompatronen die afwijken van de patronen die uit de metingen op de vaste meetlocaties op het slik zelf kunnen worden afgeleid. Gezien de bodemcontouren is er sprake van een complexe drie dimensionale stroming op het slik, waarbij meerdere stroompatronen in de verticaal kunnen worden onderscheiden. De stroomrichtingen die op enkele lager gelegen locaties van het slik op twee posities in de verticaal zijn gemeten, bevestigen dit.

De snelheden zijn op verschillende posities in de verticaal gemeten. Aangezien de snelheden een functie zijn van deze positie in de verticaal, zijn de gemeten snelheden niet direct met elkaar vergelijkbaar. Om de stroomsnelheden op de slikken met elkaar te kunnen vergelijken, zijn de dieptegemiddelde stroomsnelheden uit de metingen geschat door te veronderstellen dat het klassieke logaritmische snelheidsprofiel een redelijke benadering is van het werkelijke profiel. De berekeningen hebben echter geresulteerd in waarden die hoger zijn dan verwacht mag worden. Hier zijn verschillende verklaringen voor mogelijk. In de eerste plaats is het mogelijk dat het snelheidsprofiel waar in de berekeningen van uit is gegaan, niet overeenkomt met het werkelijke verticale snelheidsprofiel. Daarnaast is het moeilijk de juiste bodemruwheid te bepalen, die nodig is om de dieptegemiddelde snelheid te kunnen schatten. Een andere mogelijkheid is dat de gemeten snelheden te groot zijn.

Blijkbaar wordt met herleiden van de gemeten stroomsnelheid tot dieptegemiddelde stroomsnelheid een element van onzekerheid geïntroduceerd. Dit bemoeilijkt de interpretatie van de uitkomsten. Op grond hiervan hebben we er de voorkeur aan gegeven de beoogde vergelijking te baseren op de originele meetwaarden. Hierbij is alleen in kwalitatieve zin rekening gehouden met het argument dat in eerste instantie heeft aangezet tot het schatten van de dieptegemiddelde snelheden.

De mate van snelheidsreductie in dwarsrichting is gerelateerd aan de vorm van het profiel van het slik. Uit de metingen blijkt dat de stroomsnelheden sterker afnemen op een slik met een bol profiel dan slik met een hol profiel. Op het slik bij Zuidgors, dat een steil en redelijk recht profiel bezit, neemt de reductie van de snelheid toe bij een afnemende steilheid en toenemende bolling van het dwarsprofiel. In geval van een hol profiel ondervindt de stroming minder weerstand in de richting van het schor dan in geval van een bol profiel. De snelheidsafname op een hol profiel concentreert zich aan de rand van het schor. Als het profiel de enige onderscheidende factor tussen de verschillende slikken zou zijn, zou op grond daarvan verwacht kunnen worden dat de erosie op een slik met een hol profiel sterker zal zijn, dan op een slik met een bol profiel. Naast het profiel spelen ook andere factoren een rol, dit zal in paragraaf 10.3 aan bod komen.

10.3. Erosie

Er zijn twee hypothesen over mechanismen die de erosie van de schorrand veroorzaken. In de ene hypothese erodeert de rand van het schor door golfwerking. Vervolgens voert de stroming het sediment af. De andere hypothese stelt dat de erosie het gevolg is van de stroming. De stroming schuurt langs de schorrand en brengt het materiaal in suspensie.

Beide hypothesen kunnen op basis van deze analyse van de veldgegevens niet getoetst worden. Het waarnemingsmateriaal is hiertoe niet toereikend.

Met behulp van de beschikbare metingen is het niet mogelijk de eerstgenoemde hypothese te toetsen. De golfcondities zijn immers voor een relatief korte duur en in een deel van een seizoen gemeten; er kan derhalve niet worden vastgesteld in hoeverre deze representatief zijn voor het gemiddelde jaarlijkse golfklimaat. Inzicht in het laatstgenoemde is noodzakelijk om de invloed van golven op de bodemontwikkeling te kunnen vaststellen.

Met voornoemde beperking in het achterhoofd kan met behulp van de beschikbare gegevens het volgende worden opgemerkt ten aanzien van eerstgenoemde hypothese:

- Op het slik bij Waarde-oost zijn tijdens de meetcampagnes golfhoogten gemeten die significant groter zijn dan op de overige slikken. De voorgaande jaren heeft aan de rand van het schor bij Waarde (sterke) erosie plaatsgevonden. Op basis van de metingen op het slik bij Waarde zou dus geconcludeerd kunnen worden dat daar het eerstgenoemde mechanisme van toepassing is;
- op het slik bij Bath zijn voornamelijk lagere golven gemeten, in dit gebied zijn geen veranderingen aan de rand van het schor opgetreden;
- op het slik bij Paulinapolder zijn lagere golven bij hogere windsnelheden gemeten dan op het slik bij Bath, terwijl bij eerstgenoemde morfologische ontwikkelingen aan de schorrand (erosie en sedimentatie) optreden en bij Bath-west niet.

De eerstgenoemde hypothese lijkt dus bevestigd te worden door de eerste twee bevindingen, maar wordt tegengesproken door de waarneming op het slik bij Paulinapolder.

Met betrekking tot de andere hypothese geldt dat deze door de metingen bevestigd noch ontkend worden. De bevindingen met betrekking tot deze hypothese laten zien dat:

- bij relatief hoge stroomsnelheden parallel aan de schorrand, de schorrand op de slikken bij Waarde en Zuidgors is geërodeerd;
- ook bij relatief lage snelheden aan de rand van het schor erosie is opgetreden aan de rand van het schor bij Paulinapolder;
- bij snelheden hoger dan op het slik bij Paulinapolder zijn er geen veranderingen in de bodemhoogte opgetreden op het westelijk deel van het slik bij Bath.

Ook deze hypothese gaat niet op voor het slik bij Paulinapolder. Reeds eerder is vermeld dat het slik bij Paulinapolder uniek is vanwege de dam aan de westzijde. Deze dam heeft een bijzonder grote invloed op de waterbeweging op het slik (circulatie tijdens vloed). Als vanwege de sterk afwijkende situatie ten opzichte van de andere beschouwde slikken dit slik buiten beschouwing wordt gelaten, is het nog steeds niet mogelijk een uitspraak te

doen over welk mechanisme optreedt aan de rand van een schor. De mogelijkheid om de eerstgenoemde hypothese te toetsen ontbreekt.

Naast stroming en golven hebben de bodemsamenstelling en de vorm van de dwarsprofielen van de slikken een belangrijke sturende werking op de morfologische ontwikkelingen van de slikken en de randen van de schorren. Zoals reeds eerder beschreven, is de snelheidsreductie op meetraaien met een bol dwarsprofiel in de richting van het slik groter dan op een raal met een hol dwarsprofiel. Op de slikken waar veenlagen in de ondergrond aanwezig zijn (Bath, Paulinapolder en Waarde) is geen eenduidig beeld van de morfologische ontwikkeling. Dit houdt verband met het wel of niet aan de oppervlakte zijn van de veenlagen. Op het slik bij Bath, waar veen aan het oppervlak aanwezig is, zijn nauwelijks veranderingen in de bodemhoogte zijn opgetreden; veen vormt daar een erosiebestendige laag. Bij Waarde is relatief minder veen aan het oppervlak aanwezig en heeft erosie op het slik plaatsgevonden. Uit de beschikbare gegevens zijn geen aanwijzingen gevonden dat een specifiek aspect verantwoordelijk is voor de morfologische ontwikkeling van slikken en schorranden, wel blijkt dat de aanwezigheid van veen aan het slikoppervlak een sterke invloed heeft.

De transportcapaciteiten zijn om meerdere redenen niet berekend. De belangrijkste hiervan zijn de volgende. In de eerste plaats ontbreekt voldoende inzicht in de stroommetingen om hieruit de stroombanen te kunnen afleiden. Pas indien deze stroombanen geschematiseerd kunnen worden is het zinvol de transportcapaciteit in punten en de gradiënt hierin langs een stroombaan te kunnen berekenen. Deze gradiënten verschaffen inzicht in de erosie dan wel sedimentatie van het gebied tussen de meetpunten. Een tweede reden is het feit dat het golfenergiedissipatieproces golfbreken om eerdergenoemde reden niet uit de metingen kan worden vastgesteld. Juist dit proces wordt, meer dan refractie van golven, van belang geacht voor de morfologie.

10.4. Aanbevelingen

Om tot een duidelijker beeld van de morfologische ontwikkelingen op de slikken en aan de randen van de schorren te komen worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- meer inzicht in de bijdrage van golven aan erosie van de randen van de schorren kan worden verkregen door een gedetailleerd 2D modelonderzoek naar golfvoortplanting en interacties met stromingen. Voor calibratie en verificatie zouden uitgebreidere golfmetingen op het slik met inbegrip van golfrichtingen en metingen in de (hoofd)geulen moeten plaatsvinden. Deze aanbeveling sluit aan bij de actualiteit, het zogenaamde SWAN model is reeds ontwikkeld;
- de mogelijke invloed van door schepen geïnduceerde golven op de erosie van de schorrand kan nader worden bepaald door gericht veldonderzoek;
- een beperking tijdens deze studie was dat metingen van relatief korte duur een beeld dienden te geven van morfologische ontwikkelingen die een grote tijdschaal beslaan. Een betere vergelijking tussen de morfologische ontwikkeling enerzijds, en kenmerken met betrekking tot de waterbeweging, geometrie en sedimentologie anderzijds kan worden gemaakt door gegevens van beide kenmerken van vergelijkbare tijdschalen te verzamelen. In de praktijk zou dit een veldonderzoek van golven en stroming betekenen waarbij in alle seizoenen wordt gemeten voor een langere duur. Hiermee zou het hydrodynamische gedrag op jaarbasis gekarakteriseerd en gekoppeld kunnen worden aan jaarlijks geregistreerde bodemontwikkelingen.

LITERATUURLIJST

- [1] Koster engineering, 1996
Stroom- en golvenmetingen op slikken gelegen voor schorren in de Westerschelde, deel 1 en 2
- [2] Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, 1997
Gegevens voor uitbesteding fase 2 metingen Westerschelde
Werkdocument RIKZ/AB-97.830x
- [3] Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, 1997
J. Vroon, C. Storm en J. Coosen
Westerschelde, stram of struils? Eindrapport van het Project Oostwest
Rapport RIKZ-97.023
- [4] Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, 1996
H.T. de Haan
Ecotopen Westerschelde
- [5] Bouwdienst Rijkswaterstaat, 1990
Rekenregels voor waterbouwkundig ontwerpen, Utrecht
- [6] Kornman, B.A., 1991
Het effect van schepen op het hydrodynamische milieu van het slik bij Oost-Saeftinghe, Stageverslag, Rijksuniversiteit Utrecht, Utrecht
- [7] Dienst der Hydrografie van de Koninklijke Marine, 1981
Stroomatlas Westerschelde