

# Doorsteekvariant Maasvlakte 2

## Stromingsberekeningen

## Buitencontouren

**Projectcode**

HH647 - 2003

**Datum**

17 december 2003

**Versie**

Definitief

**Opdrachtgever**

Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam

**Opsteller**

J. van der Hulst

T. Blokland

**Paraaf Opsteller:**

**Projectleider**

E.A. Vermeer

**Paraaf Projectleider:**

0G

## Inhoudsopgave

### LIJST VAN FIGUREN

<b>1.</b>	<b>INLEIDING .....</b>	<b>7</b>
1.1	Achtergrond en kader .....	7
1.2	Onderhavig onderzoek.....	7
1.3	Doel.....	8
1.4	Leeswijzer .....	8
<b>2.</b>	<b>MODELBeschrijving.....</b>	<b>11</b>
2.1	Rekenmodel .....	11
2.2	Rekenrooster .....	11
2.3	Bodemschematisatie .....	12
2.4	Initiële condities .....	12
2.5	Randvoorwaarden .....	12
2.6	Uitvoerperiode en tijdstap .....	13
<b>3.</b>	<b>RESULTATEN HUIDIGE MAASVLAKTE EN ALTERNATIEF IIA1 .....</b>	<b>15</b>
3.1	Huidige Maasvlakte .....	15
3.1.1	Stroming voor havenmond.....	15
3.1.2	Stroming in Maasmond .....	15
3.1.3	Stroming in Calandkanaal en Beerkanaal.....	16
3.2	Set 1 Alternatief IIA1 .....	16
3.2.1	Stroming voor havenmond .....	16
3.2.2	Stroming in (verlengde) Maasmond.....	16
3.2.3	Stroming in Calandkanaal, Beerkanaal en Yangtzehaven .....	16
<b>4.</b>	<b>RESULTATEN CONTOUREN DOORSTEEKVARIANT .....</b>	<b>17</b>
4.1	Contour 0.....	17
4.1.1	Geometrie.....	17

4.1.2	Stroming voor de havenmond .....	18
4.1.3	Stroming in de Maasmond .....	20
4.1.4	Stroming in de ingang van het Calandkanaal en de Europahaven .....	21
4.1.5	Stroming in de Yangtzehaven en het havenbekken van de landaanwinning .....	21
<b>4.2</b>	<b>Contour 0, eerste aanlegfase (noord-zuid fasering) .....</b>	<b>21</b>
4.2.1	Geometrie.....	21
4.2.2	Stroming voor de havenmond .....	21
4.2.3	Stroming in het binnengebied: Maasmond, Caland/Beerkanaal en Yangtzehaven .....	23
<b>4.3</b>	<b>Contour 1 .....</b>	<b>23</b>
4.3.1	Geometrie.....	23
4.3.2	Stroming voor de havenmond .....	25
<b>4.4</b>	<b>Contour 1, met onderwaterdam .....</b>	<b>26</b>
4.4.1	Geometrie.....	26
4.4.2	Stroming voor de havenmond .....	26
<b>4.5</b>	<b>Contour 0, tussenfase (oost-west fasering) .....</b>	<b>27</b>
4.5.1	Geometrie.....	27
4.5.2	Stroming voor de havenmond .....	28
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELING .....</b>	<b>31</b>
5.1	Stroming voor de havenmond.....	31
5.2	Stroming in het binnengebied.....	34
5.3	Aanbeveling .....	34
	<b>REFERENTIELIJST .....</b>	<b>35</b>

## TABELLEN

## FIGUREN

## Lijst van Figuren

### Huidige situatie

- 0-1a t/m 1c Snelheidsveld op tijdstip van resp. maximale eb-, vloed- en neerstrooming  
 0-2a t/m 2b Dwarsstroomsnelheid t.p.v. de vaargeul op een aantal tijdstippen tijdens resp. de eb- en vloedperiode

### Contour 0

- 1-1a t/m 1b Rooster totale model en detail met locaties uitvoerpunten en raai 1  
 1-1c t/m 1d Bodemdiepte totale model en detail  
 1-2a t/m 2b Snelheidsveld op tijdstip van resp. maximale eb- en vloedstroming  
 1-2c t/m 2d Snelheidsveld na maximale vloedstroming (ontwikkeling neer)  
 1-3a t/m 3i Tijdsreeksen van waterstand, snelheidsgrootte en -richting in laag 1, 4 en 7 (zie § 2.2) in een aantal uitvoerpunten buiten- en binnengaats  
 1-4a t/m 4b Dwarsstroomsnelheid t.p.v. de vaargeul op een aantal tijdstippen tijdens resp. de eb- en vloedperiode  
 1-4c Maximale dwars- en langsstroomsnelheden t.p.v. de vaargeul tijdens (maximale waarden over gehele getijperiode)

### Contour 0, eerste aanlegfase (noord-zuid fasering)

- 2-1a Rooster detail met locaties uitvoerpunten en raai 1  
 2-1b Bodemdiepte detail  
 2-2a t/m 2b Snelheidsveld op tijdstip van resp. maximale eb- en vloedstroming  
 2-2c t/m 2d Snelheidsveld na maximale vloedstroming (ontwikkeling neer)  
 2-3a t/m 3i Tijdsreeksen van waterstand, snelheidsgrootte en -richting in laag 1, 4 en 7 (zie § 2.2) in een aantal uitvoerpunten buiten- en binnengaats  
 2-4a t/m 4b Dwarsstroomsnelheid t.p.v. de vaargeul op een aantal tijdstippen tijdens resp. de eb- en vloedperiode  
 2-4c Maximale dwars- en langsstroomsnelheden t.p.v. de vaargeul tijdens (maximale waarden over gehele getijperiode)

### Contour 1

- 3-1a Rooster totale model  
 3-1b Rooster detail met locaties uitvoerpunten en raai 1 en 1B (raai 1 en 1B zijn resp. de noordelijke en de zuidelijke raai in de figuur; raai 1 en 1B liggen resp. in de as en op de rand van de vaargeul)  
 3-1c t/m 1d Bodemdiepte totale model en detail  
 3-2a t/m 2b Snelheidsveld op tijdstip van resp. maximale eb- en vloedstroming  
 3-2c t/m 2d Snelheidsveld na maximale vloedstroming (ontwikkeling neer)  
 3-3a t/m 3c Tijdsreeksen van waterstand, snelheidsgrootte en -richting in laag 1, 4 en 7 (zie § 2.2) in drie uitvoerpunten nabij de havenmond  
 3-4a t/m 4b Dwarsstroomsnelheid t.p.v. de vaargeul op een aantal tijdstippen tijdens resp. De eb- en vloedperiode

- 3-4c Maximale dwars- en langsstroomsnelheden t.p.v. de vaargeul tijdens (maximale waarden over gehele getijperiode)

**Contour 1, met onderwaterdam**

- 4-1a Bodemdiepte detail van model
- 4-2a t/m 2b Snelheidsveld op tijdstip van resp. maximale eb- en vloedstroming
- 4-2c t/m 2d Snelheidsveld na maximale vloedstroming (ontwikkeling neer)
- 4-3a Tijdsreeksen van waterstand, snelheids grootte en -richting in laag 1, 4 en 7 (zie § 2.2) in uitvoerpunt 1 (Westzijde Maasgeul; zie fig.3-1b)
- 4-4a t/m 4b Dwarsstroomsnelheid t.p.v. de vaargeul op een aantal tijdstippen tijdens resp. de eb- en vloedperiode
- 4-4c Maximale dwars- en langsstroomsnelheden t.p.v. de vaargeul tijdens (maximale waarden over gehele getijperiode)

**Contour 0, Tussenfase (oost-west fasering)**

- 5-1a Rooster detail met locatie uitvoerpunt 3 en raai 1
- 5-1b Bodemdiepte detail
- 5-2a t/m 2b Snelheidsveld op tijdstip van resp. maximale eb- en vloedstroming
- 5-2c t/m 2d Snelheidsveld na maximale vloedstroming (ontwikkeling neer)
- 5-3a t/m 3c Tijdsreeksen van waterstand, snelheids grootte en -richting in laag 1, 4 en 7 (zie § 2.2) in drie uitvoerpunten nabij de havenmond
- 5-4a t/m 4b Dwarsstroomsnelheid t.p.v. de vaargeul op een aantal tijdstippen tijdens resp. de eb- en vloedperiode
- 5-4c Maximale dwars- en langsstroomsnelheden t.p.v. de vaargeul tijdens (maximale waarden over gehele getijperiode)

# 1. Inleiding

## 1.1 Achtergrond en kader

Door het Expertisecentrum Project Mainportontwikkeling Rotterdam (EC-PMR) is in 2002 een verkenning uitgevoerd naar de ontwerpruimte waarbinnen een landaanwinning kan worden gerealiseerd. Dit heeft geresulteerd in zeven alternatieven voor de landaanwinning, tezamen de "Set 1 alternatieven" genoemd met peildatum 15 juni 2002.

In het voorjaar van 2003 is door het Voorbereidingsteam Maasvlakte 2 van het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam (GHR) de zogenaamde Doorsteekvariant ontwikkeld, waarbij de zeevaart toegang heeft tot de landaanwinning via een doorgetrokken en verbrede Yangtzehaven. De horizontale contour van het 0-alternatief (Contour 0) is gepresenteerd in een antwoordbrief aan Gemeente Rotterdam en Minister de Boer en dient als uitgangspunt voor alle andere fasen en alternatieven waarvoor de contour nog ontwikkeld dient te worden.

In opdracht van het Voorbereidingsteam Maasvlakte 2 is onderzoek uitgevoerd naar hydraulische en morfologische aspecten van de vormgeving van de buitencontour van de Doorsteekvariant. Voor dit onderzoek is een projectplan opgesteld door het Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam (IGWR) in samenwerking met INFRAM [Ref.1]. Het onderzoek naar de hydraulische aspecten is uitgevoerd door IGWR en wordt beschreven in het onderhavige rapport. Het onderzoek naar de morfologische aspecten is uitgevoerd door INFRAM [Ref.5].

De opdracht tot uitvoering van het onderhavige onderzoek naar de hydraulische aspecten is gegeven door het GHR bij brief van 6 augustus 2003, kenmerk 151142, opdrachtnummer 69029.

## 1.2 Onderhavig onderzoek

Bij het onderhavige onderzoek zijn stromingsberekeningen uitgevoerd voor enkele alternatieven van de Doorsteekvariant. De volgende alternatieven zijn doorgerekend:

- 0-alternatief van de eindfase (contour 0);
- alternatief van de eindfase, in dit rapport contour 1 genoemd, waarbij de noordelijke harde zeekering dicht bij de Maasgeul ligt,
- contour 1, met een onderwaterdam halverwege de westelijke zachte zeekering,
- een mogelijke eerste fase van contour 0 welke in dit rapport wordt aangeduid als 'contour 0, eerste aanlegfase'. In een later stadium is deze geometrie de 'noord-zuid fasering' genoemd.
- een mogelijke eerste fase van contour 0 welke in dit rapport wordt aangeduid als 'contour 0, tussenfase'. In een later stadium is deze geometrie de 'oost-west fasering' genoemd.

De berekeningen zijn uitgevoerd met hetzelfde driedimensionale stromingsmodel (het zgn. Detailmodel) en met dezelfde hydraulische randvoorwaarden die ook zijn toegepast door EC-PMR bij berekeningen voor de Set 1 alternatieven [Ref. 2]. Door EC-PMR zijn met het Detailmodel alleen

alternatieven uitgerekend met een eigen havenmond. Bij het onderhavige onderzoek worden dus voor het eerst berekeningen met het Detailmodel uitgevoerd met landaanwinningsalternatieven zonder eigen havenmond. Voor Referentieontwerp I (zonder eigen havenmond) was ook al een stromingsberekening uitgevoerd, maar deze was uitgevoerd met een ander model (Zeedelta) en met andere randvoorwaarden (een lager springtij).

De rekenmethode en de resultaten van de berekeningen voor de bovengenoemde alternatieven van de Doorsteekvariant worden beschreven in voorliggende rapportage. Hierbij worden de stroombeelden van de verschillende alternatieven beoordeeld of deze vanuit nautisch oogpunt meer of minder gunstig zijn. Er wordt echter geen absoluut oordeel gegeven over de nautische toegankelijkheid.

### 1.3 Doel

De doelstelling van het onderhavige onderzoek is het berekenen van het stroombeeld bij enkele buitencontouren van de Doorsteekvariant, met hetzelfde model en dezelfde randvoorwaarden als waarmee de Set1 alternatieven zijn berekend, teneinde relatieve uitspraken te kunnen doen of de stroombeelden bij de verschillende alternatieven vanuit nautisch oogpunt meer of minder gunstig zijn. Er wordt geen absolute beoordeling gegeven van de nautische toegankelijkheid.

De berekening voor het alternatief Contour 1 heeft als specifiek doel na te gaan of optimalisatie van de contour vanuit het oogpunt van terreininrichting mogelijk is, zonder verslechtering van de nautische toegankelijkheid.

### 1.4 Leeswijzer

In de hierna volgende hoofdstukken wordt een beschrijving gegeven van de uitgevoerde berekeningen van de Doorsteekvariant en de resultaten daarvan. In Hoofdstuk 2 wordt een korte omschrijving gegeven van het gebruikte model. Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar [Ref. 2 en 3]. In Hoofdstuk 3 wordt een samenvatting gegeven van de eerder verkregen resultaten van de Huidige Maasvlakte en Set 1 Alternatief IIa1. Voor een gedetailleerde beschrijving wordt verwezen naar [Ref. 2]. In Hoofdstuk 4 worden de resultaten van de verschillende contouren van de Doorsteekvariant belicht. De rapportage wordt afgesloten in Hoofdstuk 5 met conclusies ten aanzien van de stroombeelden en met een beoordeling van de contouren op een aantal stromingsaspecten.

Snelheidswaarden welke in dit rapport worden genoemd zijn altijd lineair gemiddelden over de bovenste 14,5m, tenzij anders wordt vermeld. Dwarsstroomsnelheden zijn altijd kwadratisch gemiddelde snelheden over de bovenste 14,5 m, tenzij anders wordt vermeld. De dieptemaat van 14,5 m is door EC-PMR gekozen als karakteristieke diepgang voor grote containerschepen. Bij de dwarsstroming is kwadratische middeling toegepast, omdat de kracht op schepen evenredig is met het kwadraat van de stroomsnelheid.

Van de modelberekeningen zijn een groot aantal figuren en animaties beschikbaar. Er is voor gekozen de simulaties op een gestandaardiseerde wijze te presenteren. De daarbij behorende figuren en animaties zijn te vinden op de bijgevoegde CD-ROM. De figuren zijn tevens afgedrukt in de aparte bijlage van dit rapport. De resultaten van de uitgevoerde berekeningen worden als volgt beschreven:

- Het stroompatroon tijdens vloed en eb is beschreven aan de hand van animaties van de 14,5m-dieptegemiddelde stroomsnelheid, te vinden op de bijbehorende CD-ROM. De stroomsnelheden zijn beschreven in de as van de vaargeul of vaarweg, tenzij anders vermeld.
- Dwarsstroomsnelheden zijn beschreven langs Raai 1, kwadratisch gemiddeld over 14,5 m diepte. Raai 1 ligt in de as van de huidige vaargeul, beginnend bij de kop van de Splitsingsdam en eindigend ongeveer 17 km zeewaarts daarvan (Figuur 1-1b). De havenmond (d.w.z. de kop van de Noorderdam) ligt bij raai-coördinaat 2.600 m. Dwarsstroomsnelheden zijn weergegeven in figuren.
- Dwarsstroomgradiënten zijn afgelezen uit de figuren van de dwarsstroomsnelheden. De gradiënten zijn berekend over een minimaal snelheidsverschil van 0,5 m/s (zie § 4.1.2).
- Bij alle alternatieven zijn animaties opgenomen van saliniteit en stroomsnelheid langs Raai 1.
- Bij enkele alternatieven zijn animaties opgenomen van de saliniteit in laag 1 en laag 7 en van de stroomsnelheid in laag 1.

0G

## 2. Modelbeschrijving

### 2.1 Rekenmodel

De stroombeelden zijn bepaald met een driedimensionaal Delft3D stromingsmodel, het zogenaamde Detailmodel, dat ontwikkeld is door WL|Delft Hydraulics. Dit Detailmodel is zodanig van opzet dat eventueel optredende loslating en neervorming in de stroming langs de havendammen zo betrouwbaar mogelijk wordt berekend. Met het Detailmodel zijn door WL|Delft Hydraulics o.a. validatieberekeningen uitgevoerd voor de huidige situatie. Voor de resultaten hiervan wordt verwezen naar [Ref. 3].

In het voorjaar van 2002 heeft WL|Delft Hydraulics het Detailmodel overgedragen aan EC-PMR, waarna EC-PMR stromingsberekeningen heeft uitgevoerd voor de huidige Maasvlakte en de Set 1 alternatieven met een eigen haveningang. De resultaten hiervan zijn te vinden in het rapport 'Stromingsberekeningen Detailmodel' [Ref. 2]. Hierin wordt uitgebreid ingegaan op o.a. de gebruikte modelinvoer en de van belang zijnde stromingsmechanismen.

In de volgende paragrafen wordt een korte beschrijving gegeven van de gebruikte modelinvoer van de Doorsteekvariant, contour 0. Voor een gedetailleerde beschrijving en motivatie van de modelinvoer wordt verwezen naar [Ref. 2 en 3].

### 2.2 Rekenrooster

Als basis voor het rooster van de verschillende contouren van de Doorsteekvariant is het rooster van Set 1 Alternatief B1 gebruikt [Ref.2]. Aanpassingen aan het rooster zijn gedaan rond de Zuiderdam, in het havengebied van de landaanwinning en in de huidige Maasvlakte t.p.v. doorsteek naar de landaanwinning.

In verticale richting bestaat het rekenrooster van het Detailmodel uit 9 lagen. De dikte, de onderkant en het midden van deze lagen is vermeld in navolgende tabel als percentage van de totale waterdiepte en als absolute waarde in meters uitgaande van een waterdiepte van 20 m. De positie van onderkant en midden is vermeld ten opzichte van het wateroppervlak. Tijdreeksen van stroomsnelheden zijn in figuren gepresenteerd voor de lagen 1, 4 en 7.

Nr.	dikte (%)	onderkant (%)	midden (%)	20 m waterdiepte		
				dikte (m)	onderkant (m)	midden (m)
<b>1</b>	<b>9.0%</b>	<b>9.0%</b>	<b>4.50%</b>	<b>1.8</b>	<b>1.8</b>	<b>0.9</b>
2	13.5%	22.5%	15.75%	2.7	4.5	3.15
3	15.0%	37.5%	30.00%	3	7.5	6
<b>4</b>	<b>15.0%</b>	<b>52.5%</b>	<b>45.00%</b>	<b>3</b>	<b>10.5</b>	<b>9</b>
5	15.0%	67.5%	60.00%	3	13.5	12
6	13.5%	81.0%	74.25%	2.7	16.2	14.85
<b>7</b>	<b>9.0%</b>	<b>90.0%</b>	<b>85.50%</b>	<b>1.8</b>	<b>18</b>	<b>17.1</b>
8	6.0%	96.0%	93.00%	1.2	19.2	18.6
9	4.0%	100.0%	98.00%	0.8	20	19.6

### 2.3 Bodemschematisatie

Voor het bodembestand is gebruik gemaakt van het bodembestand van Alternatief B1, welke samengesteld is uit de bodemgegevens van het Zeedeltamodel aangevuld met recente metingen in de Maasmond en Maasgeul. De diepte rond de landaanwinning is aangepast aan de te berekenen contour.

### 2.4 Initiële condities

Bij de berekening van Doorsteekvariant, contour 0 is gebruik gemaakt van een initiële file, opgestart op 14/08/01 10:10, zodat het model 8 dagen in kan spelen. Deze initiële file is gemaakt op basis van een uitvoerbestand van Alternatief B1 van 23/08/01 3:00. De snelheid is in het hele modelgebied op nul gezet. De waterstand en de saliniteit zijn overgenomen uit het uitvoerbestand. De saliniteit van laag 5 is daarbij opgelegd in alle lagen (uniform over de diepte). Ter plaatse van de landaanwinning is de initiële file handmatig aangepast.

De berekeningen van Doorsteekvariant, contour 1, zowel zonder als met onderwaterdam, en de berekening voor de 'eerste aanlegfase' van Contour 0 zijn gestart met een restartfile van de eindfase van Contour 0 van 20/08/01 10:10, zodat het model 2,5 dagen is ingespeeld.

De berekeningen van de tussenfase van Contour 0 is gestart met een restartfile van de eindfase van Contour 0 van 19/08/01 10:10, zodat het model 3,5 dagen is ingespeeld.

### 2.5 Randvoorwaarden

De berekeningen zijn uitgevoerd met een constante, gemiddelde rivierafvoer bij Lobith (2200 m<sup>3</sup>/s) in combinatie met een hoog springtij en het Getemd Getij spuieregime van de Haringvlietsluizen. Tijdens de inspeelperiode is gerekend met de actuele wind. Tijdens de uitvoerperiode is de wind op nul gezet om windinvloeden te voorkomen. Opgemerkt dient te worden dat de randvoorwaarden gegenereerd zijn voor de eerste aanlegfase van Set 1 Alternatief Ila1. Gebruik van deze

randvoorwaarden, met name de debiet- en saliniteitsranden bij de Haringvlietsluizen, geeft bij de berekening van de andere alternatieven, met name bij de huidige Maasvlakte, een onbetrouwbaarheid in de resultaten. Naar verwachting zal de invloed hiervan echter gering zijn.

De karakteristieke hoog- en laagwaterstanden en de getijslagen bij Hoek van Holland zijn vermeld in de navolgende tabel.

Tijdstippen in MET Waterstanden [m tov NAP]			Berekend		Gemeten		Astronomisch voorspeld	
HW1	1 <sup>e</sup> top	22 aug.	17:15	+1,38	17:15	+1,37	17:00	-1,20
	2 <sup>e</sup> top	22 aug.	<b>17:55</b>	<b>+1,40</b>	geen 2 <sup>e</sup> top		geen 2 <sup>e</sup> top	
LW1	1 <sup>e</sup> dal	22 aug.	<b>22:25</b>	<b>-0,81</b>	22:20	-0,83	22:00	-0,84
	2 <sup>e</sup> dal	23 aug.	<b>1:00</b>	<b>-0,67</b>	1:45	-0,64	1:30	-0,73
HW2	1 <sup>e</sup> top	23 aug.	<b>5:20</b>	<b>+1,45</b>	5:20	+1,45	5:20	+1,41
LW2		23 aug.	-	-	10:35	-0,40	10:30	-0,30
<b>Getijslag:</b>								
Neergaand van HW1 naar LW1			<b>-2,21</b>		-2,20		-2,02	
Opgaand van LW1 naar HW2			<b>+2,12</b>		+2,09		+2,14	
Neergaand van HW2 naar LW2			-		-1,85		-1,71	

Het doorgerekende getij is een 'hoog' springtij, want voor gemiddeld springtij bij Hoek van Holland geldt: HW = +1,30 m en LW = -0,60 m, zodat de getijslag 1,90 m is.

Uit een vergelijking met alle 705 voorspelde astronomische getijkrommen in het jaar 2001 blijkt dat de opgaande getijslag in de berekening (= 2,12 m) in 2001 astronomisch 17 maal is overschreden. Een nauwelijks kleinere opgaande getijslag van 2,10 m is in 2001 al 24 maal overschreden. De opgaande getijslag is dus niet bijzonder extreem.

De neergaande getijslag van HW1 naar HW2 (-2,21 m in de berekening) is astronomisch gezien wel extreem, want de grootste astronomisch voorspelde neergaande getijslag in 2001 was -2,10 m. (Door meteorologische invloeden kan de actuele getijslag groter zijn dan de astronomische getijslag). De neergaande getijslag van HW2 naar LW2 (-1,85 m bij de meting) is iets kleiner dan de getijslag van een gemiddeld springtij (1,90 m).

In het onderhavige rapport worden eb-snelheden vermeld behorend bij de neergaande getijslag van HW1 naar LW1 en vloed-snelheden bij de opgaande getijslag van LW1 naar HW2.

De karakteristieke tijdstippen van Hoogwater bij Hoek van Holland zijn:

22 augustus 17:55 uur

23 augustus 5:20 uur.

## 2.6 Uitvoerperiode en tijdstap

De uitvoerperiode is van 22/08/01 20:00 (3:00 uur na HW) t/m 23/08/01 9:30 (4:10 uur na HW). Tot 22/08/01 10:10 (12 uur voor de uitvoerperiode) is een tijdstap aangehouden van 0,25 minuut. Daarna is de tijdstap verkleind naar 0,125 minuut.

0G

### 3. Resultaten Huidige Maasvlakte en Alternatief Ila1

In dit hoofdstuk wordt ter vergelijking met de nieuwe Doorsteekvarianten een samenvatting geven van de eerder verkregen resultaten van de Huidige Maasvlakte en Set 1 Alternatief Ila1. Voor een gedetailleerde beschrijving wordt verwezen naar Ref.2.

#### 3.1 Huidige Maasvlakte

##### 3.1.1 Stroming voor havenmond

###### Vloed

De maximale 14,5m-gemiddelde vloedstroming bereikt rond 5:00 (HW HvH om 5:20) snelheden van 1,2 m/s in de as van de vaargeul (Animatie sn14,5.flc en figuur 0.1b). Er is enige tijd een zwakke neer te zien met snelheden van maximaal 0,4 à 0,6 m/s aan de zuidzijde van de vaargeul. De neer veroorzaakt binnen de Maasmond een zwakke negatieve (c.q. zuidwaartse) dwarsstroming van 0,1 à 0,15 m/s (zie figuur 0.2b).

Rond 5:30 passeert een zoetwaterbel, afkomstig uit het Haringvliet, de vaargeul en zorgt daar voor 14,5m-gemiddelde snelheden van 1,3 m/s in de as van de vaargeul (zie figuur 0.1c).

De dwarsstroming bereikt het eerste maximum om 5:00 met waarden van 0,9 à 1,0 m/s tot vlak voor de havenmond. Na 5:00 nemen door het passeren van het zoete water de dwarsstroomsnelheden toe naar een maximale waarde van 1,2 m/s om 5:30 vlak voor de havenmond (zie figuur 0.2b).

De dwarsstroomgradiënt is maximaal om 6:30, met een waarde van 1,1 m/s/km. De dwarsstroom-snelheid is dan 1,1 m/s.

###### Eb

De ebstroming voor de havenmond is maximaal rond 23:00, met snelheden van ongeveer 0,9 m/s in de as van de vaargeul (Animatie sn14,5.flc en figuur 0.1a).

De dwarsstroming tijdens de ebperiode is maximaal rond 23:45, met stroomsnelheden van 0,7 m/s ver van de havenmond en 0,4 m/s vlak voor de havenmond (figuur 0.2a).

##### 3.1.2 Stroming in Maasmond

De 14,5m-gemiddelde vloedstroming in de Maasmond is maximaal om 4:45, met snelheden van 1,1 m/s.

De ebstroming in de Maasmond is maximaal tussen 21:15 en 22:15, met 14,5m-gemiddelde snelheden van 1,4 m/s bij de uitstroom van de Nieuwe Waterweg tot 1,0 à 1,2 m/s bij de ingang van de Maasmond (Animatie sn14,5.flc).

### 3.1.3 **Stroming in Calandkanaal en Beerkanaal**

In de bocht naar het Beerkanaal zijn de 14,5m-gemiddelde vloodsnelheden maximaal rond 4:15. De snelheid is overal kleiner dan 0,4 m/s, behalve in de ingang van het Calandkanaal, waar snelheden voorkomen van 0,8 m/s (Animatie sn14,5.flc).

De 14,5m-gemiddelde ebstroom maximaal tussen 20:00 en 22:00, met snelheden variërend van maximaal 0,4 m/s in het Beerkanaal tot 0,6 m/s in de ingang van het Calandkanaal.

## 3.2 **Set 1 Alternatief Ila1**

### 3.2.1 **Stroming voor havenmond**

#### Vloed

Bij Alternatief Ila1 ontstaat tijdens de vloedperiode een grote neer in de vaargeul met maximale snelheden van ongeveer 1,2 m/s langs de Zuiderdam en de Noorderdam (Animatie sn14,5.flc). De neer blijft gedurende de hele vloedperiode in de ingang van Maasmond aanwezig.

De grootste vloodsnelheden voor de havenmond worden omstreeks 5:15 bereikt, met snelheden van 1,7 m/s in de as van de vaargeul.

De dwarsstroomsnelheden zijn maximaal op het moment dat de neer een groot deel van de breedte van de vaargeul beslaat. Dit is om 5:30. De dwarsstroomsnelheid is dan 1,5 m/s.

Vanaf 6:45 passeert een zoetwaterbel uit het Haringvliet de vaargeul. Er is dan een tweede maximum te zien in de dwarsstroomsnelheid vlak voor de havenmond, met snelheden van 1,3 m/s.

Om 6:00 is de dwarsstroomgradiënt maximaal met een waarde van circa 2,5 m/s/km. Op dit tijdstip is de dwarsstroomsnelheid maximaal 1,5 m/s.

#### Eb

De maximale (dwars)stroming tijdens eb treedt op rond 0:00, met stroomsnelheden van 1,3 m/s en dwarsstroomsnelheden van 1,0 m/s (Animatie sn14,5.flc).

### 3.2.2 **Stroming in (verlengde) Maasmond**

De 14,5m-gemiddelde vloedstroming in de Maasmond is maximaal tussen 4:30 en 5:00, met snelheden van 1,0 m/s aan de west- en oostzijde van de Maasmond (Animatie sn14,5.flc).

De ebstroming in de Maasmond is maximaal tussen 21:00 en 22:00, met snelheden van 1,0 à 1,2 m/s bij de ingang van de Maasmond (Animatie Ila1-sn14,5.flc).

### 3.2.3 **Stroming in Calandkanaal, Beerkanaal en Yangtzehaven**

De stroming in de ingang van het Beer- en Calandkanaal bij Alternatief Ila1 zijn vergelijkbaar met die bij de Huidige Maasvlakte (zie § 3.1.3).

De stroomsnelheden in de Yangtzehaven blijven het hele getij klein blijven, met maximale 14,5m-gemiddelde snelheden van 0,2 m/s.

## 4. Resultaten contouren Doorsteekvariant

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de verschillende contouren van de Doorsteekvariant belicht. Hierbij wordt net als bij de eerder beschreven resultaten aandacht besteed aan zowel het stroombeeld vóór de havenmond als aan het stroombeeld binnen de havenmond: in de Maasmond, de ingang van het Calandkanaal en de Europahaven, de Yangtzehaven en in het havenbekken van de landaanwinning.

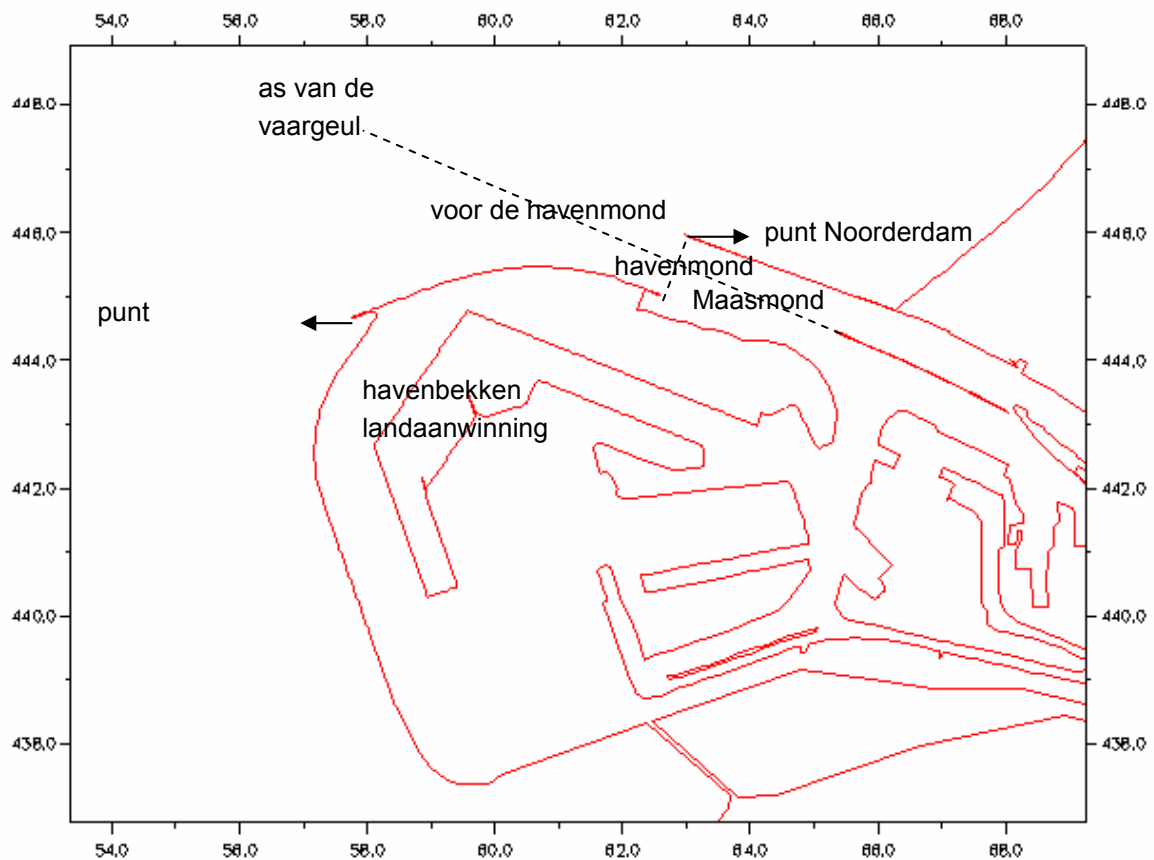
Zoals in de leeswijzer reeds is vermeld, zijn snelheidswaarden altijd dieptegemiddelden over de bovenste 14,5m, tenzij anders wordt vermeld.

### 4.1 Contour 0

Doorsteekvariant, contour 0 is in het vervolg van dit rapport afgekort tot Contour 0.

#### 4.1.1 Geometrie

De geometrie van contour 0 is weergegeven in navolgende figuur en in figuur 1-1d.



De geometrie van de harde zeewering (in het vervolg Zuiderdam genoemd) komt overeen met de geometrie van de harde zeewering bij Referentieontwerp Ia1 van Set1. Ook de ligging van de westelijk zachte zeewering is gelijk aan de bij Referentieontwerp Ia1. Belangrijk verschil met Referentieontwerp Ia1 is dat bij de Doorsteekvariant de zuidelijke zachte zeewering een stompe hoek maakt met de westelijk zachte zeewering, waardoor de stroomlijning van de zachte zeewering beter is.

Een belangrijk verschil is verder dat het wateroppervlak binnen de landaanwinning bij de Doorsteekvariant kleiner is dan bij Referentieontwerp Ia1, omdat bij de Doorsteekvariant Centraal Kanaal en insteekhavens op een compactere manier zijn geïntegreerd. Door het kleinere wateroppervlak zal er bij de Doorsteekvariant een kleiner getijvolume door de Yangtzehaven stromen.

#### 4.1.2 Stroming voor de havenmond

##### Vloed

De vloedstroming bij Contour 0 bereikt om 4:45 à 5:00 (HW HvH om 5:20) het maximum met snelheden voor de havenmond van 1,2 m/s in de as van de vaargeul (Animatie sn14,5.gif en Figuur 1-2b). *(In de huidige situatie zijn de maximale snelheden 1,3 m/s).*

Tot 4:15 uur loopt de vloedstroming 'strak' langs de contour van de landaanwinning en de Zuiderdam, zonder enige vorm van loslating. Daarna begint zich ten noorden van de punt van de Zuiderdam langs de dam een stroomluwte te ontwikkelen. Om 5:30 uur heeft het stroomluwtegebied zich uitgebreid langs de gehele lengte van de Zuiderdam, maar het gebied is nog relatief smal, namelijk circa 250 m breed. Om 5:30 uur begint zich ook een retourstroming te ontwikkelen langs de Zuiderdam.

Na 5:30 uur wordt de omvang van het stroomluwtegebied steeds groter en de retourstroming (c.q. neerstroming) langs de Zuiderdam wordt steeds sterker. Vanaf 5:30 uur breidt het stroomluwtegebied zich ook uit ten zuiden van de punt van de Zuiderdam, zodat het loslaatpunt van de vloedstroming in zuidelijke richting verschuift van de punt van de Zuiderdam naar de westelijke kustboog van de landaanwinning. De vloedstroming gaat vanaf het westpunt met een grote boog om de landaanwinning heen zonder de Zuiderdam te raken. De retourstroming langs de Zuiderdam bereikt om circa 7:15 uur een maximale snelheid van circa 0,6 m/s (Figuur 1-2d). Vanaf ongeveer 7:00 ligt de neer gedeeltelijk in de vaargeul. De neerstroming veroorzaakt in de vaargeul echter geen merkbare retourstroming of dwarsstroming.

De neerstroming langs de Zuiderdam is volgens de huidige berekening sterker dan de neerstroming die volgt uit een berekening met het Zeedelta-model van het min of meer vergelijkbare Referentie alternatief Ia1 [Ref. 4]. Mogelijke oorzaken van de sterkere neerstroming bij Contour 0 zijn:

1. Bij Contour 0 is de aanstroomrichting van de vloedstroming minder gunstig, waardoor de vloedstroming al los laat in het gekromde traject van de zachte zeewering;
2. Bij Contour 0 is gerekend met een andere getijkromme: hoger springtij en langere vloedperiode;
3. Bij Contour 0 is gerekend met een ander model, namelijk met het Delft3D-model met een fijner rooster en met Large Eddy Simulation.

De bovengenoemde oorzaken 1 en 2 maken het fysisch verklaarbaar dat bij Contour 0 de neerstroming sterker is dan bij alternatief Ia1. Het is echter niet bekend in welke mate de fysische verschillen inderdaad de oorzaak zijn van het verschil tussen de berekende neerstromingen. Het

verschil tussen de modellen (ad 3) kan ook een belangrijke oorzaak zijn van het verschil tussen de berekende neerstromingen. Met name het verschil in roosterfijnheid rond de punt van de Zuiderdam kan een rol spelen: het rooster voor Contour 0 is hier veel fijner dan het rooster voor alternatief Ia1. Uit berekeningen voor alternatief Ia1 (met eigen havenmond) is gebleken dat de fijnheid van het rooster bij de punt van de Zuiderdam essentieel is voor een goede berekening van loslating en neerstroming: bij een onvoldoende fijn rooster bleek de neerstroming zeer sterk te worden onderschat. Het kan zijn dat ook bij alternatief Ia1 de neerstroming is onderschat door een te grof rooster rond de punt van de Zuiderdam.

De vraag kan gesteld worden of bij Contour 0 het rooster wel fijn genoeg is voor een goede reproductie van loslating en neerstroming. Deze vraag kan nu niet met zekerheid worden beantwoord. Daarvoor zou een berekening moeten worden uitgevoerd met een verder verfijnd rooster en deze berekening is tot nu toe niet uitgevoerd.

Als bij een berekening met een fijner rooster zou blijken dat loslating en neerstroming van de punt van de Zuiderdam verder toenemen, dan kan dit worden tegengegaan door de punt van de Zuiderdam een meer gestroomlijnde vorm te geven.

Het huidige rooster voor Contour 0 is zeker wel fijn genoeg langs de gekromde gedeelten van de zachte zeewering en de Zuiderdam. De maaswijdte van het rooster is hier namelijk een orde kleiner dan de straal van de kromming van de buitencontour.

Rond 6:30 passeert een zoetwaterbel, afkomstig uit het Haringvliet, de vaargeul en zorgt daar voor verhoogde stroomsnelheden, met name in de oppervlaktelaag. Om 6:45 komen oppervlaktesselheden voor van 1,4 m/s in de as van de vaargeul, terwijl de snelheid op 12 m 0,7 m/s is (Animatie raai1.avi). De 14,5m-gemiddelde is op dat moment 1,2 m/s in de as van de vaargeul.

De maximale dwarsstroomsnelheden voor de havenmond treden op om 5:30 uur (0:10 na HW HvH). Deze maximale snelheden bedragen 1,1 à 1,2 m/s, optredend vanaf 7 km zeewaarts van de kop van de Noorderdam (Figuur 1-4b). *(In huidige situatie 1,2 m/s op 1,8 km)*. Tussen 7 km en de kop van de Noorderdam neemt de dwarsstroming zeer geleidelijk af als gevolg van het bijdraaien van de richting van de stroomvector naar de Maasmond.

Na 5:30 neemt de dwarsstroming af in de tijd. Vanaf 6:30 treedt door het passeren van de zoetwaterbel uit de Haringvlietsluizen een kleine piek op in de dwarsstroomsnelheden op 4,5 km voor de punt van de Noorderdam. Om 6:45 is de piek in de dwarsstroming 1,1 m/s (dit tijdstip is niet getekend in figuur 1-4b). Om 6:30 en 7:00 is de pieksnelheid circa 0,83 m/s. *(In huidige situatie is maximum pieksnelheid 1,2 m/s op 1,8 km van de kop van de Noorderdam)*.

In een raai in de as van de vaargeul (Raai 1) is te zien dat om 5:00 de stroomsnelheid in de eerste 4 km voor de punt van de Noorderdam over de verticaal varieert van 1,2 m/s bij het oppervlak tot 1,1 m/s op 12 m diepte (Animatie raai1.avi). De stroming draait zowel bij het oppervlak als bij de bodem de Maasmond in. Verder zeewaarts bevindt zich nog een gebied met zoeter water, welke tijdens de ebperiode uit de Nieuwe Waterweg gestroomd is. Deze zoete oppervlaktelaag geeft hogere oppervlaktesselheden van 1,5 m/s en een stroomrichting die wat meer dwars op de vaargeul staat.

De dwaarsstroomgradiënt is niet maximaal op het tijdstip van maximale vloedstroming, omdat op dit tijdstip sprake is van sterke instroming naar de Maasmond. De instroming van de Maasmond in combinatie met een flauwe kromming van de Zuiderdam, zorgt voor een geleidelijke bijdraaiing van de stroomvector in de richting van de Maasmond, waardoor de dwarsstroming langs de as van de vaargeul een relatief flauwe gradiënt vertoont. Verderop in het getij wordt de gradiënt in de dwarsstroming sterker omdat de vloedstroming door de Maasmond sneller afneemt dan de vloedstroming op zee; hierdoor draait de stroomvector minder bij in de richting van de Maasmond, waardoor de gradiënt sterker wordt.

De dwarsstroomgradiënt kan vrij sterk variëren in tijd en plaats, waardoor het lastig is om de maatgevende gradiënt te bepalen. Bij het bepalen van de gradiënt zou rekening moeten worden gehouden met de snelheidsverschillen en/of afstanden die nautisch gezien van belang zijn. Hierover bestaat echter nog geen duidelijkheid. Om toch de gradiënten eenduidig te bepalen, teneinde de alternatieven op dit onderdeel te kunnen vergelijken, wordt uitgegaan van een dwarsstroomgradiënt over een minimaal snelheidsverschil van 0,5 m/s.

De dwaarsstroomgradiënt bij Contour 0 is maximaal rond 7:00, met een waarde van circa 0,5 m/s/km (Figuur 1-4b). De dwarsstroomsnelheid over de vaargeul bedraagt op dat moment circa 0,8 m/s vanaf 4 km zeewaarts van de punt van de Noorderdam. De maximale dwarsstroomgradiënt is bij Contour 0 aanzienlijk kleiner dan bij de huidige situatie (1,1 m/s/km).

#### Eb

De ebstroom vanuit het noorden geeft de grootste stroomsnelheden voor de havenmond rond 0:00, met snelheden van ongeveer 0,8 m/s in de as van de vaargeul (Animatie sn14,5.flc en Figuur 1-2a).

De dwaarsstroming tijdens de ebperiode is maximaal rond 0:00, met stroomsnelheden van 0,8 m/s op grote afstand (12 km) zeewaarts van de punt van de Noorderdam (Figuur 1-4a). De dwarsstroomsnelheid neemt geleidelijk af naar 0 m/s binnen de havendammen, omdat de stroomrichting daar evenwijdig aan de vaargeul is.

### 4.1.3 Stroming in de Maasmond

Bij de stroming in de Maasmond bij de Doorsteekvariant speelt, net als in de bestaande situatie, de gelaagdheid een belangrijke rol. In de zoete oppervlaktelaag zijn de snelheden vrijwel altijd zeewaarts gericht (Animatie raai1.avi).

De 14,5m-gemiddelde vloedstroming in de Maasmond is maximaal om 4:45, met snelheden van 1,1 m/s. Vanwege de gelaagdheid zijn er grote verschillen tussen de onder- en bovenlaag. In de as van de vaargeul (Raai 1) is de snelheid in de zoute onderlaag op 12 m diepte 1,2 m/s, terwijl de snelheid in de zoetere oppervlaktelaag 0,5 m/s is (Animatie sn14,5.flc, raai1.avi en Figuur 1-3c).

De ebstroming in de Maasmond is maximaal tussen 21:15 en 22:15, met 14,5m-gemiddelde snelheden van 1,4 m/s bij de uitstroom van de Nieuwe Waterweg tot circa 1,1 m/s bij de ingang van de Maasmond (Animatie sn14,5.flc). In Raai 1 is te zien dat de gelaagdheid kleiner is dan tijdens vloed. De stroomsnelheid bij de Maasmond op 12 m diepte is 0,9 m/s, terwijl de zoetere oppervlaktesnelheid groter is door de uitstroom van de rivier, namelijk 1,4 m/s (Animatie raai1.avi en Figuur 1-3c).

#### 4.1.4 **Stroming in de ingang van het Calandkanaal en de Europahaven**

In de bocht naar het Beerkanaal zijn de 14,5m-gemiddelde vloedsnelheden maximaal rond 4:30. De maximale snelheid varieert dan van 0,4 m/s in de ingang van de Europahaven tot 0,6 m/s in de ingang van het Beerkanaal en 1,0 m/s in de ingang van het Calandkanaal (Animatie sn14,5.flc). Er is sprake van een sterke gelaagdheid van de stroming, waarbij de grootste snelheden optreden op grotere diepte. In de ingang van het Calandkanaal komen snelheden aan het oppervlak voor van 0,5 m/s, terwijl de snelheid bij de ingang naar de Europahaven 0,3 m/s is. De snelheden in de middenlaag variëren van 1,5 m/s in de ingang van het Calandkanaal tot 0,3 m/s bij de ingang naar de Europahaven. In de onderlaag variëren de snelheden van 1,2 m/s in de ingang van het Calandkanaal tot 0,4 m/s bij de ingang naar de Europahaven (Figuur 1-3d t/m 1-3f).

De 14,5m-gemiddelde ebstroom is maximaal tussen 20:00 en 21:00, met maximale snelheden van 0,2 m/s in de ingang van de Europahaven, 0,5 m/s in de ingang van het Beerkanaal en 0,7 m/s in de ingang van het Calandkanaal. In de ingang van de Europahaven is de snelheid in het oppervlak 0,2 m/s en in de onderlaag 0,1 m/s. In de ingang van het Calandkanaal zijn de ebsnelheden aan het oppervlak 0,7 m/s en in de bodemlaag 0,6 m/s. De snelheid in de middenlaag is ongeveer 0,7 m/s (Animatie sn14,5.flc en Figuur 1-3d t/m 1-3f).

#### 4.1.5 **Stroming in de Yangtzehaven en het havenbekken van de landaanwinning**

De stroomsnelheid in de Yangtzehaven tijdens de ebperiode is klein, maximaal 0,1 à 0,2 m/s (Animatie sn14,5.gif en Figuur 1-3g en 1-3h). De vloedstroming is maximaal om 4:30 met 14,5-gemiddelde snelheden van 0,2 à 0,3 m/s. De stroomsnelheid in de oppervlaktelaag is daarbij 0,1 m/s groter dan in de onderlagen.

In het havenbekken van de landaanwinning zijn de snelheden zowel tijdens eb als tijdens vloed maximaal 0,1 m/s (Animatie sn14,5.gif).

## 4.2 **Contour 0, eerste aanlegfase (noord-zuid fasering)**

Doorsteekvariant, contour 0, eerste aanlegfase is in het vervolg van dit rapport afgekort tot de 'eerste aanlegfase'. In het vervolg van deze paragraaf worden met name de verschillen van de eerste aanlegfase t.o.v. de eindfase besproken.

### 4.2.1 **Geometrie**

De geometrie van de 'eerste aanlegfase' wordt getoond in figuur 2-1b. Deze geometrie is in een later stadium de 'noord-zuid fasering' genoemd.

De 'eerste aanlegfase' is een mogelijke tussenfase in een van noord naar zuid gerichte ontwikkeling naar de eindgeometrie van Contour 0. Later is ook een andere tussenfase (oost-west fasering) uitgerekend, waarbij de stroomlijning van de zachte zeewering beter is (zie §4.5).

### 4.2.2 **Stroming voor de havenmond**

Tijdens de ebperiode is het stroombeeld voor de havenmond bij de 'eerste aanlegfase' vrijwel identiek aan dat bij de eindfase. De karakteristieke snelheden verschillen minder dan 0,1 m/s. Tijdens de vloedperiode vertoont het algemene stroombeeld bij de eerste fase en de eindfase veel overeenkomst, maar dan zijn er ook enkele belangrijke verschillen.

### Vloed

Net als bij de eindfase van Contour 0 bereikt de vloedstroming bij de 'eerste aanlegfase' om 4:45 à 5:15 (HW HvH om 5:20) het maximum. De maximale vloodsnelheid in het contractiegebied ten westen van de landaanwinning (optredend om 4:45) is bij de 'eerste aanlegfase' groter dan bij de eindfase, zodat bij de 'eerste aanlegfase' een diepere erosiekuil zal ontstaan. In de as van de vaargeul is de maximale snelheid bij de 'eerste aanlegfase' slechts weinig (0,05 à 0,1 m/s) groter dan bij de eindfase. De grootste verschillen (0,1 m/s) treden op bovenin de waterkolom (Animatie sn14,5.gif en Figuur 2-2b).

Om 4:00 uur loopt de vloedstroming langs de contour van de landaanwinning en de Zuiderdam, zonder enige vorm van loslating. Daarna begint zich rond de punt van de Zuiderdam en langs de dam een stroomluwte te ontwikkelen. Deze ontwikkeling verloopt sneller dan bij de eindfase van Contour 0. Omdat de stroomluwte zich vanaf het begin (4:15) rondom de punt van de Zuiderdam ontwikkelt (en niet alleen te noorden ervan), lijkt de oorsprong van de loslating van de vloedstroming niet bij de punt van de Zuiderdam te liggen, maar bij de bocht in de zachte zeewering. Toch kan de punt van de Zuiderdam wel degelijk de primaire oorzaak zijn van de loslating: de punt van de Zuiderdam veroorzaakt namelijk een stroomluwte tussen deze punt en de zachte zeewering, waardoor loslating wordt 'getriggerd' bij de nabij gelegen bocht in de zachte zeewering. Als deze loslating eenmaal is 'getriggerd' groeit deze steeds verder uit; dit proces verloopt bij de 'eerste aanlegfase' sneller dan bij de eindfase, vanwege de ongunstigere aanstroomrichting langs de zuidelijke zachte zeewering. Als de Zuiderdam niet in een punt zou eindigen, maar met een vloeiende kromming verder zuidwaarts zou worden doorgetrokken langs de gekromde contour van de landaanwinning, dan zou loslating en neerstroming mogelijk sterk worden uitgesteld en gereduceerd.

Om 5:15 uur heeft het stroomluwtegebied zich uitgebreid langs de gehele lengte van de Zuiderdam. Het luwtegebied bij de 'eerste aanlegfase' is vanaf het begin van ontwikkelen breder dan bij de eindfase. Om 5:00 uur begint zich een retourstroming te ontwikkelen langs de Zuiderdam. Deze retourstroming is aanzienlijk sterker dan bij de eindfase: de retourstroming bereikt tussen 5:45 en 6:15 een maximale snelheid van circa 1,0 m/s (Figuur 2-2c). Vanaf ongeveer 6:15 ligt de neer gedeeltelijk in de vaargeul (figuur 2-2d). De neerstroming veroorzaakt in de vaargeul geen merkbare retourstroming, maar (in tegenstelling tot de eindfase) wel enige dwarsstroming (zie vervolg).

De maximale dwarsstroomsnelheden bij de eerste fase van Contour 0 zijn vergelijkbaar met die in de eindfase. Een verschil is dat de maximale dwarsstroomsnelheden wel 1 à 2 km dichter bij de punt van de Noorderdam optreden en dat de grotere neer bij de eerste fase duidelijk invloed heeft op het dwarsstroomverloop. Vanaf 6:30 is de neer waar te nemen in het dwarsstroomverloop: de dwarsstroming is 2 à 3 km zeewaarts van de punt van de Noorderdam negatief, d.w.z. naar het zuiden gericht (Figuur 2-4b). Tussen 7:00 tot 9:00 is de zuidwaarste dwarsstroomsnelheid 0,15 à 0,25 m/s.

Na 5:30 neemt de noordwaartse dwarsstroming af. Na 6:00 is echter door het passeren van het zoete water en door neervorming in de vaargeul een kleine piek te zien in de dwarsstroomsnelheden. Om 6:45 is de piek in de dwarsstroming 1,0 m/s. Om 7:00 bedraagt de dwarsstroomsnelheid 1,1 m/s op 5 km zeewaarts van de punt van de Noorderdam. En om 7:15 1,0 m/s.

De dwarsstroomgradiënt bij de eerste fase van Contour 0 is groter dan bij de eindfase, namelijk maximaal rond 7:00, met een waarde van circa 1,0 m/s/km (Figuur 2-4b). Deze grotere gradiënt is het gevolg van de neer voor de havenmond. De dwarsstroomsnelheid over de vaargeul bedraagt op dat moment 0,9 à 1,1 m/s vanaf 4,5 km zeewaarts van de punt van de Noorderdam.

#### 4.2.3 **Stroming in het binnengebied: Maasmond, Caland/Beerkanaal en Yangtzehaven**

De stroming in de Maasmond bij de eerste fase van Contour 0 verschilt nauwelijks van die in de eindfase. Dit komt omdat het stroombeeld hier met name wordt bepaald door het vullen en ledigen van het binnengebied. De kleinere komberging van de eerste fase van de landaanwinning in vergelijking met de eindfase is verwaarloosbaar t.o.v. de totale komberging van het binnengebied (Figuur 2-3c).

Ook de stroming in de huidige Maasvlakte en de landaanwinning bij de eerste fase van Contour 0 verschilt nauwelijks van die bij de eindfase. De eerste fase heeft weliswaar een kleinere komberging dan de eindfase, het verschil in 14,5m-gemiddelde stroomsnelheid blijft echter beperkt tot maximaal 0,1 m/s in de Yangtzehaven.

De stroomsnelheid in de Yangtzehaven blijft gedurende de ebperiode kleiner dan 0,1 m/s en gedurende de vloedperiode kleiner dan 0,2 m/s (Animatie sn14,5.gif en Figuur 2-3g en 2-3h). Ook in het havenbekken van de landaanwinning zijn de snelheden gedurende de gehele getijperiode klein, maximaal 0,1 m/s (Animatie sn14,5.gif).

### 4.3 **Contour 1**

Doorsteekvariant, contour 1 is in het vervolg van dit rapport afgekort tot Contour 1.

#### 4.3.1 **Geometrie**

De geometrie van Contour 1 wordt getoond in de navolgende figuur en in figuur 3-1d.

Bij Contour 1 is de Zuiderdam zo veel mogelijk naar het noorden verlegd, zo ver als vanuit het oogpunt van stroming acceptabel lijkt. De uitgevoerde berekening moet uitwijzen of het stroombeeld inderdaad acceptabel is.

De geometrie van Contour 1 heeft vanuit het oogpunt van terreininrichting twee voordelen t.o.v. Contour 0: er komt ten zuiden van de Zuiderdam meer terrein beschikbaar en dit terrein kan meer rechthoekig wordt verkaveld.

Het binnengebied van Contour 1 is identiek aan Contour 0. Het stroombeeld in het binnengebied is bij Contour 1 daarom (vrijwel) gelijk aan dat bij Contour 0 (zie § 4.1.3 t/m 4.1.5). Het stroombeeld in het binnengebied bij Contour 1 wordt daarom niet nader besproken.

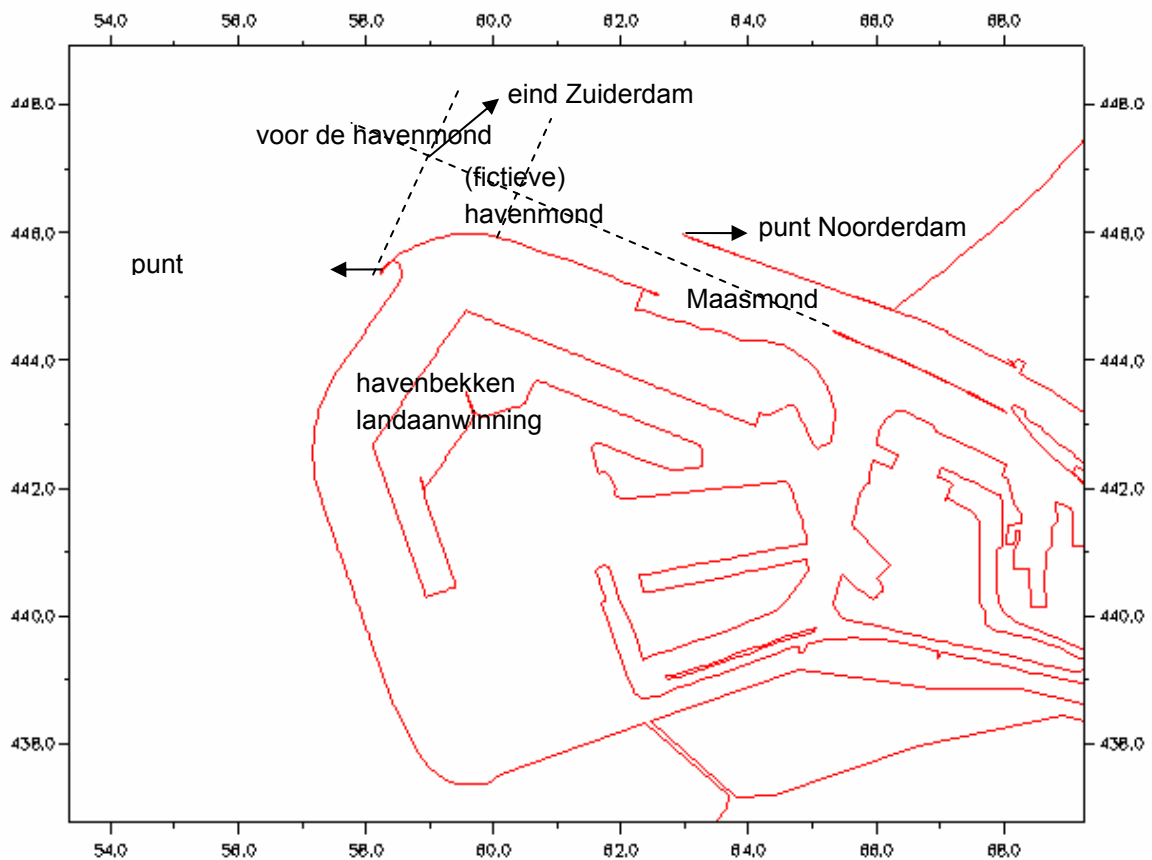
Bij Contour 1 bevindt de feitelijke havenmond zich nog steeds op de plaats van de huidige havenmond, namelijk bij de kop van de Noorderdam. Vanuit het oogpunt van dwarsstroming bevindt de havenmond zich echter meer ter hoogte van op de overgang tussen het rechte en het kromme

deel van de Zuiderdam. In het vervolg van de bespreking wordt deze locatie daarom gedefinieerd als de (fictieve) havenmond (zie navolgende figuur).

Met het 'eind van de Zuiderdam' wordt in het vervolg bedoeld de loodrechte projectie van de punt van de Zuiderdam op de as van de vaargeul (zie navolgende figuur).

Kenmerkende coördinaten langs de as van de vaargeul zijn:

kop van Noorderdam: circa 2,6 km  
 (fictieve) havenmond: circa 5,5 km  
 eind Zuiderdam: circa 7,0 km



De bodemligging rond de kop van de Zuiderdam wijkt bij Contour 1 af van die bij Contour 0 (zie Figuur 3-1d en 1-1d): bij Contour 1 loopt het onderwatertalud van de zachte zeewering rond de kop van de Zuiderdam, terwijl bij Contour 0 de teen van het onderwatertalud aansluit bij de kop van de Noorderdam. Bij Contour 0 treden ter plaatse van de kop van de Zuiderdam dus steile hellingen op in het onderwatertalud, die alleen in stand kunnen blijven als een grover bestortingsmateriaal wordt aangebracht (grind of stenen). Anderzijds zal het flauwe talud bij Contour 1 rond de kop van de Zuiderdam ook niet zonder aanvullende maatregelen in stand blijven, vanwege de lokale stroomcontractie.

De verschillende bodemliggingen bij Contour 0 en Contour 1 zijn beide mogelijk met aanvullende maatregelen. Dat bij Contour 1 een andere bodemligging is toegepast berust meer op

communicatie-misverstand dan op een bewuste keuze. Het verschil in bodemligging zal het grootschalige stroombeeld niet beïnvloeden, maar het kan wel invloed hebben op locatie en tijdstip van stroomloslating langs de Zuiderdam.

#### 4.3.2 Stroming voor de havenmond

##### Vloed

Als Contour 1 met Contour 0 wordt vergeleken dan valt op dat het stroomcontractiepunt dichterbij de vaargeul ligt dan bij Contour 0. Dit heeft een verhogende werking op de (dwars)stroming doordat ten eerste het contractiegebied met hogere stroomsnelheden tot in de vaargeul reikt. En ten tweede doordat de afstand waarover de stroming de Maasmond kan indraaien kleiner is. De stroming staat hierdoor meer dwars op de vaargeul.

De vloedstroming voor de havenmond is maximaal om 5:00 (HW HvH om 5:20) met stroomsnelheden van circa 1,4 m/s in de as van de vaargeul.

De vloedstroming vertoont vanaf het begin (circa 4:00) een lichte loslating van de Zuiderdam. Deze loslating begint niet bij de punt van de Zuiderdam, meer op enige afstand ten noorden hiervan. Dit kan komen doordat bij het gekozen bodemprofiel de diepte hier toeneemt langs de Zuiderdam, omdat talud van de zachte zeewering hier afloopt naar de vaargeul (Figuur 3-1d). (Bij Contour 0 is een ander bodemprofiel gekozen, waarbij geen sprake is van een natuurlijk talud tussen zachte zeewering en vaargeul (Figuur 1-1d)).

Ondanks de loslating volgt de vloedstroming tot 5:00 nog vrij goed de contour van de Zuiderdam. Daarna neemt het luwtegebied langs de Zuiderdam steeds meer toe in breedte en ontstaat er een duidelijke neerstroming. In tegenstelling tot Contour 0 ligt deze neer in de vaargeul. De retourstroomsnelheid in de neer is groter dan bij Contour 0 als gevolg van de grotere stroomsnelheden voor de havenmond; de retourstroomsnelheid is maximaal 0,8 m/s om 7:15. Deze sterkste retourstroming bevindt zich tussen de vaargeul en de Zuiderdam, dus niet in de vaargeul zelf (Animatie sn14,5.flc en figuur 3-2c/d). In de as van de vaargeul loopt de retourstroming op tot ca. 0,5 m/s en de neer veroorzaakt in de as van de vaargeul lokaal een zuidwaartse dwarsstroomsnelheid van 0,2 m/s (Figuur 3-4b). Het midden van de neer verplaatst zich tijdens vloed van zuid naar noord over de vaargeul. De neer verdwijnt pas bij het begin van de ebstroom.

De dwarsstroomsnelheid vertoont twee maxima. De eerste is rond 5:30 met snelheden van 0,9 m/s ter hoogte van het eind van de Zuiderdam, oplopend tot 1,1 m/s 2 km zeewaarts van het eind van de Zuiderdam en 1,2 m/s 6 km zeewaarts (Figuur 3-4b). Een tweede maximum is te zien op het moment dat een zoetwaterbel passeert afkomstig uit het Haringvliet, rond 6:45. De dwarsstroomsnelheid vertoont dan ter hoogte van het eind van de Zuiderdam een piek met een snelheid van 1,2 m/s.

In een raai in de as van de vaargeul (Raai 1) is te zien dat om 5:00 de stroomsnelheid ter hoogte van het eind van de Zuiderdam over de verticaal varieert van 1,5 m/s bij het oppervlak tot 1,2 m/s op 12 m diepte (Animatie raai1.avi). De stroming draait zowel bij het oppervlak als bij de bodem de Maasmond in. Verder zeewaarts bevindt zich nog een gebied met zoeter water, welke tijdens de ebperiode uit de Nieuwe Waterweg gestroomd is. Deze zoete oppervlaktelaag geeft hogere oppervlaktel snelheden van 1,6 m/s en een stroomrichting die wat meer dwars op de vaargeul staat.

De dwarsstroomgradiënt bij Contour 1 is maximaal rond 6:00 à 6:30, met een waarde van circa 1,2 m/s/km (Figuur 3-4b). De dwarsstroomsnelheid vertoont om 6:45 een piek met een maximum van 1,2 m/s.

#### Eb

De ebstroom vanuit het noorden geeft de grootste stroomsnelheden voor de havenmond rond 0:00, met snelheden van ongeveer 1,0 m/s in de as van de vaargeul (Animatie sn14,5.flc en Figuur 3-2a).

Ver zeewaarts van de havenmond is de dwarsstroming tijdens de ebperiode maximaal rond 0:30, met stroomsnelheden van 0,8 m/s (Figuur 3-4a). De dwarsstroomsnelheid neemt af naar 0 m/s binnen de havendammen, omdat de stroomrichting daar evenwijdig aan de vaargeul is. In het dwarsstroomverloop is een duidelijke sprong te zien. Dit is de overgang van de zoete ebstroom bij het oppervlak afkomstig uit de Nieuwe Waterweg, welke meer evenwijdig aan de vaargeul stroomt, en de zoute ebstroom op zee, welke meer dwars op de vaargeul staat (Animatie sallaag1.avi).

## **4.4 Contour 1, met onderwaterdam**

### **4.4.1 Geometrie**

De geometrie van Contour 1 met onderwaterdam wordt getoond in Figuur 4-1a. De onderwaterdam ligt circa 500 m ten zuiden van zuidpunt van de Zuiderdam en heeft de volgende kenmerken: lengte ongeveer 1,5 km, hoogte trapsgewijs resp. NAP -3 m, -9 m en -12 m, breedte circa 80 m, flauwe taluds met een helling kleiner dan 1:10. De breedte en de taluds van de dam zijn bepaald door de maaswijdte van het rekenrooster. Een werkelijk aan te leggen dam zal smaller zijn.

Doordat bij Contour 1 het stroomcontractiepunt dichterbij de vaargeul ligt dan bij Contour 0, zijn de (dwars)stroomsnelheden voor de havenmond tijdens vloed bij Contour 1 groter dan bij Contour 0. Het stroombeeld bij Contour 1 is daarom nautisch ongunstiger dan bij Contour 0. Door een berekening uit te voeren met een onderwaterdam is nagegaan of een onderwaterdam een reducerende invloed heeft op de dwarsstroming voor de havenmond. Deze reducerende werking kan worden verwacht, omdat de onderwaterdam een zeewaartse spreiding en verschuiving van het contractiegebied van de vloedstroming veroorzaakt.

Bij de berekening met onderwaterdam gaat de interesse alleen uit naar de stroming voor de havenmond. De stroming in het binnengebied krijgt in het vervolg daarom geen aandacht. De onderwaterdam zal naar verwachting niet of nauwelijks invloed hebben op de stroming in het binnengebied.

### **4.4.2 Stroming voor de havenmond**

#### Vloed

Tijdens de vloedperiode is duidelijk een zeewaartse verschuiving te zien van het stroomcontractiepunt. Dit heeft als gevolg dat het gebied met maximale stroomsnelheden voor de havenmond zeewaarts verplaatst. Echter dit geeft echter slechts een zeer geringe reductie van de maximale stroomsnelheid in de as van de vaargeul, namelijk een reductie van 0,05 m/s of minder

(zie raaianimatie). De stroomsnelheid is ook met een onderwaterdam maximaal om 5:00 met een snelheid van 1,4 m/s in de as van de vaargeul (Animatie sn14,5.gif en Figuur 4-2b). Het gebied met de hoogste stroomsnelheden in de vaargeul is door de onderwaterdam circa 700 m zeewaarts verschoven.

Opvallend is dat na 5:30 er wel een reducerende werking optreedt van de onderwaterdam. Om 6:00 is de stroomsnelheid zonder onderwaterdam in de as van de vaargeul nog ongeveer 1,3 m/s, terwijl deze met onderwaterdam gereduceerd is tot 1,1 m/s.

Ook met een onderwaterdam ontstaat er een luwtegebied ten noorden van de zuidpunt van de Zuiderdam, welke na 5:00 uitgroeit tot een neer. Er zijn enkele kleine verschillen te zien. Ten eerste ligt door de beïnvloeding van het contractiepunt door de onderwaterdam de neer iets meer naar het zuidwesten. Ten tweede zijn door de zeewaartse verplaatsing van het contractiegebied de snelheden in de neer ook iets kleiner, maximaal 0,6 m/s.

De dwarsstroomsnelheid is maximaal rond 5:30 met een snelheid van 0,8 à 0,9 m/s ter hoogte van het eind van de Zuiderdam en 1,1 à 1,2 m/s verder zeewaarts. Opvallend is dat om 6:30 de piek die zich voordoet bij het passeren van zoetwaterbel uit het Haringvliet met onderwaterdam minder groot is dan zonder onderwaterdam. Om 6:30 is de piek in de dwarsstroomsnelheid vlak voor de havenmond 1,0 m/s. De oorzaak hiervan is de verticale menging van saliniteit en de reductie van stroomsnelheden na 5:30 door de onderwaterdam.

De dwarsstroomgradiënt bij Contour 1 met onderwaterdam is tot 6:00 kleiner dan bij Contour 1. Echter op het tijdstip van maximale gradiënt om 6:30 is de gradiënt ongeveer vergelijkbaar, met een waarde van circa 1,2 m/s/km (Figuur 4-4b). De dwarsstroomsnelheid vlak voor de havenmond vertoont op dat moment een piek met een maximum van 1,0 m/s.

#### Eb

De onderwaterdam heeft geen invloed op de (dwars)stroomsnelheden tijdens eb. Voor een beschrijving van de stroomsnelheden tijdens de ebperiode zie § 4.2.2.

## 4.5 Contour 0, tussenfase (oost-west fasering)

Doorsteekvariant, contour 0, tussenfase is in het vervolg van dit rapport afgekort tot 'tussenfase'. In het vervolg worden met name de verschillen van de tussenfase t.o.v. de eindfase besproken.

### 4.5.1 Geometrie

De geometrie van de tussenfase wordt getoond in Figuur 5-1b. Deze geometrie is in een later stadium de 'oost-west fasering' genoemd. Het enige verschil met de eindfase is dat de westelijke zachte zeekering minder ver zeewaarts ligt, waardoor ook de lengte van de Zuiderdam kleiner is. Deze tussenfase heeft t.o.v. van de in § 4.2 besproken 'eerste aanlegfase' (= noord-zuid fasering) tenminste de volgende voordelen:

- de geleiding van de vloedstroming door de zachte zeekering is beter;
- de lengte van de relatief dure harde zeekering (de Zuiderdam) is korter;
- het havenbekken van de eifase past volledig binnen de contour van de tussenfase.

Het binnengebied van de tussenfase is identiek aan dat van de eindfase van Contour 0. Het stroombeeld in het binnengebied is bij de tussenfase daarom ook gelijk aan dat bij de eindfase.

#### 4.5.2 Stroming voor de havenmond

Tijdens de ebperiode is het stroombeeld voor de havenmond bij de tussenfase vrijwel identiek aan dat bij de eindfase. De karakteristieke snelheden verschillen minder dan 0,1 m/s.

Tijdens de vloedperiode vertoont het algemene stroombeeld bij de tussenfase en de eindfase veel overeenkomsten, maar er zijn ook enkele verschillen die worden veroorzaakt door de meer noordelijke ligging van de kop van de Noorderdam.

Net als bij de eindfase van Contour 0 bereikt de vloedstroming bij de tussenfase om 4:45 à 5:15 het maximum (HW HvH is om 5:20). De maximale vloedsnelheid in het contractiegebied ten westen van de landaanwinning (optredend om 4:45) is bij de tussenfase kleiner dan bij de eindfase, zodat bij de tussenfase een ondiepere erosiekuil zal ontstaan. De maximale vloedsnelheid in de as van de vaargeul is bij de tussenfase ongeveer gelijk aan die in de eindfase, te weten circa 1,2 à 1,3 m/s (Animatie sn14,5.gif en Figuur 5.2b).

Tot 4:30 uur volgt de vloedstroming de Zuiderdam, zonder enige vorm van loslating. Daarna begint zich vanaf de punt van de Zuiderdam een stroomluwte te ontwikkelen die zich uitstrekt langs de gehele lengte van de Zuiderdam. Het stroomluwe gebied is aanvankelijk zeer smal en neemt toe in breedte naarmate de stroming in de richting van de Maasmond verder vertraagt. Om 5:30 uur is de breedte van het stroomluwe gebied ongeveer 300 m. Vanaf 5:30 uur begint zich ook een retourstroming te ontwikkelen langs de Zuiderdam. De retourstroming langs de Zuiderdam bereikt om circa 7:15 uur een maximale snelheid van circa 0,6 m/s (Animatie sn14,5.gif en Figuur 5.2d). Deze maximale retourstroming is ongeveer even sterk als bij de eindfase van Contour 0. Hieruit volgt dat de conclusie dat de neerstroming ten noorden van de Zuiderdam bij eindfase en tussenfase ongeveer even sterk zijn. Echter de plaats van het centrum van de neerstroming is niet gelijk: vanwege de meer noordelijke ligging van het loslaatpunt (de punt van de Zuiderdam) bevindt om 7:15 uur het centrum van de neerstroming zich bijna in het midden van de vaargeul, terwijl bij de eindfase het centrum van de neerstroming zich voortdurend ten zuiden van de vaargeul bevindt.

Vanaf 5:30 uur ontwikkelt zich ook een stroomluw gebied langs de zachte zeewering tussen de westelijke kustboog van de landaanwinning en de punt van de Zuiderdam. Vanaf circa 6:00 is het loslaatpunt van de vloedstroming verplaatst van de punt van de Zuiderdam naar de westelijke kustboog van de landaanwinning.

De maximale dwaarsstroomsnelheden (zie figuur 5-4a t/m 4c) treden op om 5:30 uur en bedragen 1,1 à 1,2 m/s vanaf 6,5 km westwaarts van de kop van de Noorderdam. Deze maximale dwarsstroomsnelheden zijn vrijwel gelijk aan die bij de eindfase, welke ook optreden om 5:30 uur. Vanaf 6:00 uur is tussen tussenfase en eindfase wel een verschil waarneembaar in de dwarsstroming: tijdens de passage van het zoete water afkomstig uit de Haringvlietsluizen (zie Animatie sallaag1.gif) staat de stroomsnelheidsvector bij de tussenfase meer loodrecht op de as van de vaargeul dan bij de eindfase. Hierdoor treedt bij de tussenfase een hogere piek op in de

dwarsstroming op 3,5 à 4 km van de kop van de Noorderdam. Om 6:45 is de piek in de dwarsstroming maximaal en bedraagt 1,15 m/s (Figuur 5-4c). Om 6:30 en 7:00 is de hoogte van de dwarsstroompiek 1,0 m/s.

De meer loodrechte richting van de stroomvector bij de tussenfase is een gevolg van het feit dat het loslaatpunt van de vloedstroming (de punt van de Zuiderdam) en het centrum van de neerstroming dichter bij de vaargeul liggen dan bij de eindfase.

Bij de eindfase treedt rond 6:45 ook een piek op in de dwarsstroming, maar deze piek is wat lager en duurt korter: maximaal 1,08 m/s om 6:45 en 0,84 m/s om 6:30 en 7:00 (Figuur 1-4b). Om 6:45 en 7:00 is het verschil in piekhoogte tussen tussenfase en eindfase dus het grootst, namelijk 0,15 m/s.

Omdat het centrum van de neerstroming bij de tussenfase binnen de vaargeul ligt, treedt bij de tussenfase binnen de vaargeul lokaal een zuidwaartse dwarsstroming op circa 2 km zeewaarts van de punt van de Noorderdam (die zich bij een raaiafstand van 2,6 km bevindt) (Figuur 5.4b). De zuidwaarts gerichte dwarsstroomsnelheid is slechts zwak, namelijk 0,1 m/s om 7:00 toenemend tot 0,2 m/s om 8:00 uur. Vanaf dit tijdstip wordt de zuidwaartse dwarsstroming onderdeel van de opgang komende ebstroming vanuit de Maasmond.

Bij de eindfase treedt geen zuidwaartse dwarsstroming op. Bij het stroombeeld van de huidige situatie is wel sprake van een zuidwaartse dwarsstroming van circa 0,15 m/s, maar deze treedt op binnen de Maasmond (en niet zeewaarts van de Maasmond).

De dwarsstroomgradiënt bij de tussenfase van Contour 0 is iets groter dan bij de eindfase, namelijk maximaal tussen 6:00 en 7:00, met een waarde van circa 0,65 m/s/km (Figuur 5-4b). Deze grotere gradiënt treedt op omdat het loslaatpunt van de vloedstroming dichter bij de vaargeul en de havenmond ligt en omdat het centrum van de neerstroming binnen de vaargeul ligt. Op het moment van de maximale dwarsstroomgradiënt bedraagt de dwarsstroomsnelheid over de vaargeul circa 1,0 m/s vanaf 3,5 km zeewaarts van de punt van de Noorderdam.

0G

## 5. Conclusies en aanbeveling

In tabel 5.1 wordt een overzicht gegeven van de 14,5m-gemiddelde stroomsnelheden voor de havenmond en in het binnengebied. Tevens zijn dwarsstroomgradiënten voor de havenmond vermeld.

In tabel 5.2 worden de scores gegeven van het stroombeeld voor de havenmond en in het binnengebied bij de landaanwinningsalternatieven t.o.v. de huidige situatie. De scores wordt gegeven op een aantal nautisch relevante aspecten. De scoringsmethodiek is hetzelfde als bij de rapportage van de Set1-alternatieven [Ref. 2].

De lezer wordt uitgenodigd om de inhoud van de tabel 5.1 en 5.2 zelf te toetsen met de figuren en animaties.

In § 5.1 en 5.2 worden conclusies geformuleerd t.a.v. de stroming voor de havenmond en in het binnengebied. In § 5.1 wordt een aanbeveling gegeven t.a.v. de stroming voor de havenmond.

### 5.1 Stroming voor de havenmond

#### Contour 0, eindfase

Bij Contour 0 is het verloop van de dwarsstroming langs de as van de vaargeul gunstiger dan bij de huidige situatie, omdat de dwarsstroming dicht voor de havenmond minder sterk is en een zeer geleidelijk verloop vertoont. Dit geldt zowel voor de vloed als (in mindere mate) voor de eb.

Een licht nadeel van het verloop van de dwarsstroming bij Contour 0 is dat de locatie van de maximale dwarsstroomgradiënt gedurende de vloedperiode niet constant is, maar in de loop van de vloedperiode zeewaarts verschuift als gevolg van loslating van de vloedstroming van de Zuiderdam.

Verder treedt bij Contour 0 langs de Zuiderdam een grotere en sterkere neerstroming op dan in de huidige situatie. Deze neerstroming treedt echter op ten zuiden van de vaargeul, zodat de grote neer bij Contour 0 minder invloed heeft op de stroming in de vaargeul dan de kleine neer in de huidige situatie.

De neerstroming langs de Zuiderdam bij Contour 0 kan mogelijk worden beperkt door het eindpunt van de Zuiderdam beter te stroomlijnen.

#### Contour 0, 'eerste aanlegfase' (noord-zuid fasering)

De eerste aanlegfase van Contour 0 volgens de noord-zuid fasering heeft in vergelijking met de eindfase een meer naar het zuiden georiënteerde zuidkust van de landaanwinning, wat tijdens vloed een ongunstig effect heeft op de aanstroomrichting van de Westkust en van de Zuiderdam. Hierdoor is bij de 'eerste aanlegfase' de stroomcontractie langs de westkust en de neervorming langs de Zuiderdam sterker dan bij de eindfase van Contour 0. De omvang van de neerstroming is nu zo groot, dat de stroming langs de vaargeul er door wordt beïnvloed. De maximale (dwars)stroomsnelheid in de vaargeul wordt niet beïnvloed, maar de maximale dwarsstroomgradiënt wordt wel vergroot door de ligging van de neer in de vaargeul. Ook veroorzaakt de neer bij de

'eerste aanlegfase' (in tegenstelling tot de eindfase) lokaal langs de vaargeul een zuidwaarts gerichte dwarsstroomsnelheid van 0,15 à 0,25 m/s gedurende het latere deel van de vloedperiode.

De neerstroming bij de 'eerste aanlegfase' kan mogelijk worden beperkt door de Zuiderdam niet in een punt te laten eindigen, maar met een vloeiende kromming verder zuidwaarts door te trekken langs de gekromde contour van de landaanwinning.

De eerste fase van Contour 0 heeft een kleiner havenbekken binnen de landaanwinning en dus een kleinere komberging van het binnengebied. De invloed hiervan op de stroming in het binnengebied blijkt klein te zijn: maximaal 0,1 m/s lagere stroomsnelheden in de Yangtzehaven.

#### Contour 0, tussenfase (oost-west fasering)

De tussenfase van Contour 0 volgens de oost-west fasering heeft in vergelijking met de eindfase een minder ver zeewaarts gelegen buitencontour, waardoor de stroomsnelheden in het contractiegebied ten westen van de landaanwinning wat lager zijn dan bij de eindfase. De oriëntatie van de zuidelijke zeevering is gelijk aan die bij de eindfase, waardoor de geleiding van de vloedstroming door de zachte zeevering even goed verloopt als bij de eindfase en beter dan bij de 'eerste aanlegfase' (noord-zuid fasering).

De geleiding van de vloedstroming door de Zuiderdam is vergelijkbaar met de eindfase: tot het tijdstip van maximale vloedstroming volgt de stroming de contour van de Zuiderdam; vanaf dit tijdstip ontwikkelt zich langs de Zuiderdam een stroomluwte die overgaat in een neerstroming. Deze neerstroming is qua omvang en sterkte vergelijkbaar met die bij de eindfase. Echter in afwijking van de eindfase ligt bij de tussenfase het centrum van de volledig ontwikkelde neerstroming binnen de vaargeul. Dit komt doordat de kop van de Zuiderdam bij de tussenfase dichterbij de vaargeul ligt.

Op het tijdstip van maximale dwarsstroming (5:30 uur) is de dwarsstroming bij de tussenfase gelijk aan de eindfase, namelijk 1,1 à 1,2 m/s optredend vanaf 6,5 km westwaarts van de kop van de Noorderdam. In de periode daarna (tot 8:00 uur) treden tussen tussenfase en eindfase wel enige verschillen op in de dwarsstroming, welke een gevolg zijn van de meer noordelijke ligging van de kop van de Zuiderdam en van de neerstroming. Deze verschillen zijn:

- De lokale piek die rond 6:45 uur optreedt in de dwarsstroming (op 3,5 à 4 km van de kop van de Noorderdam) is wat hoger en duurt wat langer dan bij de eindfase: bij de tussenfase zijn de pieksnelheden 1,15 m/s om 6:45 en 1,0 m/s om 6:30 en 7:00, en bij de eindfase 1,08 m/s om 6:45 en 0,84 m/s om 6:30 en 7:00. Deze verschillen worden veroorzaakt doordat de stroomvector meer loodrecht op de vaargeul staat. Bij de huidige situatie toont het stroombeeld echter een vergelijkbare of nog iets sterkere piek dan bij de tussenfase.
- Langs de vaargeul treedt lokaal een zuidwaartse dwarsstroming van 0,1 à 0,2 m/s. Dit is meer dan bij eindfase, maar minder dan bij de 'eerste aanlegfase' (noord-zuid fasering).
- De maximale dwarsstroomgradiënt is groter dan bij de eindfase, maar minder groot dan bij de 'eerste aanlegfase' en bij de huidige situatie.

Contour 1

Bij Contour 1 ligt het contractiegebied van de vloedstroming dicht bij de vaargeul dan bij Contour 0. Hierdoor is tijdens vloed de dwarsstroming in de vaargeul groter dan bij Contour 0, maar nauwelijks groter dan in de huidige situatie. Dit gevoegd bij het feit dat de dwarsstroming bij Contour 1 op een relatief grote afstand zeewaarts van de echte havenmond (c.q. de punt van de Noorderdam) optreedt, kan worden geconcludeerd dat het dwarsstroombeeld bij Contour 1 niet slechter is dan in de huidige situatie.

Echter bij Contour 1 is wel een neerstroming aanwezig die sterker is dan bij de eindfase en de tussenfase van Contour 0. Deze neerstroming ligt bij Contour 1 bovendien volledig in de vaargeul en steekt gedurende de vloedperiode de vaargeul over. Hierbij treedt tijdens vloed lokaal langs de vaargeul een zuidwaartse dwarsstroming op van 0,2 à 0,25 m/s. Vanwege de aanwezigheid van de neerstroming kan het beeld van de vloedstroming voor de havenmond bij Contour 1 toch als ongunstiger worden gekenmerkt dan bij de huidige situatie.

De neervorming kan mogelijk worden gereduceerd door het bodemprofiel langs de Zuiderdam aan te passen, zodanig dat het bodemniveau hier niet meer afloopt in noordwaartse richting.

Contour 1, met onderwaterdam

Het aanbrengen van een aflopende onderwaterdam halverwege de westelijke zachte zeekering blijkt niet te leiden tot een significante reductie van de dwarsstroming langs de vaargeul. Wel leidt deze onderwaterdam tot een reductie en enige zuidwaartse verschuiving van de neerstroming, maar de neerstroming blijft aanwezig in de vaargeul. Als de ligging van de onderwaterdam meer noordelijk wordt gekozen, zal deze mogelijk een gunstigere invloed hebben op het stroombeeld langs de vaargeul.

**Vergelijking van buitencontouren t.a.v. vloedstroming voor de havenmond**

Ten aanzien van het beeld van de vloedstroming voor de havenmond kan de volgende ordening worden aangebracht van 'beste stroombeeld' (1) tot 'minst goede' stroombeeld (4):

1. Contour 0 Eindfase: geen neer in vaargeul; kleinste dwarsstroomgradiënt; kleinste dwarsstroming dicht voor havenmond
2. Contour 0 Tussenfase (oost-west fasering): wel neer in vaargeul; grotere dwarsstroomgradiënt en dwarsstroming dicht voor de havenmond; sterkere piek bij passage Haringvlietwater
3. Contour 0 'Eerste aanlegfase' (noord-zuid fasering): sterkere neer in vaargeul;
4. Contour 1: nog sterkere neer in de vaargeul; grotere dwarsstroomgradiënt en dwarsstroming dicht voor de havenmond

Het is moeilijk eenduidig vast te stellen hoe het stroombeeld van de huidige situatie (met Getemd Getij) past in deze ordening. Dit kan door nautische simulaties worden vastgesteld.

Het stroombeeld van de huidige situaties is in ieder geval minder gunstig dan dat van Contour 0 Eindfase en waarschijnlijk beter dan dat van Contour 1 (vanwege de sterke neer in de vaargeul bij Contour 1).

De huidige situatie is mogelijk het beste vergelijkbaar met Contour 0 Tussenfase: de huidige situatie heeft in vergelijking met Contour 0 Tussenfase een minder sterke neer in de vaargeul, maar een sterkere gradiënt en gepiektheid van de dwarsstroming.

## 5.2 Stroming in het binnengebied

Ten aanzien van het stroombeeld in het binnengebied kunnen voor alle contouren van de Doorsteekvariant de volgende conclusies worden getrokken.

Omdat het havenbekken van de landaanwinning wordt gevuld en geleidigd via het Beerkanaal en de Yangtzehaven, zijn de stroomsnelheden in de mond van het Calandkanaal, de mond van het Beerkanaal en in de Yangtzehaven groter dan in de huidige situatie zonder landaanwinning. De grootste 14,5m-dieptegemiddelde stroomsnelheden treden in het binnengebied op tijdens vloed, variërend van maximaal 0,25 m/s in de Yangtzehaven, 0,6 m/s in de ingang van het Beerkanaal en 1,0 m/s in de ingang van het Calandkanaal. Deze snelheden zijn 0,2 à 0,3 m/s hoger dan de maximale snelheden in de huidige situatie.

Tijdens eb zijn de maximale stroomsnelheden bij de Doorsteekvariant op de drie genoemde locaties resp. 0,1 m/s, 0,5 m/s en 0,7 m/s. Dit is 0,1 (à 0,2) m/s hoger dan in de huidige situatie.

## 5.3 Aanbeveling

Bij alle alternatieven van de Doorsteekvariant geldt dat het gebruikte rekenrooster mogelijk te grof is voor een goede weergave van het vloedstroombeeld rond de kop van de Zuiderdam. Het verdient daarom aanbeveling om dit stroombeeld nader te onderzoeken met fijnere rekenroosters en/of met schaalmodellen. Hierbij dient onderzocht te worden in welke mate de kop van de Zuiderdam optreedt als 'trigger' van stroomloslating en neervorming, en of het stroombeeld in de vaargeul hierdoor beïnvloed wordt. Het nadere onderzoek dient uit te wijzen of een betere stroomlijning van de kop van de Zuiderdam noodzakelijk is.

## Referentielijst

1. IGWR/Infram, T. Blokland en S. Boer, "Plan van aanpak stroming & morfologie 'Optimalisatie Buitencontour' Doorsteek Variant Maasvlakte 2, 28 mei 2003
2. EC-PMR, J. v.d. Hulst, Rapport 'Landaanwinning, Stromingsberekeningen Detailmodel', AAN-02-332, 3 februari 2003
3. WL|Delft Hydraulics, A.C. Bijlsma, Rapport 'Ontwikkeling Detailmodel voor de stroming rond de tweede Maasvlakte', H4044, oktober 2002
4. Svasek, Rapport 'Stromingsberekeningen buiten- en binnengebied Maasvlakte 2', 15 oktober 2001
5. INFRAM, "Landaanwinning t.b.v. aanleg Tweede Maasvlakte. Doorsteek Alternatief. Hydraulische en morfologische aspecten i.v.m. de nautische toegankelijkheid, het kustonderhoud en consequenties voor de compensatie- en/of mitigatieopgave", rapport i732, 22 oktober 2003.
6. INFRAM, "Landaanwinning t.b.v. aanleg Tweede Maasvlakte. Doorsteek Alternatief. Morfologische berekeningen t.b.v. kustonderhoud zachte zeewering, ontgroning vooroever en aanzanding Euro-Maasgeul", rapport i732, 12 oktober 2003.

0G

Tabel 5.1: Overzicht van de maximale 14,5m-gemiddelde stroomsnelheden en gradiënten

14,5m-gemiddelde stroomsnelheid in de as van de vaargeul [m/s]	Huidige Maasvl.	Set 1 Alt. Ila1	Doorsteekvariant				
			Contour 0	Contour 0 eerste aanlegfase	Contour 0 tussenfase	Contour 1	Contour 1 met dam
<b>Voor de havenmond</b>							
Max stroomsnelheid vloed	1,3 05:30	1,7 05:15	1,2 05:00	1,2 05:00	1,3 05:00	1,4 05:00	1,4 05:00
Max dwarsstroming vloed dichtbij <sup>1)</sup>	0,9 05:00	1,5 05:30	0,4 05:00	0,4 05:00	0,5 5:00	1,0 05:15	1,0 05:15
Max dwarsstroming door zoetwater	1,2 05:30	1,3 06:45	1,1 06:45 (kort)	1,1 07:00	1,15 6:45	1,2 06:45	1,0 06:30
Neg. dwarsstroming bij vloed	-0,15 5:30	-0,4 06:00	0,0	-0,25 8:00	-0,15 7:45	-0,2 07:00	-0,2 07:30
Max stroomsnelheid eb	0,9 23:00	1,3 00:00	0,8 00:00	0,8 00:00	0,8 00:00	1,0 00:00	1,0 00:00
Max dwarsstroming eb dichtbij <sup>1)</sup>	0,4 <sup>2</sup> 23:45	1,0 00:00	0,25 23:45	0,2 23:45	0,3 23:45	0,4 00:30	0,4 00:30
Max dwarsstroomgradiënt [m/s/km]	1,1 06:30	2,5 07:00	0,5 07:00	1,0 07:00	0,65 07:00	1,2 06:30	1,2 06:30
<b>Ingang Maasmond</b>							
Max stroomsnelheid vloed	1,1 04:45	1,0 04:30	1,1 04:45	zie cont.0	zie cont.0	zie cont.0	zie cont.0
Max stroomsnelheid eb	1,1 21-22	1,0 21-22	1,1 21-22	zie cont.0	zie cont.0	zie cont.0	zie cont.0
<b>Ingang Calandkanaal</b>							
Max stroomsnelheid vloed	0,8 04:15	0,8 04:15	0,9 04:30	zie cont.0	zie cont.0	zie cont.0	zie cont.0
Max stroomsnelheid eb	0,5 20-22	0,5 20-22	0,7 20-21	zie cont.0	zie cont.0	zie cont.0	zie cont.0
<b>Ingang Europahaven</b>							
Max stroomsnelheid vloed	0,2 04:15	0,2 04:15	0,4 04:30	zie cont.0	zie cont.0	zie cont.0	zie cont.0
Max stroomsnelheid eb	0,2 20-22	0,2 20-22	0,2 20-21	zie cont.0	zie cont.0	zie cont.0	zie cont.0
<b>In de Yangtzehaven</b>							
Max stroomsnelheid vloed	0,1 hele vl.	0,2 hele vl.	0,3 04:30	0,2 hele vl.	zie cont.0	zie cont.0	zie cont.0
Max stroomsnelheid eb	0,1 hele eb	0,2 hele eb	0,2 hele eb	0,1 hele eb	zie cont.0	zie cont.0	zie cont.0

1) Vermeld zijn de dwarsstroomsnelheden binnen 2 km vanaf de (fictieve) havenmond, zoals deze is aangegeven in de figuren in § 4.1 en 4.3. Op grotere afstand zeewaarts van de havenmond neemt de dwarsstroomsnelheid toe tot een waarde die bij de huidige situatie en alle landaanwinningsalternatieven ongeveer gelijk is, namelijk circa 1,2 m/s tijdens vloed en 0,7 à 0,8 m/s tijdens eb.

Tabel 5.2 Score van landaanwinningsalternatieven t.o.v. de huidige Maasvlakte ten aanzien van nautisch relevante aspecten.

Score contouren t.o.v. resultaten Huidige Maasvlakte	Set 1 Alt. Ila1	Doorsteekvariant				
		Contour 0	Contour 0 eerste aanlegfase	Contour 0 tussenfase	Contour 1	Contour 1 Met dam
<b>Stroming voor de havenmond tijdens vloed</b>						
Maximale dwarsstroming	--	0/+	0/+	0/+	0/-	0/-
Locatie maximale dwarsstroming	-	+++	+++	++	+	+
Gradiënt dwarsstroming	-	+++	+	++	0/+	0/+
Neervorming in de vaargeul	--	0	---	-	---	---
Gepiektheid van dwarsstroming	-	+	+	0/+	0/+	+
Variatie dwarsstroming in de tijd	0	-	-	-	-	-
<b>Stroming in het binnengebied</b>						
Maximale stroming Maasmond	0	0	0	zie cont.0	zie cont.0	zie cont.0
Maximale stroming Beer-/Calandkanaal	0	-	-	zie cont.0	zie cont.0	zie cont.0
Maximale stroming Yangtzehaven	0	0/-	0	zie cont.0	zie cont.0	zie cont.0

+ of - betekent resp. gunstiger of minder gunstig dan bij de Huidige Maasvlakte.

Er is meer dan één plus of minteken toegepast indien een contour significant beter resp. slechter scoort dan een andere contour.

De scoringsaspecten voor de havenmond zijn:

- Maximale dwarsstroming: Maximale dwarsstroomsnelheid in de as van de vaargeul;
- Locatie maximale dwarsstroming: Afstand van locatie maximale dwarsstroming tot de (fictieve) havenmond;
- Dwarsstroomgradiënt: Ruimtelijke gradiënt van de dwarsstroming langs de vaargeul;
- Neervorming: Neervorming voor de havenmond;
- Gepiektheid dwarsstroming: Toename van de dwarsstroming langs de vaargeul in de richting van de havenmond;
- Variatie dwarsstroming: Verandering van het dwarsstroomverloop langs de vaargeul in de tijd.