

1450-7g

**Doorsteekvariant Maasvlakte 2**  
**Stromingsberekeningen**  
**Doorgetrokken Hartelkanaal**



**Gemeentewerken**  
Gemeente Rotterdam



**Gemeentewerken**

**Gemeente Rotterdam**

Ingenieursbureau

## **Doorsteekvariant Maasvlakte 2**

### **Stromingsberekeningen**

### **Doorgetrokken Hartelkanaal**

**Projectcode**

HH664

**Datum**

17 december 2003

**Versie**

Definitief

**Opdrachtgever**

Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam

**Opstellers**

J. van der Hulst, T. Blokland

**Projectleider**

E.A. Vermeer

**Paraaf Opstellers:**

**Paraaf Projectleider:**





## Inhoudsopgave

<b>LIJST VAN FIGUREN</b>	<b>5</b>
<b>1. 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. MODELBESCHRIJVING</b>	<b>11</b>
2.1 Rekenmodel	11
2.2 Rekenrooster	11
2.3 Bodemschematisatie en dammen	12
2.4 Initiële condities	13
2.5 Randvoorwaarden	13
2.6 Uitvoerperiode en tijdstap	14
<b>3. BEREKENINGSRESULTATEN</b>	<b>15</b>
<b>3.1 Contour 0, met 'open' Harteldoorsteek</b>	<b>15</b>
3.1.1 Stroming in de Harteldoorsteek	15
3.1.2 Stroming rond Beerdam	16
3.1.3 Stroming in de Yangtzehaven en het havenbekken van de landaanwinning	18
3.1.4 Stroming in de ingang van het Calandkanaal en de Europahaven	18
<b>3.2 Contour 0, met 'gesloten' Harteldoorsteek</b>	<b>18</b>
3.2.1 Stroming in de Harteldoorsteek	18
3.2.2 Stroming rond Beerdam	18
3.2.3 Stroming in de Yangtzehaven en het havenbekken van de landaanwinning	19
<b>3.3 Vergelijking met 'Huidige situatie'</b>	<b>19</b>
3.3.1 De 'huidige situatie'	19
3.3.2 'Open' Harteldoorsteek vergeleken met 'huidige situatie'	20
3.3.3 'Gesloten' Harteldoorsteek vergeleken met 'huidige situatie'	20



<b>4.</b>	<b>SAMENVATTING EN NAUTISCHE AANDACHTPUNTEN</b>	<b>23</b>
4.1	Samenvatting	23
4.2	Nautische aandachtspunten	24
	<b>REFERENTIELIJST</b>	<b>26</b>



## Lijst van Figuren

### 'Open' Harteldoorsteek

- 1-1a t/m 1b Rooster, details rond Harteldoorsteek en bij Oude Maas
- 1-1c t/m 1d Bodemdiepte, details rond Harteldoorsteek en bij Oude Maas
- 1-2a t/m 2e 5m-dieptegemiddeld snelheidsveld op enkele karakteristieke tijdstippen:
- a) 20:00: maximum ebstroming
  - b) 22:00: rondstroming langs westelijke kop van Beerdam
  - c) 22:45: maximum stroming door LW-agger
  - d) 03:45: maximum vloedstroming langs oostelijk kop van Beerdam
  - e) 04:30: maximum vloedstroming
- 1-3a t/m 3i Tijdsreeksen van waterstand, snelheidsgrootte en -richting in laag 1, laag 4 en laag 7 (zie § 2.2) in de volgende uitvoerpunten (zie fig.2-1a):
- a) Ingang Calandkanaal
  - b) Ingang Beerkanaal
  - c) Ingang Europahaven
  - d) Yangtzehaven midden
  - e) Yangtzehaven noordoever
  - f) Voor Beergat
  - g) Hartelkanaal, ten zuiden van Beerdam
  - h) Voor westpunt Beerdam
  - i) Verlengd Hartelkanaal

### 'Gesloten' Harteldoorsteek (met gesloten opening ten westen van Beerdam)

- 2-1a Rooster en uitvoerpunten (Meetpunten), detail rond Harteldoorsteek
- 2-1b Bodemdiepte, detail rond Harteldoorsteek
- 2-2a t/m 2e 5m-dieptegemiddeld snelheidsveld op enkele karakteristieke tijdstippen:
- a) 20:00: maximum ebstroming
  - b) 22:00
  - c) 22:45: maximum stroming door LW-agger
  - d) 03:45: maximum vloedstroming langs oostelijk kop van Beerdam
  - e) 04:30: maximum vloedstroming
- 2-3a t/m 3f Tijdsreeksen van waterstand, snelheidsgrootte en -richting in laag 1, laag 4 en laag 7 (zie § 2.2) in de volgende uitvoerpunten (locaties zie fig.2-1a):
- a) Ingang Europahaven
  - b) Yangtzehaven midden
  - c) Yangtzehaven noordoever
  - d) Voor Beergat
  - e) Hartelkanaal, ten zuiden van Beerdam
  - f) Verlengd Hartelkanaal



**'Huidige situatie' (geen Harteldoorsteek en geen MV2-havenbekkens)**

- 3-1a t/m 1b Rooster en bodemdiepte, detail rond Harteldoorsteek
- 3-2a t/m 2e 5m-dieptegemiddeld snelheidsveld op enkele karakteristieke tijdstippen:
- a) 20:00: maximum ebstroming
  - b) 22:00: rondstroming langs westelijke kop van Beerdam
  - c) 22:45: maximum stroming door LW-agger
  - d) 03:45: maximum vloedstroming langs oostelijk kop van Beerdam
  - e) 04:30: maximum vloedstroming
- 3-3a t/m 3f Tijdsreeksen van waterstand, snelheids grootte en -richting in laag 1, laag 4 en laag 7 (zie § 2.2) in de volgende uitvoerpunten (locaties zie fig.2-1a):
- a) Ingang Calandkanaal
  - b) Ingang Beerkanaal
  - c) Ingang Europahaven
  - d) Voor Beergat
  - e) Hartelkanaal, ten zuiden van Beerdam
  - f) Voor westpunt Beerdam

**Dwarsstroming bij Beergat**

- 3-4a Raai in Hartelkanaal voor berekening dwarsstroming
- 3-4b Dwarsstroming bij Beergat bij 'open' Harteldoorsteek
- 3-4c Dwarsstroming bij Beergat bij 'gesloten' Harteldoorsteek
- 3-4d Dwarsstroming bij Beergat bij 'huidige situatie'





# 1. Inleiding

## 1.1 Achtergrond en kader

In het voorjaar van 2003 is door het Voorbereidingsteam Maasvlakte 2 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. Voor deze Doorsteekvariant (Contour 0), voor een alternatieve contour (Contour 1) en voor twee tussenfasen van Contour 0 zijn stromingsberekeningen uitgevoerd met een driedimensionaal stromingsmodel, het zogenaamde Detailmodel. Deze berekeningen zijn gerapporteerd in [Ref. 4].

Eén van de uitgangspunten van de Doorsteekvariant is geweest dat de binnenvaart van en naar de landaanwinning gebruik maakt van de zeevaarttoegang via de verlengde en verbrede Yangtzehaven. Een optie voor de toekomst is een binnenvaartontsluiting via een doorgetrokken Hartelkanaal. In 2002/2003 is door het Expertisecentrum PMR stromingsonderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden en gevolgen van een doorgetrokken Hartelkanaal bij de Set 1 alternatief Ia1 en IIa1 [Ref. 3]. Er zijn hierbij 3D-stromingsberekeningen uitgevoerd voor Alternatief IIa1 met een eigen haveningang voor de zeevaart en een doorgetrokken Hartelkanaal. Voor alternatief Ia1 zonder eigen ingang voor de zeevaart zijn echter geen 3D-stromingsberekeningen uitgevoerd met een doorgetrokken Hartelkanaal. Voor het laatstgenoemde alternatief is in [Ref. 3] alleen een schatting gemaakt van de te verwachten snelheden in een doorgetrokken Hartelkanaal.

## 1.2 Onderhavig onderzoek

Bij brief van 27 augustus 2003 (kenmerk 152137, opdrachtnummer 70495) heeft het Gemeentelijke Havenbedrijf Rotterdam aan het Ingenieursbureau Gemeentewerken opdracht gegeven tot uitvoering van berekeningen van het stroombeeld bij Contour 0 van de Doorsteekvariant met een doorgetrokken Hartelkanaal.

Er zijn berekeningen uitgevoerd voor twee alternatieven van het doorgetrokken Hartelkanaal:

- Met de bestaande open verbinding tussen Mississippihaven en Hartelkanaal ten westen van de Beerdam.
- Met afsluiting van de bovengenoemde opening ten westen van de Beerdam.

Tevens is een berekening gemaakt voor de huidige situatie zonder doorgetrokken Hartelkanaal en zonder havenbekkens van de landaanwinning. Deze berekening dient als referentie voor de berekeningen met Harteldoorsteek (met name voor het stroombeeld rond het Beergat).

De berekeningen zijn uitgevoerd met hetzelfde driedimensionale stromingsmodel (het zgn. Detailmodel) en met dezelfde hydraulische randvoorwaarden die ook zijn toegepast bij berekeningen





voor de Set 1 alternatieven met doorgetrokken Hartelkanaal [Ref. 3].

Het toegepaste rooster heeft in het Beerkanaal en het Hartelkanaal een kleinere maaswijdte dan het rooster dat is gebruikt bij de berekeningen voor de Doorsteekvariant zonder doorgetrokken Hartelkanaal [Ref.4]. Door dit fijnere rooster geeft de berekening in Beerkanaal en Hartelkanaal een gedetailleerder stroombeeld. De maaswijdte van het toegepaste rooster komt overeen met die van het rooster voor de Set 1 alternatieven met doorgetrokken Hartelkanaal [Ref.3].

### 1.3 Doel

Het doel van de berekeningen is een beeld te krijgen van de stroming in het doorgetrokken Hartelkanaal, in het westelijk deel van het huidige Hartelkanaal en in de Mississippihaven, met speciale aandacht voor het stroombeeld bij het Beergat en bij de opening ten westen van de Beerdam.

Op grond van de berekeningen moet duidelijk worden hoe het stroombeeld in de genoemde gebieden verandert ten opzichte van de huidige situatie en of een eventuele afsluiting van de opening ten westen van de Beerdam een gunstige invloed heeft op het stroombeeld.

Het inzicht in de stroombeelden is nodig om een beoordeling te kunnen geven de nautische consequenties van een doorgetrokken Hartelkanaal. Deze nautische beoordeling wordt niet gegeven in het onderhavige rapport.

### 1.4 Leeswijzer

Het doorgetrokken Hartelkanaal wordt in het vervolg kortweg Harteldoorsteek genoemd. Hiermee wordt bedoeld het nieuwe kanaalvak tussen het huidige eind van het Hartelkanaal en het eind van het zeehavenbekken van de landaanwinning. In de figuurtitels wordt de Harteldoorsteek aangeduid met 'verlengd Hartelkanaal'.

In de hierna volgende hoofdstukken wordt een beschrijving gegeven van de uitgevoerde berekeningen van de Doorsteekvariant (contour 0) met doorgetrokken Hartelkanaal en de resultaten daarvan.

In Hoofdstuk 2 wordt een korte omschrijving gegeven van het gebruikte model. Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar [Ref. 1 en 2].

In Hoofdstuk 3 worden de resultaten van de berekeningen besproken. In §3.1 en §3.2 worden de resultaten besproken voor de twee berekeningen met een doorgetrokken Hartelkanaal, waarna in §3.3 een vergelijking wordt gemaakt met de 'huidige situatie' zonder doorgetrokken Hartelkanaal. De rapportage wordt afgesloten in Hoofdstuk 4 met een aantal conclusies omtrent verlenging van het Hartelkanaal.

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 opgenomen in dit rapport.



Er zijn animaties voor snelheden gemiddeld over de bovenste 5m en de bovenste 14,5m. Snelheidswaarden welke in dit rapport worden genoemd zijn altijd gemiddelden over de bovenste 5m, tenzij anders wordt vermeld. De 5m-dieptegemiddelde snelheid is vooral bepalend voor de binnenscheepvaart. In de diepere havenbekkens (Yangtzehaven en Mississippihaven) zijn ook de 14,5m-dieptegemiddelden relevant.

In het vervolg van dit rapport zijn de volgende afkortingen gehanteerd:

- *Doorsteekvariant, contour 0 met doorgetrokken Hartelkanaal, waarbij er, net als in de huidige situatie, een opening is tussen de Beerdam en het Distripark, is afgekort tot: Contour 0, met 'open' Harteldoorsteek.*
- *Doorsteekvariant, contour 0 met doorgetrokken Hartelkanaal, waarbij de opening tussen de Beerdam en het Distripark afgesloten is, is afgekort tot: Contour 0, met 'gesloten' Harteldoorsteek.*





## 2. Modelbeschrijving

### 2.1 Rekenmodel

De stroombeelden zijn bepaald met een driedimensionaal Delft3D stromingsmodel, het zogenaamde Detailmodel, dat ontwikkeld is door WL|Delft Hydraulics [Ref. 1]. Met dit model zijn in 2002 en 2003 verschillende berekeningen uitgevoerd: voor de huidige Maasvlakte, de Set 1 alternatieven met een eigen haveningang [Ref. 2] en voor de later ontwikkelde Doorsteekvariant [Ref. 4].

In de volgende paragrafen wordt een korte beschrijving gegeven van het rekenrooster en de modelinvoer voor de Doorsteekvariant, contour 0 met een doorgetrokken Hartelkanaal. Voor een gedetailleerde beschrijving en motivatie van de modelinvoer wordt verwezen naar [Ref. 1 en 2].

### 2.2 Rekenrooster

Het bestaande rooster van Contour 0 zonder doorgetrokken Hartelkanaal [Ref.4] is zodanig aangepast dat deze in het Hartelkanaal dezelfde fijnheid heeft als het Zeedelta-rooster. Daarvoor is het rooster van het Detailmodel in het gehele huidige havengebied, met uitzondering van de Nieuwe Maas met aangrenzende havens, vervangen door het Zeedelta-rooster (figuur 1-1b). Door deze vervanging is het rooster fijner gemaakt dan het bestaande rooster voor Contour 0 zonder Harteldoorsteek. De maaswijdte van het verfijnde rooster komt overeen met die van het rooster voor de Set 1 alternatief IIa1 met doorgetrokken Hartelkanaal [Ref.3].

Het rooster binnen de landaanwinning en de Maasmond is zodanig aangepast dat roostertechnisch gezien een verbinding mogelijk is tussen het havenbekken van de landaanwinning en het bestaande Hartelkanaal (figuur 1-1a).

Er is ook een fijn rooster gemaakt voor de 'huidige situatie' zonder Harteldoorsteek en zonder havenbekken op de landaanwinning. Doelstelling van de berekening met het 'huidige situatie' rooster is vergelijking van de stroombeelden rond de Beerdam voor de situaties met en zonder Harteldoorsteek. Met name vergelijking van de stroombeelden bij het Beergat is hierbij van belang. Om een goede vergelijking mogelijk te maken is het rooster van de 'huidige situatie' gelijk aan het fijne rooster voor Contour 0 met Harteldoorsteek, met als enige verschillen dat het rooster voor de 'huidige situatie' is 'afgekapt' aan het eind van het huidige Hartelkanaal en aan het eind van de Yangtzehaven. De geometrie van de Yangtzehaven is niet aangepast aan de huidige situatie, omdat deze geometrie geen significante invloed zal hebben op de stroming rond de Beerdam. Door het niet aanpassen van de geometrie van de Yangtzehaven is de 'huidige situatie' berekening tevens bruikbaar voor nautische studies van de Euromax Terminal.

In het rooster voor de 'huidige situatie' is nog wel de buitencontour van de landaanwinning aanwezig. De aanwezigheid van deze buitencontour heeft geen significantie invloed op de stroming in



Beerkanaal en Hartelkanaal en daarom is geen inspanning geleverd om de buitencontour van de Maasvlakte aan te passen aan de werkelijke huidige situatie.

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 gepresenteerd voor de lagen 1, 4 en 7.

Nr.	dikte (%)	onderkant (%)	midden (%)	20 m waterdiepte		
				dikte (m)	onderkant (m)	midden (m)
1	9.0%	9.0%	4.50%	1.8	1.8	0.9
2	13.5%	22.5%	15.75%	2.7	4.5	3.15
3	15.0%	37.5%	30.00%	3	7.5	6
4	15.0%	52.5%	45.00%	3	10.5	9
5	15.0%	67.5%	60.00%	3	13.5	12
6	13.5%	81.0%	74.25%	2.7	16.2	14.85
7	9.0%	90.0%	85.50%	1.8	18	17.1
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 en dammen

Het bodembestand is als volgt samengesteld:

- In het zeegebied en de Nieuwe Maas, waar het rooster onveranderd is gebleven, is gebruik gemaakt van de standaard bodemgegevens, welke voor alle varianten zijn gebruikt. Deze gegevens zijn samengesteld uit gegevens uit het Zeedelta-model aangevuld met recente metingen in de Maasmond en Maasgeul;
- Ter plaatse van de Oude Maas (figuur 1-1d), de Nieuwe Waterweg en het oostelijk deel van het Hartelkanaal zijn de directe bodemgegevens uit het Zeedelta-model gebruikt, omdat hier de resolutie van de standaard bodemgegevens te grof is;
- In het westelijk deel van het Hartelkanaal is gebruik gemaakt van recente lodingen, omdat daar door erosie er in de afgelopen jaren een sterke bodemdaling is opgetreden.
- Ter plaatse van de landaanwinning is de diepte aangepast aan de te berekenen contour en de diepte van het nieuwe havenbekken (20 m).
- Voor de Harteldoorsteek is een bodemdikte aangenomen van NAP -7,0 m en een breedte van ongeveer 200 m op NAP-niveau (figuur 1-1c).

Bij de 'gesloten' Harteldoorsteek is de opening tussen de Beerdam en het Distripark gesloten door daar een verticale dunne wand te plaatsen, zodat daar geen uitwisseling meer mogelijk is tussen de Mississippihaven en het Hartelkanaal. De dunne dam is in figuur 2-1b te zien als een zwarte streep. (Echter de zwarte streep dwars over de Harteldoorsteek heeft in figuur 2-1b geen betekenis).





## 2.4 Initiële condities

Bij de berekening van Contour 0 met 'open' Harteldoorsteek 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 berekening van Contour 0 met 'gesloten' Harteldoorsteek is gestart met een restartfile van Contour 0 met 'open' Harteldoorsteek van 20/08/01 10:10, zodat het model 2,5 dagen in kan spelen. De berekening van de 'huidige situatie' is gestart met een restartfile van Contour 0 met 'open' Harteldoorsteek van 19/08/01 10:10, zodat het model 3,5 dagen in kan spelen.

## 2.5 Randvoorwaarden

De berekeningen zijn uitgevoerd met een constante, gemiddelde rivierafvoer bij Lobith ( $2200 \text{ m}^3/\text{s}$ ) in combinatie met een hoog springtij en het Getemd Getij spuiregime van de Haringvlietssluisen. Tijdens de inspeelperiode is gerekend met de actuele wind. Tijdens de uitvoerperiode is de wind op nul gezet om windinvloeden te voorkomen.

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

Tijdstippen in MET			Berekend		Gemeten		Astronomisch voorspeld	
Waterstanden [m tov NAP]								
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.	17:55	+1,40	geen 2 <sup>e</sup> top		geen 2 <sup>e</sup> top	
LW1	1 <sup>e</sup> dal	22 aug.	22:25	-0,81	22:20	-0,83	22:00	-0,84
	2 <sup>e</sup> dal	23 aug.	1:00	-0,67	1:45	-0,64	1:30	-0,73
HW2	1 <sup>e</sup> top	23 aug.	5:20	+1,45	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			-2,21		-2,20		-2,02	
Opgaand van LW1 naar HW2			+2,12		+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 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).

Op grond van de verhouding tussen de getijslagen (en de dalingssnelheid van de waterstand) wordt verwacht dat de stroomsnelheden bij de tweede eb (rond 23 aug. 9:00) circa 15% kleiner zijn dan bij de eerste eb (rond 22 aug. 20:30).

## **2.6 Uitvoerperiode en tijdstap**

De uitvoerperiode is van 22/08/01 20:00 (3:00 uur na HW) t/m 23/08/01 8:30 (3:10 uur na HW).

(Deze uitvoerperiode is een uur korter dan de tot nu toe gebruikte uitvoerperiode, omdat anders de maximale grootte van het uitvoerbestand van 2 Gb overschreden zou worden. Dit als gevolg van het verfijnde en daarmee vergrootte rooster.)

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.

(Om rekentijd te besparen is geprobeerd de inspeelperiode bij Contour 0 met 'open' Harteldoorsteek uit te rekenen met een dubbele tijdstap van 0,5 minuten. Deze dubbele tijdstap is bij de in [Ref.3] gerapporteerde berekeningen mogelijk gebleken, maar bij de berekening voor Contour 0 met 'open' Harteldoorsteek bleek een dubbele tijdstap tot instabiliteit van de berekening te leiden.)



## 3. Berekeningsresultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de berekeningen beschreven. Omdat het wel of niet verlengen van het Hartelkanaal geen invloed heeft op de stroming in de Maasmond of in het zeegebied wordt hieraan geen aandacht besteed.

Bij de beschrijving van de stroombeelden is vooral gebruik gemaakt van animaties welke te vinden zijn op de bijbehorende CD-ROM. Op de CD staan voor alle berekeningen animaties voor snelheden gemiddeld over de bovenste 5m en de bovenste 14,5m. Op de CD staan ook enkele animaties voor de saliniteit in de toplaag en in een onderlaag.

Snelheidswaarden welke in dit rapport worden genoemd zijn altijd gemiddelden over de bovenste 5m, tenzij anders wordt vermeld. Het 5m-dieptegemiddelde is vooral bepalend voor de binnenscheepvaart. In de diepere havenbekkens (Yangtzehaven en Mississippihaven) zijn ook de 14,5m-dieptegemiddelden relevant.

### 3.1 Contour 0, met 'open' Harteldoorsteek

De stroming rond de Beerdam en in de Harteldoorsteek is complex. De stroming rond de Beerdam wordt beïnvloed door met name waterstandsverschillen, veroorzaakt door het getij, maar ook door de stroming vanuit en naar het Hartelkanaal en dichtheidsverschillen. Door de vele invloeden variëren de stroomsnelheid en -richting hierdoor sterk in de tijd en over de verticaal.

#### 3.1.1 Stroming in de Harteldoorsteek

##### Richting van de stroming

Tijdens opgaand getij (dus tijdens vloed) is de stroming in de Harteldoorsteek naar het westen gericht en tijdens afgaand getij (dus tijdens eb) is de stroming naar het oosten gericht (figuur 1-2). Deze stroomrichtingen worden veroorzaakt door het feit dat de afstand die door de getijgolf afgelegd moet worden vanaf het begin van het Beerkanaal naar het begin van de Harteldoorsteek via het Beerkanaal korter is dan via Yangtzehaven en de landaanwinning.

De stroomrichting in de Harteldoorsteek is dus tegengesteld aan de stroomrichting in het Hartelkanaal ten oosten van het Beergat.

##### Intensiteit van de stroming

De stroming in de Harteldoorsteek kent drie maxima. De eerste treedt op rond 23:00 als gevolg van de agger in het getij, met snelheden van 0,2 à 0,3 m/s gericht naar het westen (figuur 1-2c). Het tweede maximum is tijdens de periode van opgaand getij (= vloed), tussen 1:00 en 4:30, met snelheden tussen 0,3 en 0,4 m/s, eveneens gericht naar het westen (figuur 1-2d,e). Het derde 'maximum' is tijdens de periode van neergaand getij (=eb). De snelheden zijn dan maximaal 0,1 m/s, gericht naar het oosten (figuur 1-2a).



De stroomsnelheden in de Harteldoorsteek zijn veel kleiner (c.q. minimaal een factor 3 kleiner) dan de stroomsnelheden die optreden in het Hartelkanaal in het kanaalvak bij de Suurhoffbrug. In dit kanaalvak treden zowel tijdens eb als tijdens vloed snelheden op boven 1,0 m/s.

### 3.1.2 **Stroming rond Beerdam**

#### Algemeen stroombeeld tijdens vloed

Tijdens de vloedperiode splitst de stroming vanuit het Beerkanaal zich in een relatief zwakke westwaartse stroom naar de Harteldoorsteek en een sterkere oostwaartse stroom het Hartelkanaal in en zorgt hier voor een ruimtelijk variërend stroombeeld bij het Beergat. De stroming om de Beerdam richting de Harteldoorsteek veroorzaakt rond 3:30 een dwarsstroming in het Hartelkanaal. Na 4:15 gaat bijna al het debiet naar de Harteldoorsteek via de Mississippihaven. De 5m-gemiddelde snelheid daar is maximaal om 4:30, met snelheden van 0,3 m/s.

#### Algemeen stroombeeld tijdens eb

De oostwaarts gerichte ebstroming in de Harteldoorsteek splitst zich bij de westpunt van de Beerdam: het grootste deel van het debiet stroomt door de Mississippihaven naar het Beerkanaal. In de Mississippihaven blijven de 14,5m-gemiddelde snelheden kleiner dan 0,1 m/s, terwijl de 5m-gemiddelden 0,1 à 0,2 m/s bedragen. Een kleiner deel van het debiet stroomt ten zuiden van de Beerdam langs en stroomt via het Beergat richting het Beerkanaal. Het samenkomen van deze oostwaartse stroming en de westwaartse ebstroming vanuit het Hartelkanaal geeft bij het Beergat een ruimtelijke gradiënt in het stroombeeld.

#### Hartelkanaal ten zuiden van Beerdam

De stroomrichting in het Hartelkanaal ten zuiden van de Beerdam is altijd gelijk aan de stroomrichting in de Harteldoorsteek (m.u.v. van het HW-tijdstip 5:00). Echter de intensiteit van de stroming kan in deze twee kanaalvakken vrij sterk verschillen:

- van 21:30 tot 23:30 (LW-agger) is de westwaartse stroming ten zuiden van de Beerdam maximaal 0,5 m/s hoger dan in de Harteldoorsteek;
- van 0:30 tot 5:00 (vloed) is de westwaartse stroming in de Harteldoorsteek maximaal 0,5 m/s hoger.

In het Hartelkanaal ten zuiden van de Beerdam zijn drie maxima waar te nemen. De eerste is rond 23:00 (= agger), met snelheden van 0,5 m/s, gericht naar het westen. Het tweede maximum is tussen 2:30 en 3:30 (= vloed), met snelheden van 0,3 m/s, eveneens gericht naar het westen. De derde is tussen 7:00 en 8:00 (=eb), met snelheden van 0,2 m/s, gericht naar het oosten.

De hoogste stroomsnelheid van 0,5 m/s aan het begin van de agger is overigens geen gevolg van het doorgetrokken Hartelkanaal, want deze stroomsnelheid treedt ook op in de berekening voor de huidige situatie.

De stroming ten zuiden van de Beerdam is vrij sterk gelaagd. Tijdens de agger varieert de maximale stroomsnelheid van 0,75 m/s bij het wateroppervlak tot 0,4 m/s halverwege de waterdiepte en ca. 0,1 m/s bij de bodem. Tijdens een deel van de agger en de vloed is de stroomrichting nabij de bodem tegengesteld aan de stroomrichting hoger in de waterkolom.

Ook ten zuiden van de Beerdam zijn de snelheden aanzienlijk lager dan de snelheden in het Hartelkanaal nabij de Suurhoffbrug.





### Mississippihaven

De stroomrichting in de Mississippihaven is soms tegengesteld aan de stroomrichting in het Hartelkanaal ten zuiden van de Beerdam. Dit is het geval tijdens de perioden 5:15 tot 5:45 en 1:00 tot 1:15. Er is dan sprake van een (zwakke) rondstroming rondom de Beerdam met 5m-gemiddelde snelheden van circa 0,15 m/s.

Tussen 21:30 en 22:30 (aan eind van afgaand getij) is er sprake van een vrij sterke westwaartse stroming ten zuiden van de Beerdam (tot 0,5 m/s), terwijl het in de Mississippihaven niet stroomt. De westwaarts gerichte stroming ten zuiden van de beerdam stroomt niet door naar de Harteldoorsteek, maar stroomt rond de westpunt van de Beerdam naar de Mississippihaven. Dit geeft veroorzaakt een dwarsstroming in de Mississippihaven.

### Stromingscomplicaties bij het gat ten westen van Beerdam

Bij het gat ten westen van de Beerdam treden de volgende complicaties op in het stroombeeld:

- Tijdens sommige perioden treedt er in het Hartelkanaal langs het gat in de Beerdam een verandering op in de intensiteit van de stroming, omdat de stroomsnelheden in de Harteldoorsteek en in het kanaalvak ten zuiden van de Beerdam niet gelijk zijn. (De stroomrichtingen zijn wel gelijk). De verandering van de stroomsnelheid is maximaal 0,5 m/s (22:00, figuur 1-2b).
- Vlak voor HW (4:30 en 4:45) treedt een dwarsstroming op in het Hartelkanaal, omdat er dan een stroming vanuit de Mississippihaven de Harteldoorsteek in gaat. De hierbij optredende stroomsnelheid is echter vrij gering (0,2 à 0,3 m/s) (figuur 1-2e).
- Rond 21:45 treedt een (zwakke) dwarsstroming op in de Mississippihaven (0,1 à 0,2 m/s voor het 5m-gemiddelde), omdat er dan een rondstroming rond de kop van de Beerdam plaats vindt (figuur 1-2b).

### Stromingscomplicaties bij het Beergat (ten oosten van de Beerdam)

Er treden bij het Beergat hoge stroomsnelheden op (welke echter ook optreden in de huidige situatie). In het Beergat zijn de 5m-gemiddelde vloedsnelheden maximaal rond 4:45, variërend van meer dan 1,0 m/s in het Hartelkanaal (diepte circa 7 m) tot 0,3 m/s ten noorden van het Beergat (diepte meer dan 20 m). De 5m-gemiddelde ebsnelheden zijn maximaal rond 21:00 en variëren van meer dan 1,0 m/s in het Hartelkanaal tot 0,8 m/s ten noorden van het Beergat.

Van 3:30 tot 4:15: treedt een stroming op rond de kop van de Beerdam vanuit het Beerkanaal naar het Hartelkanaal ten zuiden van de Beerdam, waardoor een dwarsstroming ontstaat in het Hartelkanaal en tevens een westwaartse stroming langs de zuidelijke oever van het kanaal. In de loop van de tijd draait de stroomvector van een zuidwestelijke naar een zuidoostelijke richting (4:30). De grootste dieptegemiddelde dwarsstroomsnelheid treedt op om 4:15 en 4:30 en bedraagt 0,33 m/s. (figuur 1-2d en 3-4b). Uit de animatie van de stroming in de oppervlaktelaag blijkt dat nabij het wateroppervlak geen dwarsstroming optreedt. De dwarsstroming treedt dus met name onderin de waterkolom op. Dus vooral diep beladen schepen (met name duwbakken) kunnen door de dwarsstroming worden beïnvloed. (Geladen duweenheden afkomstig van de Hartelhaven zullen echter door de Mississippihaven varen en niet ten zuiden van de Beerdam langs).





Ook bij de huidige situatie treedt een dwarsstroming op bij de oostelijke kop van de Beerdam, welke maximaal 0,27 m/s bedraagt en dus bijna even sterk is als die in de situatie met 'open' Harteldoorsteek (figuur 3-4b en 3-4d).

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

De stroming in de Yangtzehaven is gelaagd. Er treden zowel verschillen op in snelheids grootte als in -richting tussen de onder- en bovenlagen.

De inbreng van een Harteldoorsteek heeft nauwelijks invloed op de stroming in de Yangtzehaven.

Tijdens eb blijft de 14,5m-gemiddelde stroomsnelheid in de Yangtzehaven klein, maximaal 0,2 m/s (Animatie sn14,5.gif). De 14,5m-gemiddelde vloedstroming is maximaal om 4:30 met snelheden van circa 0,3 m/s.

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

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

Doortrekken van het Hartelkanaal bij Contour 0 heeft geen invloed op het stroombeeld in de ingang van de Europahaven of het Calandkanaal. Voor een beschrijving van de stroming in dit gebied zie daarom [Ref. 4].

## 3.2 **Contour 0, met 'gesloten' Harteldoorsteek**

### 3.2.1 **Stroming in de Harteldoorsteek**

Er zijn drie maxima waar te nemen. De eerste is rond 23:00, met snelheden van 0,3 m/s, gericht naar het westen. Het tweede maximum is tijdens de periode van opgaand getij, tussen 1:00 en 3:30, met snelheden tussen 0,2 en 0,3 m/s, eveneens gericht naar het westen. Het derde 'maximum' is tijdens de periode van neergaand getij. De snelheden zijn dan maximaal 0,1 m/s, gericht naar het oosten.

### 3.2.2 **Stroming rond Beerdam**

#### Vloedstroming

De vanuit het Beerkanaal komende vloedstroming splitst de stroming in het Beergat zich tussen 3:30 tot 4:45 in een kleine stroom de Harteldoorsteek in en een grote stroom het Hartelkanaal in en zorgt hier voor een ruimtelijk variërend stroombeeld bij het Beergat. Door het afsluiten van de opening tussen Beerdam en Distripark duurt deze periode iets langer en zijn de snelheden en gradiënten groter. De stroming om de Beerdam richting de Harteldoorsteek veroorzaakt een dwarsstroomsnelheid in het Hartelkanaal met een diepte-gemiddeld maximum van 0,5 m/s om 4:30 (zie figuur 3-4c). Deze dwarsstroomsnelheid is aanzienlijk sterker dan de dwarsstroomsnelheid van 0,27 à 0,33 m/s die optreedt bij de 'huidige situatie' en bij de 'open' Harteldoorsteek. Ook houdt de dwarsstroming circa 45 minuten langer aan.

De stroming in het Beergat verandert niet: de 5m-gemiddelde vloedsnelheden in het Beergat zijn maximaal rond 4:45 en variëren van meer dan 1,0 m/s in het Hartelkanaal (diepte circa 7m) tot 0,3 m/s ten noorden van het Beergat (diepte meer dan 20m).



### Ebstroming

Als de stroming in de Harteldoorsteek naar het oosten gericht is, komt deze bij het Beergat samen met de westwaartse ebstroming vanuit het Hartelkanaal en geeft hier een ruimtelijke gradiënt in het stroombeeld.

De 5m-gemiddelde ebsnelheden in het Beergat zijn maximaal rond 21:00 en variëren van meer dan 1,0 m/s in het Hartelkanaal (diepte circa 7m) tot 0,9 m/s ten noorden van het Beergat (diepte meer dan 20m).

### Hartelkanaal ten zuiden van Beerdam en in Mississippihaven

In het Hartelkanaal ten zuiden van de Beerdam zijn drie maxima waar te nemen. De eerste is rond 23:00, met snelheden van 0,5 (à 0,6) m/s, gericht naar het westen. Het tweede maximum is tussen 3:30 en 4:30, met snelheden van 0,4 m/s, eveneens gericht naar het westen. De derde is tussen 7:30 en 8:30, met snelheden van 0,3 m/s, gericht naar het oosten. De twee laatstgenoemde maxima zijn ca. 0,1 m/s hoger dan bij een 'open' Harteldoorsteek.

Het sluiten van het gat ten westen van de Beerdam heeft bijna geen invloed op de maximale 5m-gemiddelde stroomsnelheden die optreden in de Mississippihaven (zie tabel 4.1).

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

Afsluiting van de opening tussen de Beerdam en het Distripark heeft nauwelijks invloed op de stroomsnelheden in de Yangtzehaven of het havenbekken van de landaanwinning. Voor een beschrijving van de resultaten wordt daarom verwezen naar § 3.1.3.

## **3.3 Vergelijking met 'Huidige situatie'**

### **3.3.1 De 'huidige situatie'**

In de onderhavige rapportage wordt de uitgevoerde berekening aangeduid met 'huidige situatie' tussen acculades, omdat de doorgerekende situatie op enkele punten afwijkt van de werkelijke huidige situatie. Deze punten zijn:

1. de buitencontour van de landaanwinning is aanwezig in het model,
2. de Yangtzehaven is breder en langer dan in de huidige situatie,
3. het lozingsprogramma van de Haringvlietsluizen is Getemd Getij.

De afwijkingen 1 en 2 hebben naar verwachting geen invloed op het stroombeeld bij het Hartelkanaal. Punt 3 heeft wel enige invloed: er stroomt bij Getemd Getij meer zoet water door de Haringvlietsluizen en daardoor minder zoet water door het Hartelkanaal. Dit komt bij het huidige lozingsprogramma overeen met een rivierafvoer die lager is dan gemiddeld. Als het gaat om relatieve vergelijking van Harteldoorsteek met 'huidige situatie', dan is afwijking 3 niet bezwaarlijk, omdat de Harteldoorsteek ook is doorgerekend met Getemd Getij.

De resultaten van de berekening voor de 'huidige situatie' zonder Harteldoorsteek zijn gepresenteerd in figuur 3.1 t/m 3.3.



Een belangrijk aspect bij de vergelijking met de 'huidige situatie' is de dwarsstroming in het Hartelkanaal bij het Beergat. Deze dwarsstroming wordt voor alle drie de berekeningen getoond in Figuur 3.4b-d. De dwarsstroming is berekend langs een raai die is weergegeven in figuur 3.4a. De weergegeven dwarsstroom is (om software-technische redenen) berekend als gemiddelde over de gehele waterdiepte, welke langs de raai 7 à 8 m bedraagt.

### 3.3.2 'Open' Harteldoorsteek vergeleken met 'huidige situatie'

Bij de situatie met een 'open' Harteldoorsteek komt het stroombeeld en de stroomsnelheden rond de Beerdam sterk overeen met de 'huidige situatie'. In beide situaties treden de volgende verschijnselen op:

- Om 22:00 uur rondstroming om de westelijke kop van de Beerdam met dwarsstroming in de Mississippihaven.
- Om 22:45 uur tijdelijk een relatief sterke westwaartse stroming (0,5m/s) ten zuiden van de Beerdam als gevolg van de laagwater agger.
- Rond 4:15 uur dwarsstroming in het Hartelkanaal bij de oostelijke kop van de Beerdam.

De dwarsstromingen bij de westelijke en de oostelijke kop van de Beerdam zijn in de situatie met 'open' Harteldoorsteek iets sterker dan zonder Harteldoorsteek, maar het verschil is vrij klein: bij de oostelijke kop van de Beerdam (Beergat) is de maximale dieptegemiddelde dwarsstroming in het Hartelkanaal resp. 0,33 en 0,27 m/s (figuur 3-4b en 4d).

Op het tijdstip van maximale (westwaartse) vloedstroming in de Harteldoorsteek (4:30) heeft de Harteldoorsteek vrijwel geen invloed op de stroomsnelheden in het Hartelkanaal ten zuiden van de Beerdam (snelheidsverhoging minder dan 0,1 m/s). Er is op dit tijdstip wel enige invloed op de stroomsnelheden in het westelijk deel van de Mississippihaven: de 5m- en de 14,5m-gemiddelde snelheden zijn hier resp. 0,2 m/s en 0,1 m/s verhoogd t.o.v. de 'huidige situatie'.

Op het tijdstip van maximale (oostwaartse) ebstroming in de Harteldoorsteek (20:00) veroorzaakt de Harteldoorsteek zowel in het Mississippihaven als in het Hartelkanaal ten zuiden van de Beerdam enige verhoging van de 5m-gemiddelde snelheid. De verhoging is echter gering: circa 0,05 m/s (maximaal 0,1 m/s). Het 14,5m-gemiddelde verandert nog minder.

De 'open' Harteldoorsteek veroorzaakt een lichte toename van de maximale ebstroming die vanuit het Beergat door het zuidelijk deel van het Beerkanaal stroomt: de 14,5m-gemiddelde stroomsnelheid neemt om 21:45 toe met circa 0,05 m/s. Deze geringe toename wordt waarschijnlijk veroorzaakt door extra debiet vanuit de Harteldoorsteek.

### 3.3.3 'Gesloten' Harteldoorsteek vergeleken met 'huidige situatie'

Bij 'gesloten' Harteldoorsteek zijn de verschillen met de 'huidige situatie' groter dan bij 'open' Harteldoorsteek, omdat de debieten van en naar de Harteldoorsteek volledig door het Hartelkanaal ten zuiden van de Beerdam stromen. Bij 'gesloten' Harteldoorsteek zijn de maximale eb- en vloedstromingen in het Hartelkanaal ten zuiden van de Beerdam resp. 0,3 en 0,2 m/s groter dan bij de 'huidige situatie'.



De dwarsstroming in het Hartelkanaal ter plaatse van de oostelijke kop van de Beerdam (Beergat) is bijna een factor 2 sterker dan bij de 'huidige situatie'. Bij 'gesloten' Harteldoorsteek bedraagt de maximale dwarsstroming 0,50 m/s bij 'gesloten' Harteldoorsteek tegenover maximaal 0,27 m/s bij de 'huidige situatie' (figuur 3-4c en 4d). De dwarsstroming duurt bij 'gesloten' Harteldoorsteek ook langer, namelijk 2 uur tegenover 1 uur bij de 'huidige situatie'. De dwarsstroming over het Hartelkanaal gaat gepaard met een sterke westwaartse stroming langs de zuidelijke oever van het Hartelkanaal met snelheden tot 0,6 à 0,7 m/s. Deze locale stroming langs de zuidelijk oever is ook in de huidige situatie aanwezig, maar dan met veel lagere snelheden: maximaal 0,3 m/s (bij 'open' Harteldoorsteek maximaal 0,3 à 0,4 m/s).

Bij 'gesloten' Harteldoorsteek is de richting van de maximale ebstroming door het Beergat naar het Beerkanaal wat noordelijker dan bij de 'huidige situatie' (zie animatie 5m-gemiddelde om 20:45). Dit komt doordat de stroming vanuit het oostelijk deel van het Hartelkanaal enigszins naar het oosten wordt geduwd door de stroming vanuit het westelijk deel van het Hartelkanaal.





## 4. Samenvatting en nautische aandachtspunten

### 4.1 Samenvatting

De Doorsteekvariant (contour 0) van Maasvlakte 2 is doorgerekend met twee alternatieven voor een doorgetrokken Hartelkanaal, namelijk met en zonder sluiting van de opening tussen de Beerdam en het Distripark. De twee alternatieven worden aangeduid met 'gesloten' Harteldoorsteek en 'open' Harteldoorsteek. Tevens is een 'huidige situatie' doorgerekend zonder Harteldoorsteek en zonder havenbekkens op de landaanwinning. Voor de Harteldoorsteek is een bodemdiepte aangenomen van NAP -7,0 m en een breedte van ongeveer 200 m op NAP-niveau.

Een samenvattend overzicht van de berekende stroomsnelheden wordt gegeven in tabel 4.1 aan het eind van dit hoofdstuk. De resultaten van de berekeningen kunnen per deelgebied als volgt worden samengevat.

In de Harteldoorsteek zijn bij beide alternatieven van de Harteldoorsteek de stroomsnelheden relatief klein, namelijk maximaal 0,4 m/s voor het 5m-dieptegemiddelde. (In het Hartelkanaal ter hoogte van de Suurhoffbrug is de maximale stroomsnelheid ongeveer een factor 3 groter).

In het Hartelkanaal ten zuiden van de Beerdam wijken de snelheden bij 'open' Harteldoorsteek nauwelijks af van de 'huidige situatie': de maximale eb- en vloednelheden bedragen in beide situaties 0,2 à 0,3 m/s. In beide situaties treedt ook een even sterke stroming van 0,5 m/s op als gevolg van een agger in de laagwaterstand.

Bij 'gesloten' Harteldoorsteek zijn de 'normale' eb- en vloednelheden ten zuiden van de Beerdam i.h.a. algemeen circa 0,2 m/s hoger dan bij de 'huidige situatie' (maar de agger snelheid is maximaal 0,1 m/s hoger). Deze hogere snelheden zijn een gevolg van het feit dat het gehele debiet van en naar de Harteldoorsteek ten zuiden van de Beerdam langs stroomt.

In de Mississippihaven treedt bij 'open' Harteldoorsteek t.o.v. de 'huidige situatie' een toename van de stroomsnelheden op met 0,2 m/s voor het 5m-gemiddelde en 0,1 m/s voor het 14,5m-gemiddelde. Bij 'open' Harteldoorsteek treedt in de opening tussen Beerdam en Distripark een in ruimte en tijd variërend stroombeeld op, waarbij gedurende korte perioden dwarsstromingen optreden in het Hartelkanaal of in de Mississippihaven. De optredende dwarsstroomsnelheden zijn echter relatief gering: maximaal 0,2 m/s. (Ook bij de 'huidige situatie' treedt rond de westelijke kop van de Beerdam in de Mississippihaven gedurende korte tijd (1 uur) een dwarsstroming van 0,1 à 0,2 m/s op).

Bij het Beergat treedt bij beide alternatieven én bij de 'huidige situatie' een dwarsstroming op in het Hartelkanaal doordat de vloedstroming rond de kop van de Beerdam naar het westelijk deel van het Hartelkanaal en de Harteldoorsteek stroomt. De over de volledige waterdiepte (7 à 8 m) gemiddelde dwarsstroming bedraagt maximaal 0,27 m/s bij de 'huidige situatie' en 0,33 m/s bij 'open' Harteldoorsteek. Bij 'gesloten' Harteldoorsteek is de dwarsstroming significant groter, namelijk maximaal 0,50 m/s.



De dwarsstroming bij het Beergat gaat gepaard met een lokale sterkere westwaartse stroming langs de zuidelijke oever van het Hartelkanaal. Dit is met name het geval bij de 'gesloten' Harteldoorsteek, waarbij langs de zuidelijke oever snelheden tot 0,6 à 0,7 m/s optreden. Bij 'huidige situatie' en 'open' Harteldoorsteek 0,3 à 0,4 m/s.

## **4.2 Nautische aandachtspunten**

Gezien vanuit nautisch oogpunt zijn de belangrijkste conclusies van de berekeningen dat de stroomsnelheden in de Harteldoorsteek relatief laag zijn, maar dat er wel dwarsstromingen optreden bij de openingen aan weerszijde van de Beerdam die nautisch een probleem zouden kunnen zijn. Dwarsstroming kan met name een probleem zijn bij de oostelijke kop van de Beerdam in de situatie met 'gesloten' Harteldoorsteek. In de situatie met 'open' Harteldoorsteek is de dwarsstroming slechts weinig sterker dan bij de 'huidige situatie'.

Het afsluiten van de opening ten westen van de Beerdam leidt tot een vereenvoudiging van het stroombeeld aldaar, meer het leidt tevens tot een aanzienlijke versterking van de dwarsstroming in het Hartelkanaal bij de oostelijke kop van de Beerdam aan het begin van de vloed. Deze sterke dwarsstroming bij het Beergat is vanuit nautisch oogpunt mogelijk nadeliger dan het complexere stroombeeld bij een opening ten westen van de Beerdam (waarbij de stroomsnelheden echter relatief laag zijn). Sluiting van het gat ten westen van de Beerdam lijkt daarom vanuit nautisch oogpunt niet gunstig.

De dwarsstroming in het Hartelkanaal bij de oostelijke kop van de Beerdam kan mogelijk worden gereduceerd door het Beergat in westelijke richting te verbreden.



**Tabel 4.1**      **Overzicht van berekende maximale stroomsnelheden**  
(stroomsnelheid in m/s en tijdstip waarop deze snelheid optreedt)

Stroomsnelheden [m/s]	'Huidige situatie'	Doorsteekvariant, contour 0	
		'open' Harteldoorst.	'gesloten' Harteldoorst.
<b>Harteldoorsteek (5m-gemiddelde)</b>			
Max. snelheid westwaarts (LW, vloed)	-	0,4 1:00-04:30	0,3 1:00-3:30
Max. snelheid oostwaarts (eb)	-	<0,1 hele eb	<0,1 hele eb
<b>Hartelkanaal ten zuiden van Beerdam (5m-gemiddelde)</b>			
Max. snelheid westwaarts agger	0,5 22:45	0,5 23:00	0,5 23:00
Max. snelheid westwaarts (vloed)	0,3 2:45-3:30	0,3 1:30-4:00 (0,4 4:30 lokaal)	0,5 3:30-4:15 (0,7 4:30 lokaal)
Max. snelheid oostwaarts (eb)	0,1 20:00 0,3 05:30	0,15 20:00 0,2 5:45/ 7:15	0,4 20:00 0,3 08:15
<b>Hartelkanaal bij Beergat (gemiddelde over 7 à 8m)</b>			
Max. dwarsstroming (vloed)	0,27 4:15	0,33 4:30	0,50 4:30
<b>Mississippihaven (5m-gemiddelde)</b>			
Max. snelheid westwaarts	0,35 22:30 0,15 4:30	0,4 22:45 0,4 04:30	0,5 21:30 0,3 04:30
Max. snelheid oostwaarts	0,3 0:45	0,3 00:45	0,3 00:45
<b>Zuidelijk deel Beerkanaal (14,5m-gemiddelde)</b>			
Max. ebsnelheid 14,5m-gemiddelde	0,50 20:45	0,5 à 0,6 20:45	0,5 à 0,55 20:45
<b>Yangtzehaven (14,5m-gemiddelde)</b>			
Max. stroomsnelheid vloed	<0,1 hele vl.	0,3 04:30	0,3 04:30
Max. stroomsnelheid eb	<0,1 hele eb	<0,2 hele eb	<0,2 hele eb
<b>Havenbekken landaanwinning (14,5m-gemiddelde)</b>			
Max. stroomsnelheid eb en vloed	-	<0,1	<0,1

**Opmerking bij tabel 4.1:**

De snelheden welke in tabel 4.1 zijn vermeld, zijn hoofdzakelijk afgelezen uit de animaties. In deze animaties zijn de snelheden geschaald met stappen van 0,1 m/s, hetgeen bepalend is voor de nauwkeurigheid van de waarden in de tabel. Maximale stroomsnelheden kunnen optreden gedurende korte of lange tijd en ze kunnen optreden in een klein gebied of in een groter gebied. Dit dient meegenomen te worden in de beoordeling van het stroombeeld. De lezer wordt daarom geadviseerd om naast te tabel ook de animaties te raadplegen.

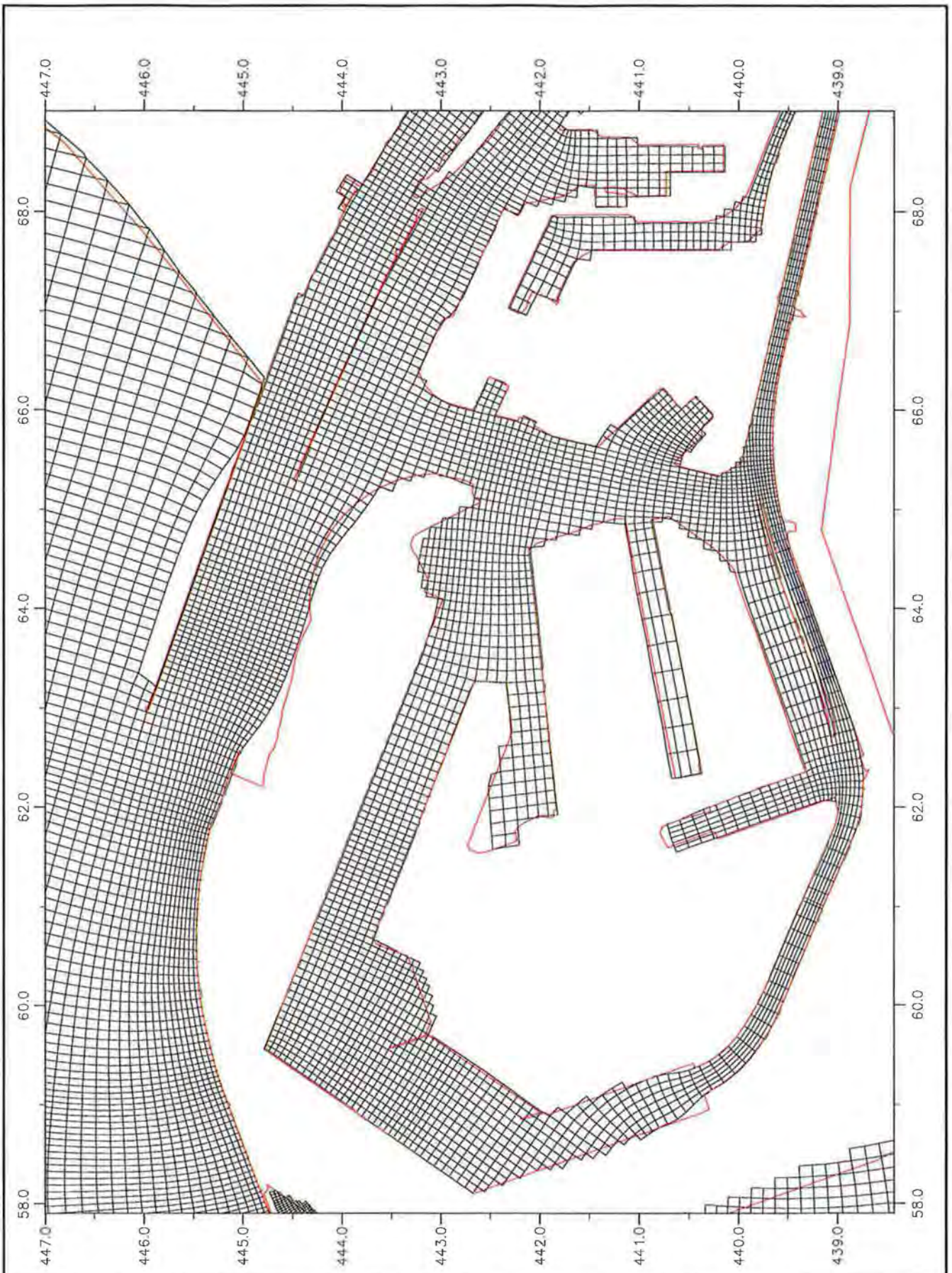


## Referentielijst

1. A.C. Bijlsma, "Ontwikkeling Detailmodel voor de stroming rond de tweede Maasvlakte", WL|Delft Hydraulics, H4044, oktober 2002
2. J. van der Hulst, "Landaanwinning. Stromingsberekeningen Detailmodel", EC-PMR, AAN-02-332, 3 februari 2003
3. J. van der Hulst, "Stromingsberekeningen Detailmodel: Alternatief Ia1 en IIa1 met binnenvaartontsluiting via verlengd Hartelkanaal", EC-PMR, AAN-03-027, 26 februari 2003
4. J. van der Hulst, T. Blokland, "Doorsteekvariant Maasvlakte 2. Stromingsberekeningen Buitencontouren", Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam, HH647-2003, 17 december 2003



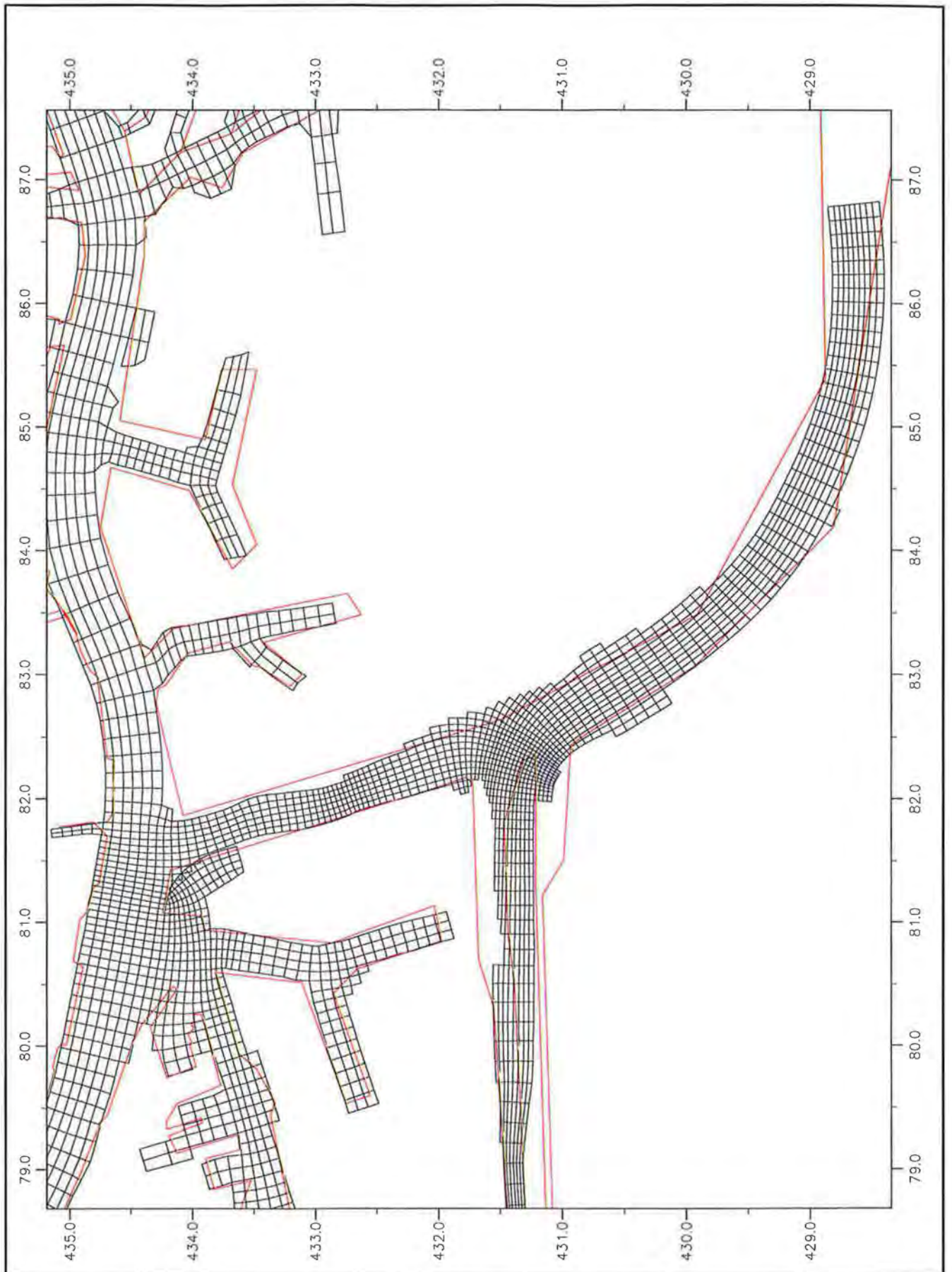




Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal  
 Rooster detail

Delft3D-FLOW, v3.10.10.00



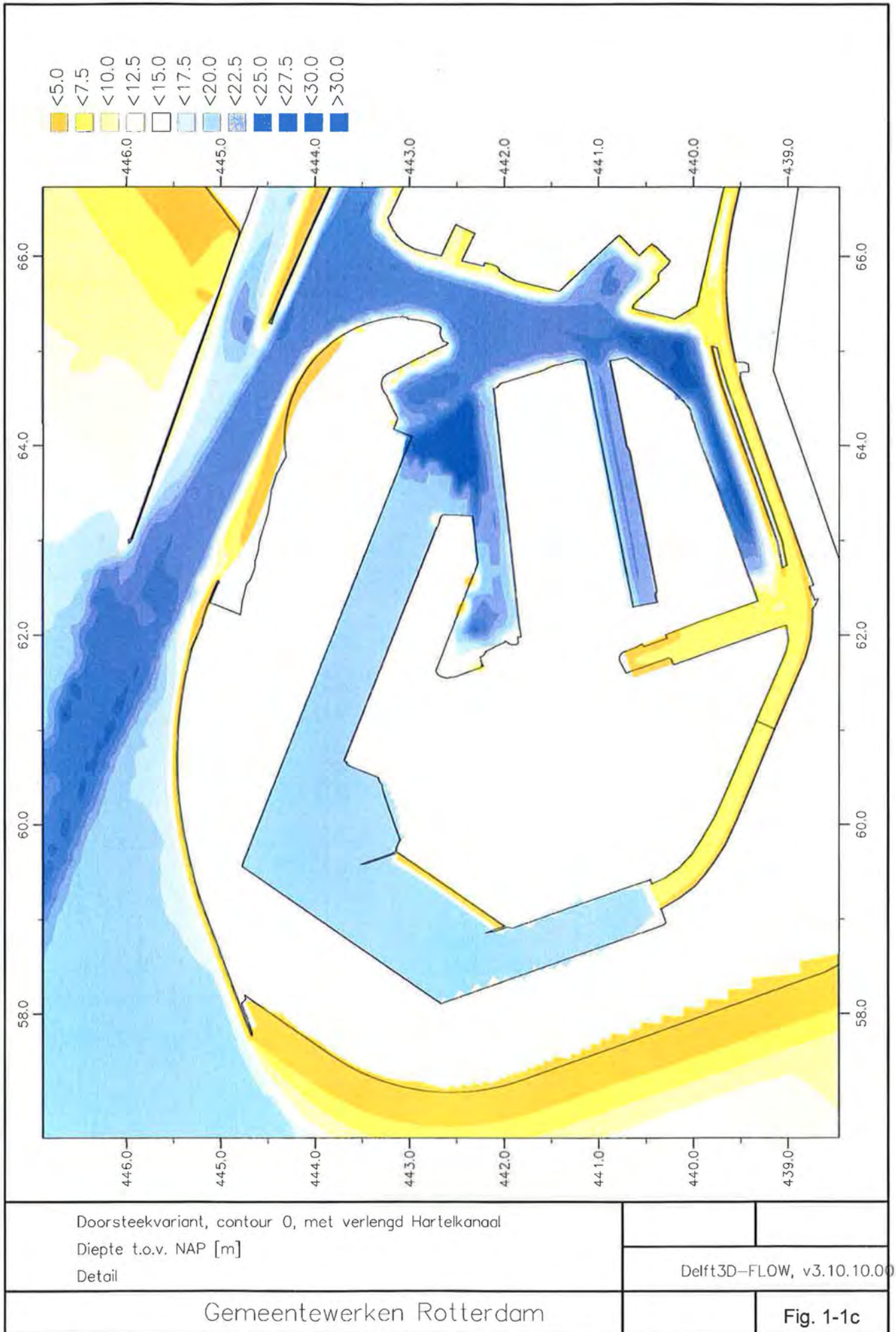


Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal  
Rooster

Delft3D-FLOW, v3.10.10.0

Gemeentewerken Rotterdam

Fig. 1-1b





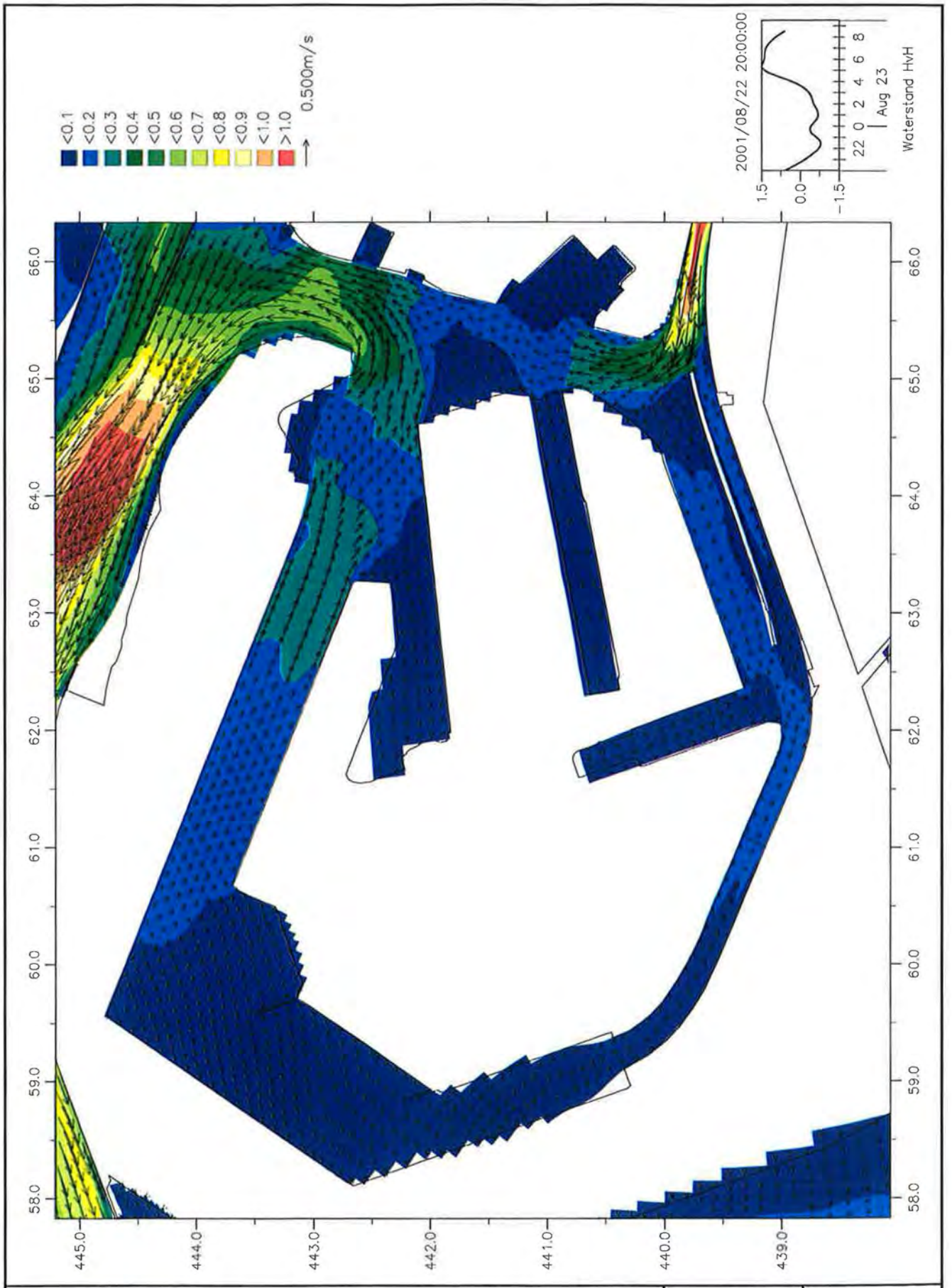


Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal  
 Diepte t.o.v. NAP [m]

Delft3D-FLOW, v3.10.10.00

Gemeentewerken Rotterdam

Fig. 1-1d



Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal  
 Snelheidsvectoren en snelheidsmagnitude  
 Dieptegemiddeld 0-5m

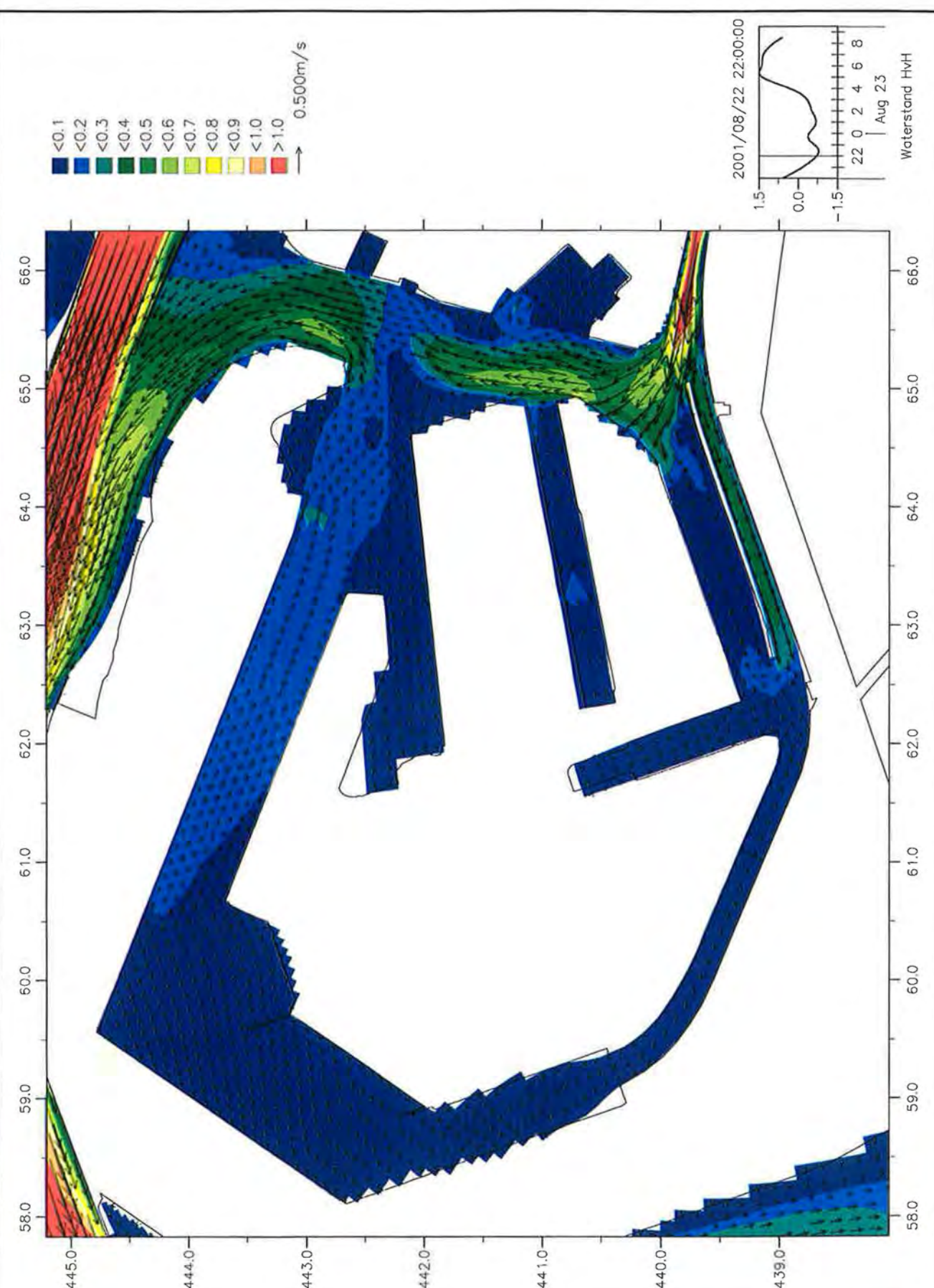
Delft3D-FLOW, v3.10.10.00

Gemeentewerken Rotterdam

Run Ah6

Fig. 1-2a





Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal  
 Snelheidsvectoren en snelheidsmagnitude  
 Dieptegemiddeld 0-5m

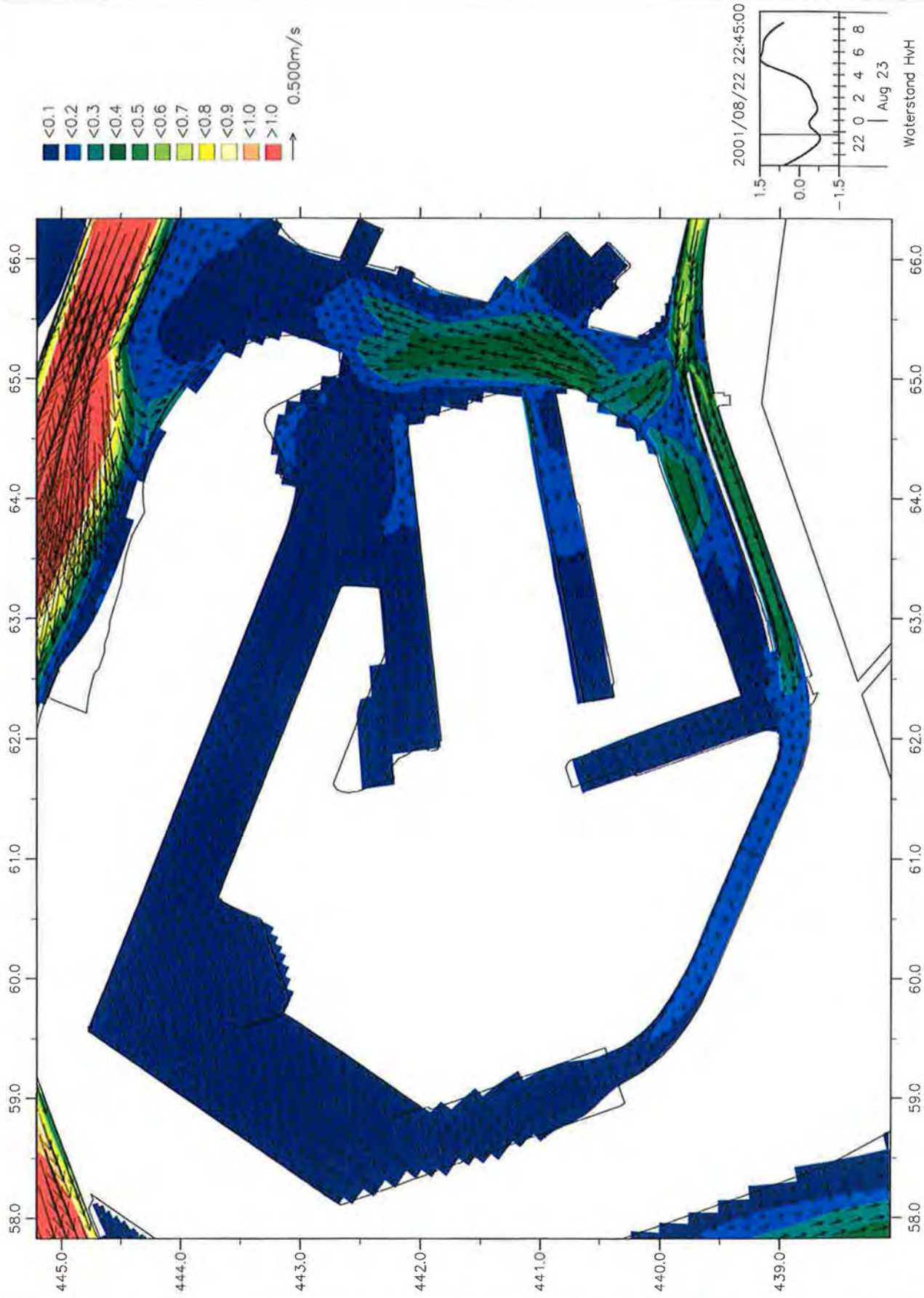
Delft3D-FLOW, v3.10.10.00

Gemeentewerken Rotterdam

Run Ah6

Fig. 1-2b





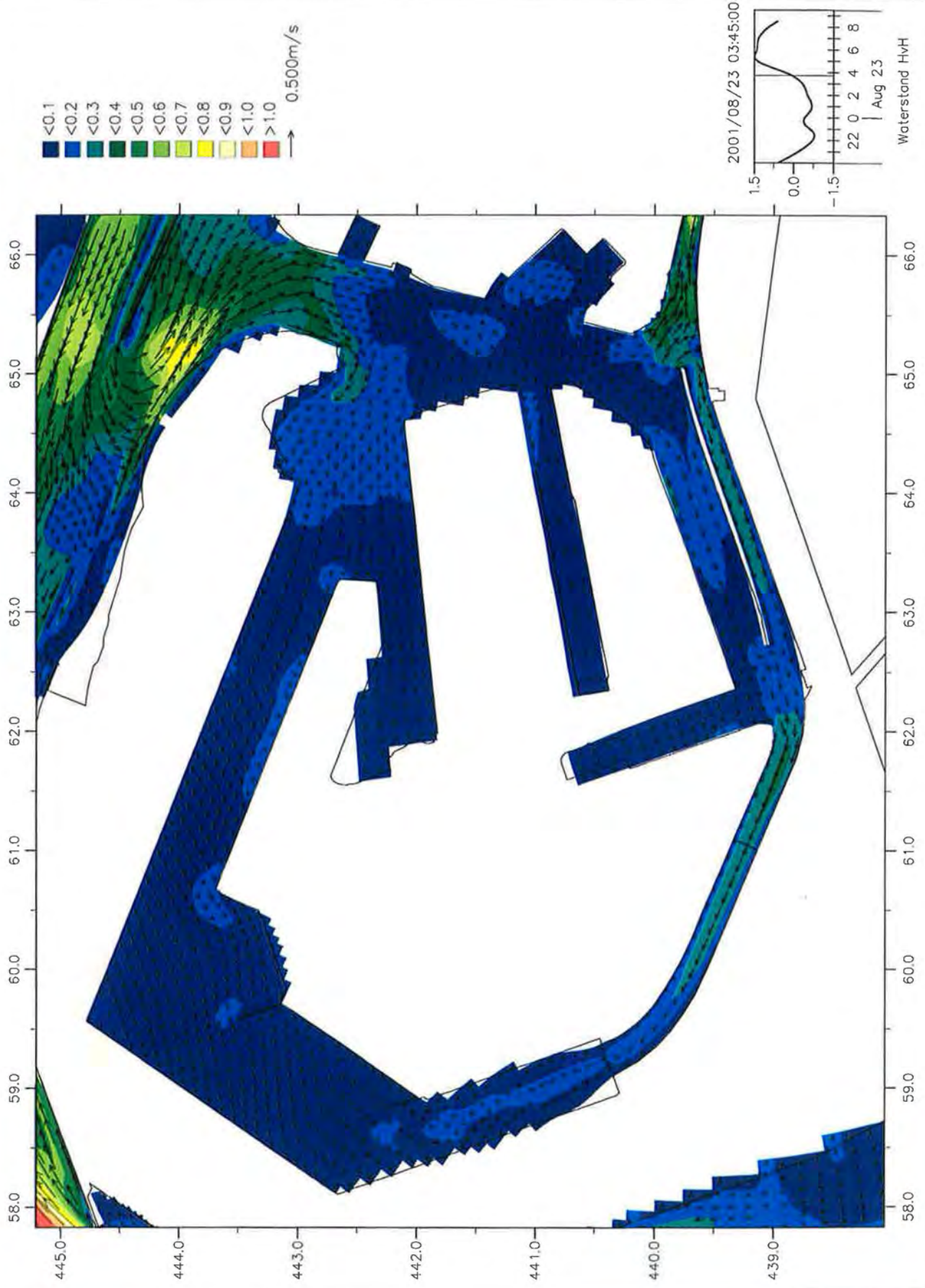
Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal  
 Snelheidsvectoren en snelheidsmagnitude  
 Dieptegemiddeld 0-5m

Delft3D-FLOW, v3.10.10.00

Gemeentewerken Rotterdam

Run Ah6

Fig. 1-2c



Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal  
 Snelheidsvectoren en snelheidsmagnitude  
 Dieptegemiddeld 0-5m

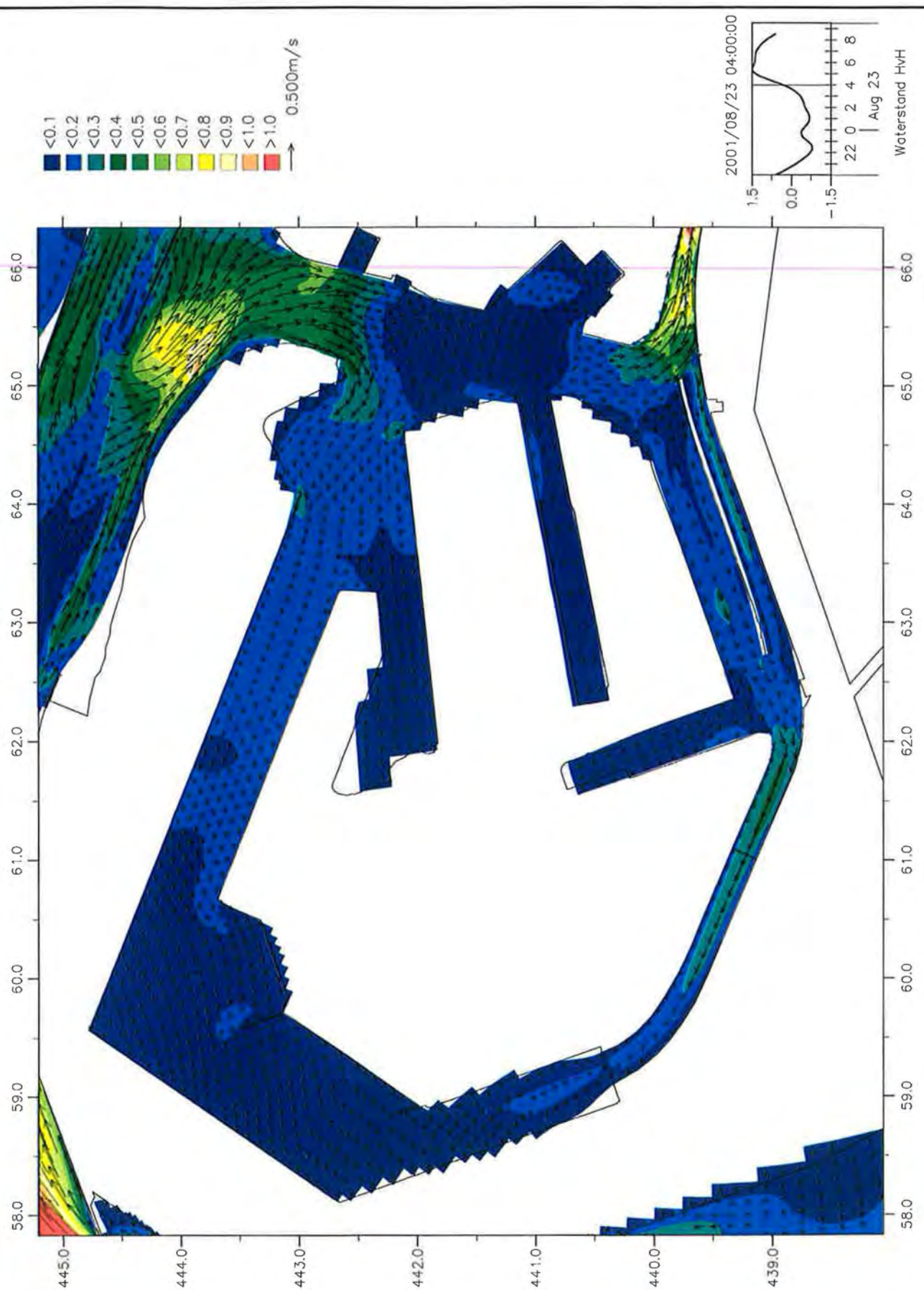
Delft3D-FLOW, v3.10.10.00

Gemeentewerken Rotterdam

Run Ah6

Fig. 1-2d





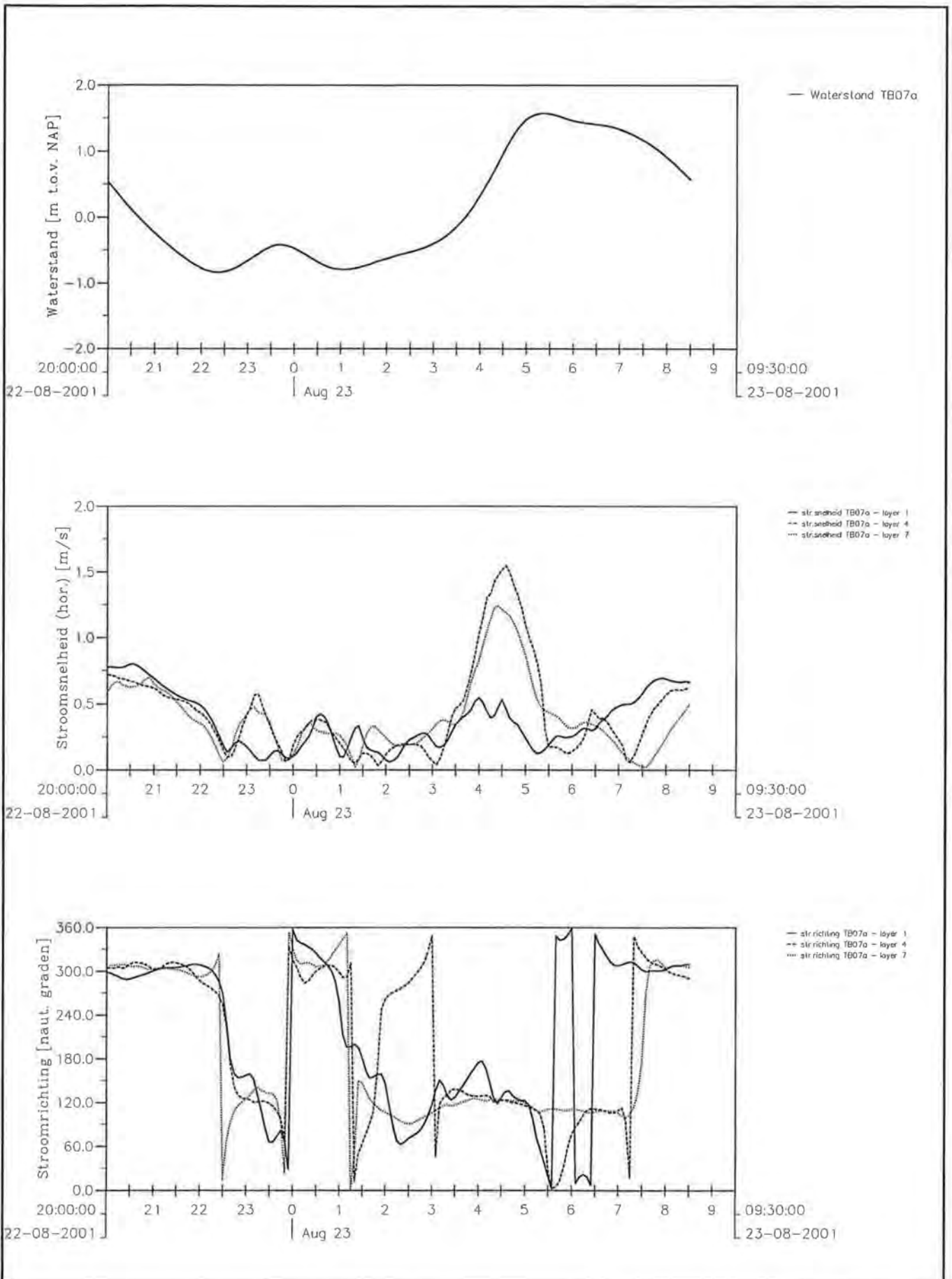
Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal  
 Snelheidsvectoren en snelheidsmagnitude  
 Dieptegemiddeld 0-5m

Delft3D-FLOW, v3.10.10.00

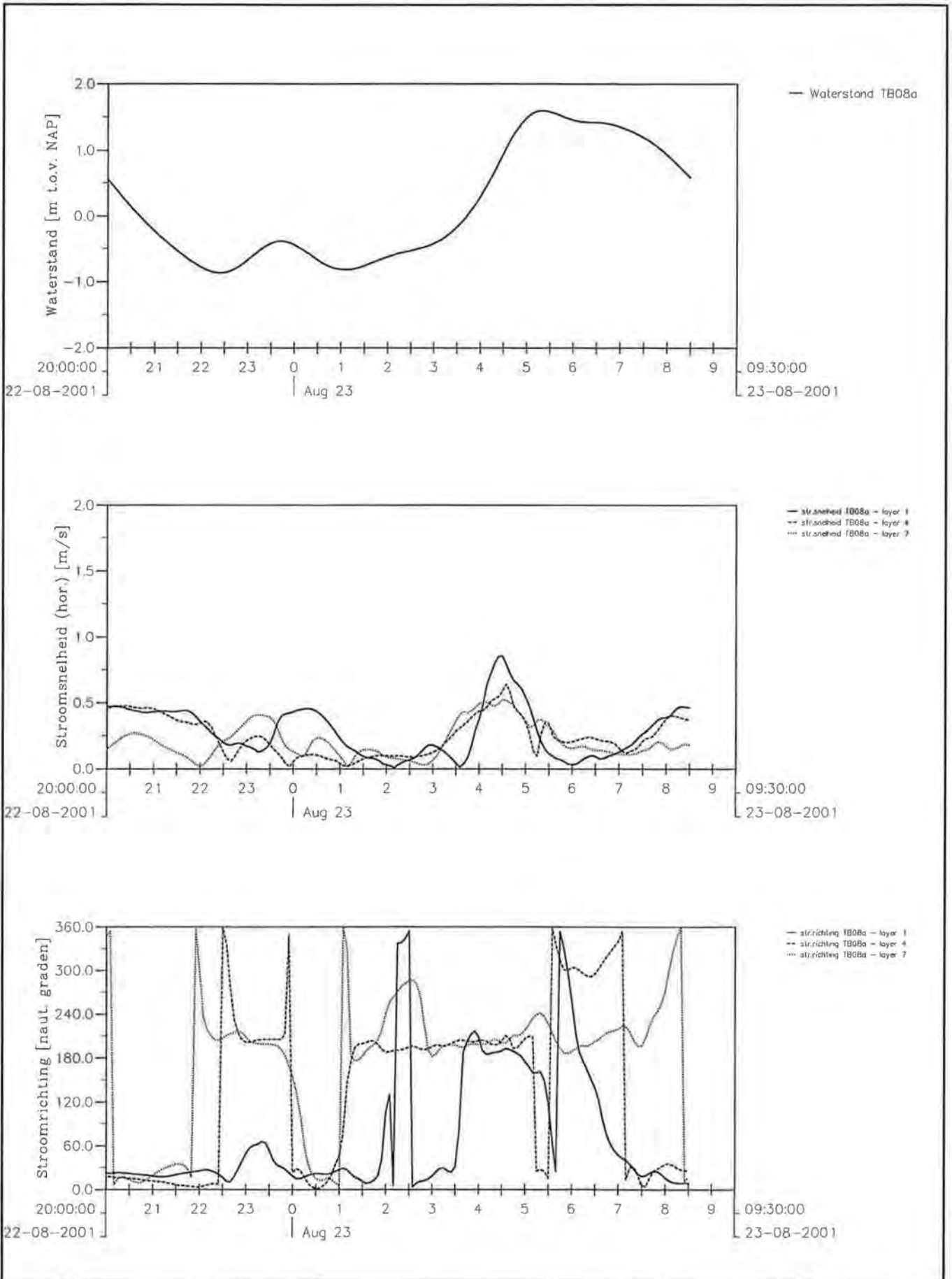
Gemeentewerken Rotterdam

Run Ah6

Fig. 1-2e

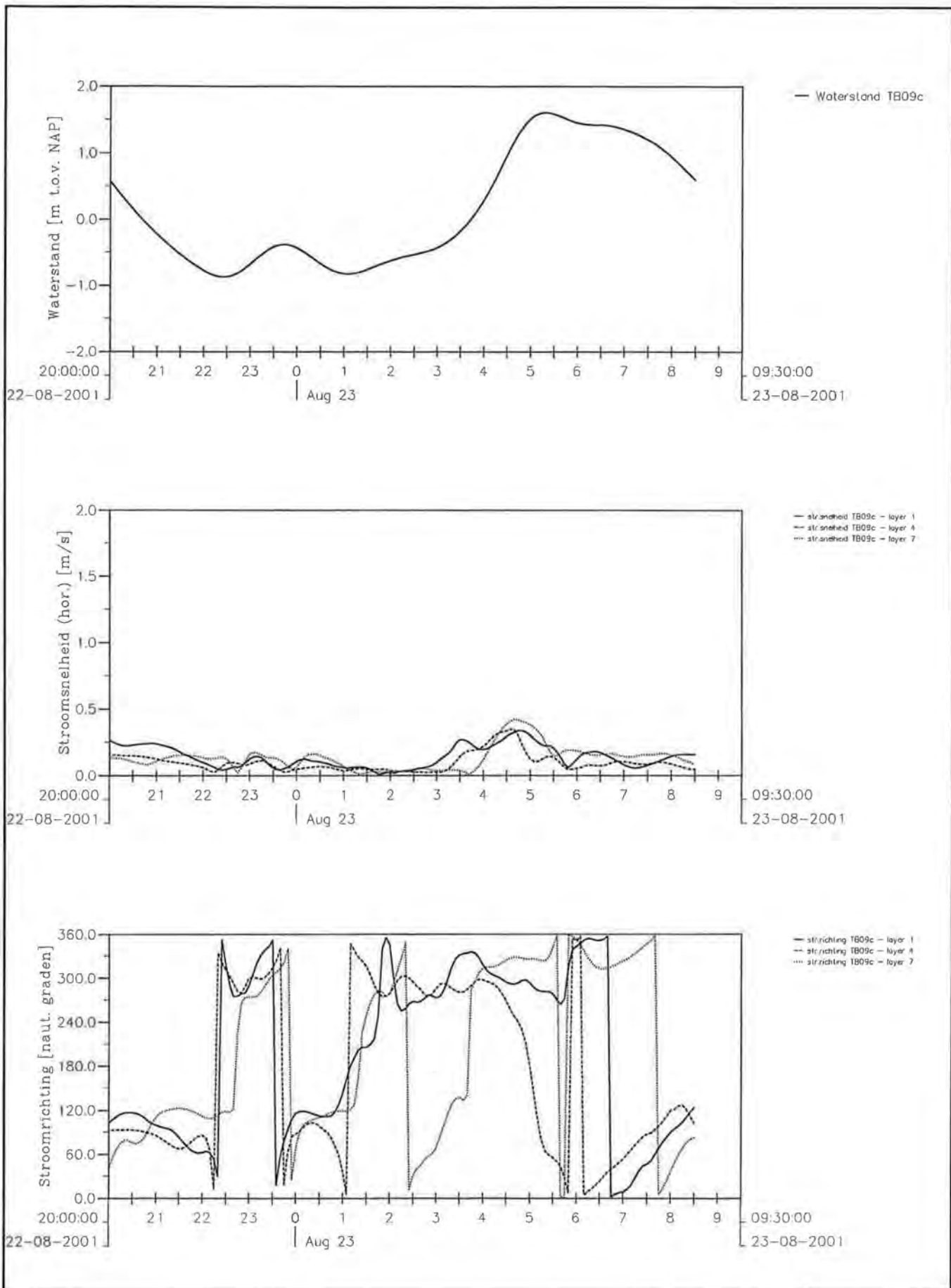


Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal Waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting Meetpunt 4 (ingang Calandkanaal)		
	Delft3D-FLOW, v3.10.10.00	
Gemeentewerken Rotterdam	Run Ah6	Fig. 1-3a



Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal Waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting Meetpunt 5 (ingang Beerkanaal)		
	Delft3D-FLOW, v3.10.10.00	
Gemeentewerken Rotterdam	Run Ah6	Fig. 1-3b

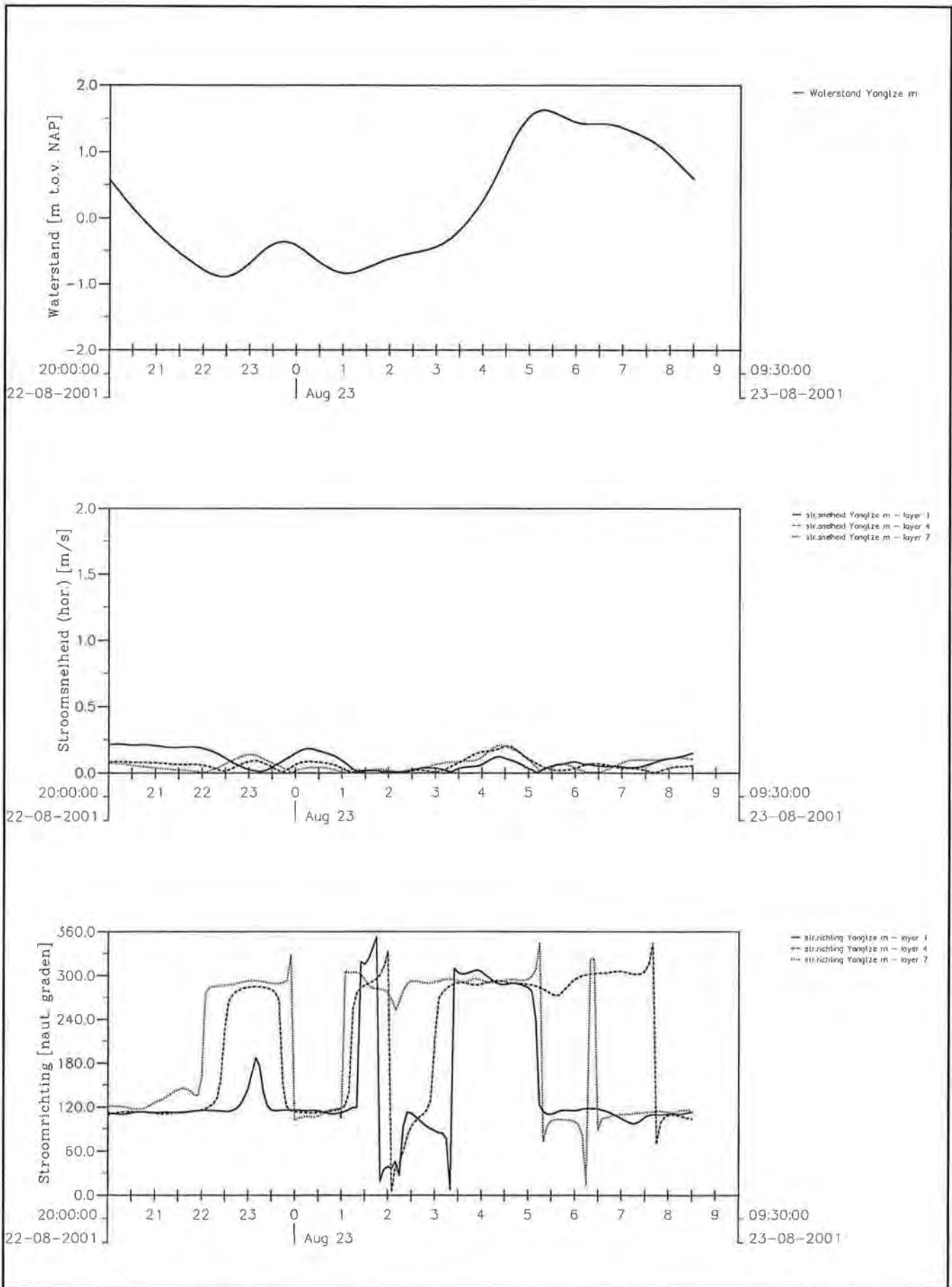




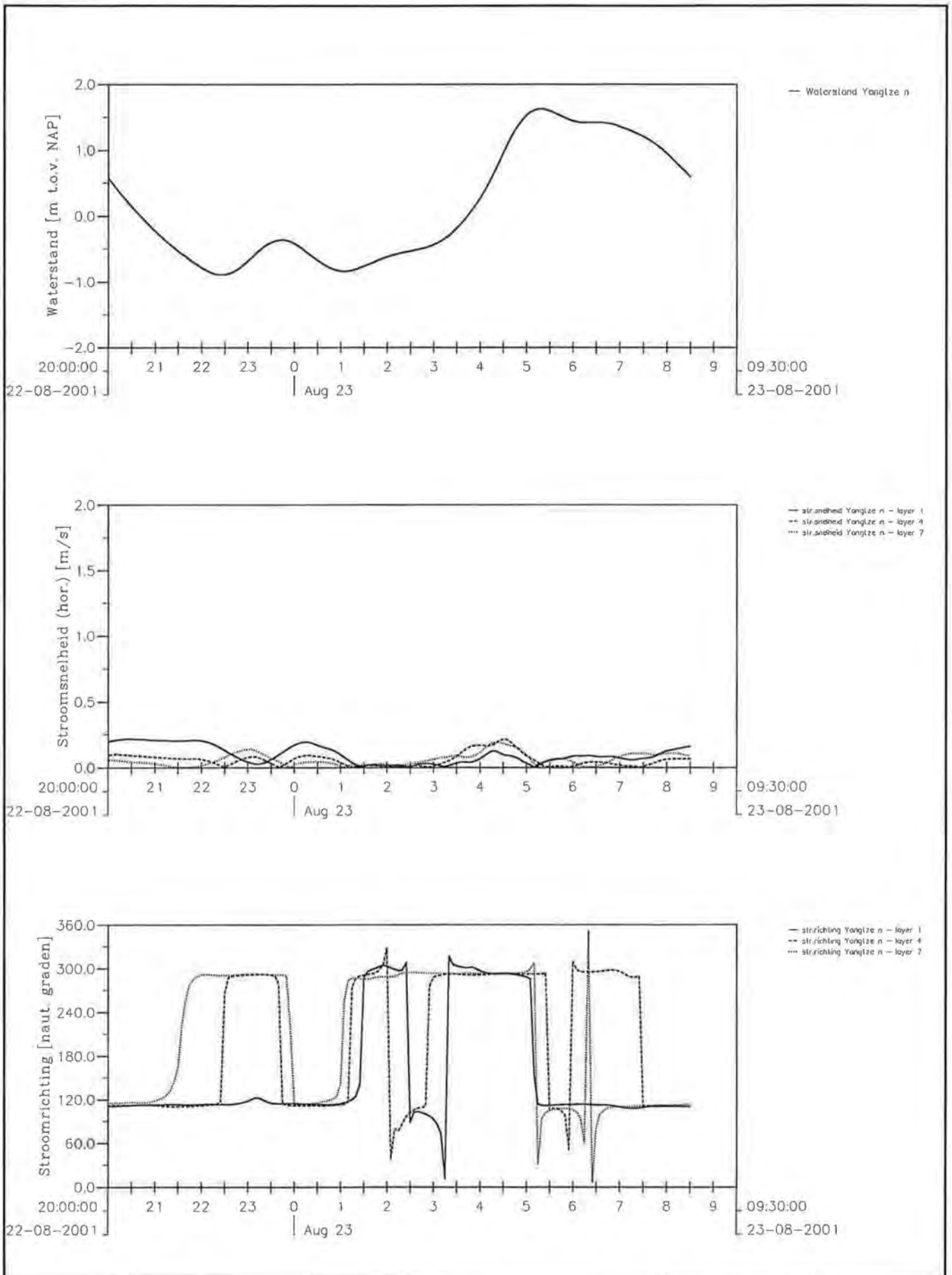
Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal  
 Waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting  
 Meetpunt 6 (ingang Europahaven)

Delft3D-FLOW, v3.10.10.00	
Run Ah6	Fig. 1-3c

Gemeentewerken Rotterdam



Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal Waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting Meetpunt 7 (Yangtzehaven midden)		
	Delft3D-FLOW, v3.10.10.00	
Gemeentewerken Rotterdam	Run Ah6	Fig. 1-3d



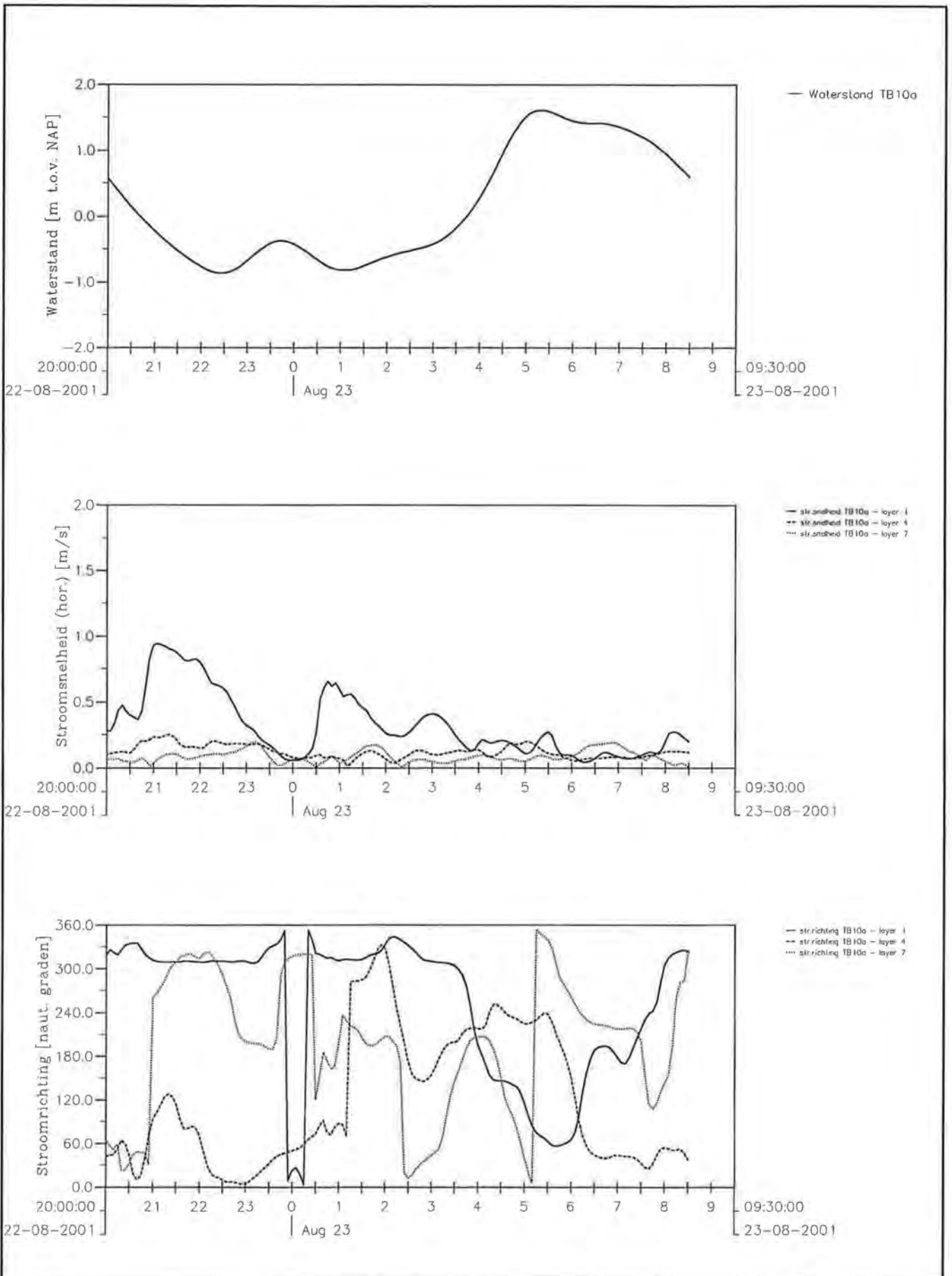
Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal  
 Waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting  
 Meetpunt 8 (Yangtzehaven noord)

Delft3D-FLOW, v3.10.10.00

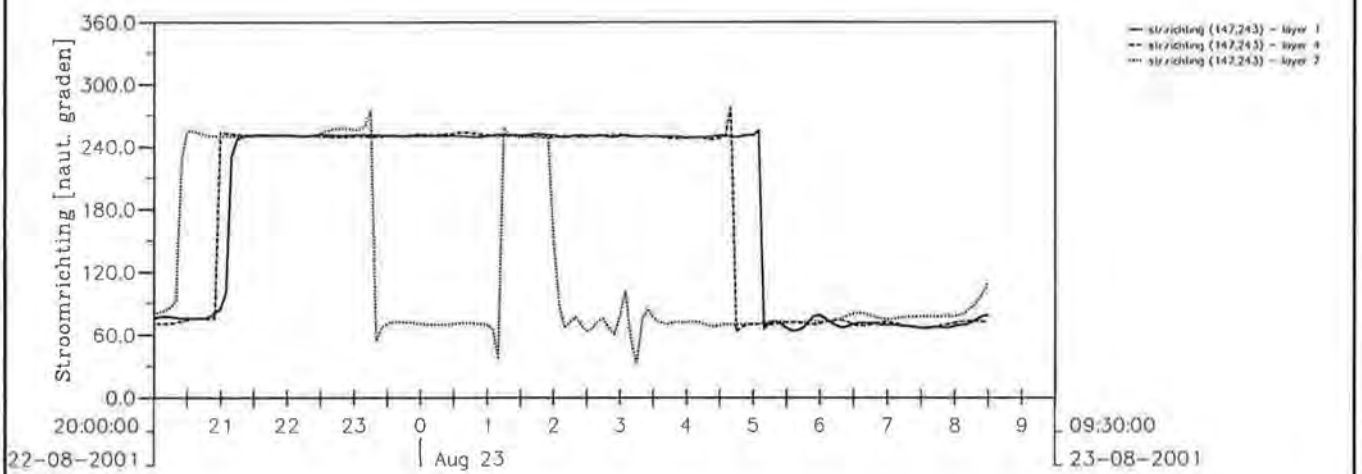
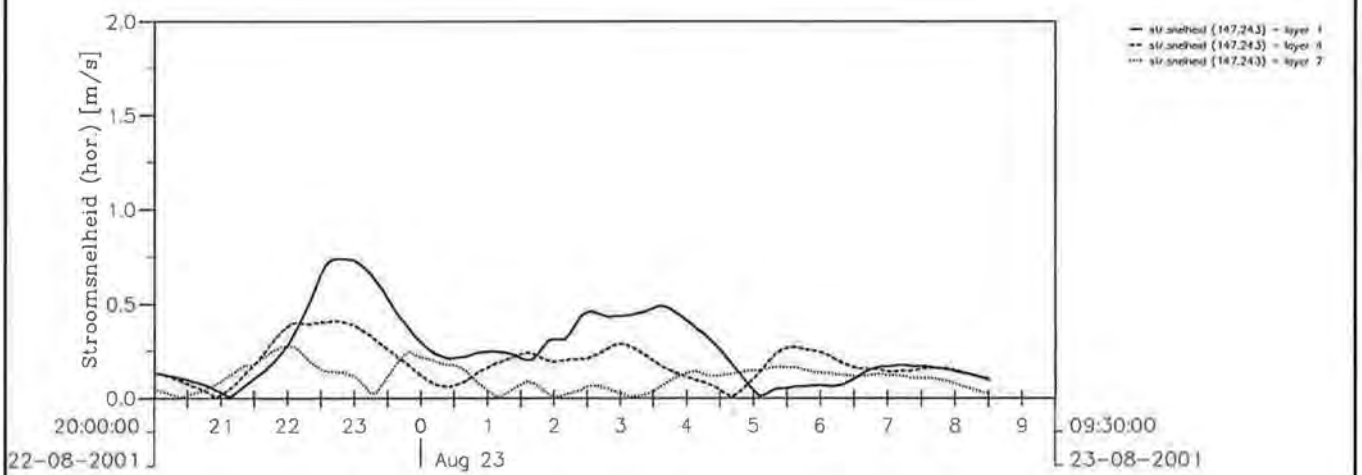
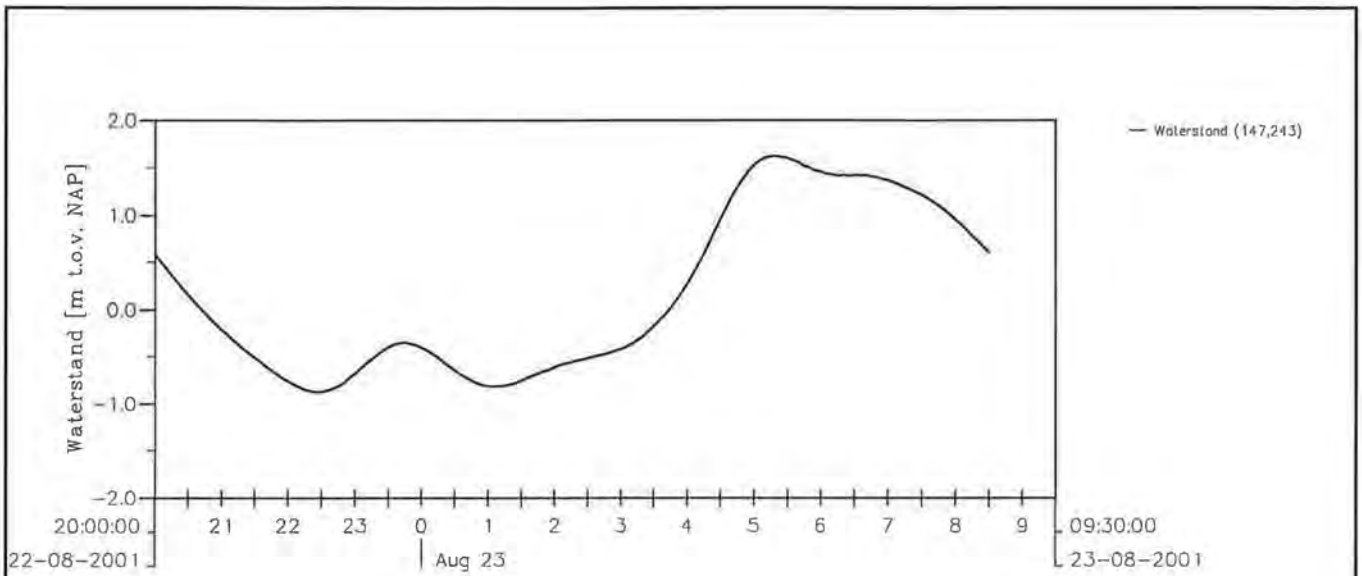
Gemeentewerken Rotterdam

Run Ah6

Fig. 1-3e

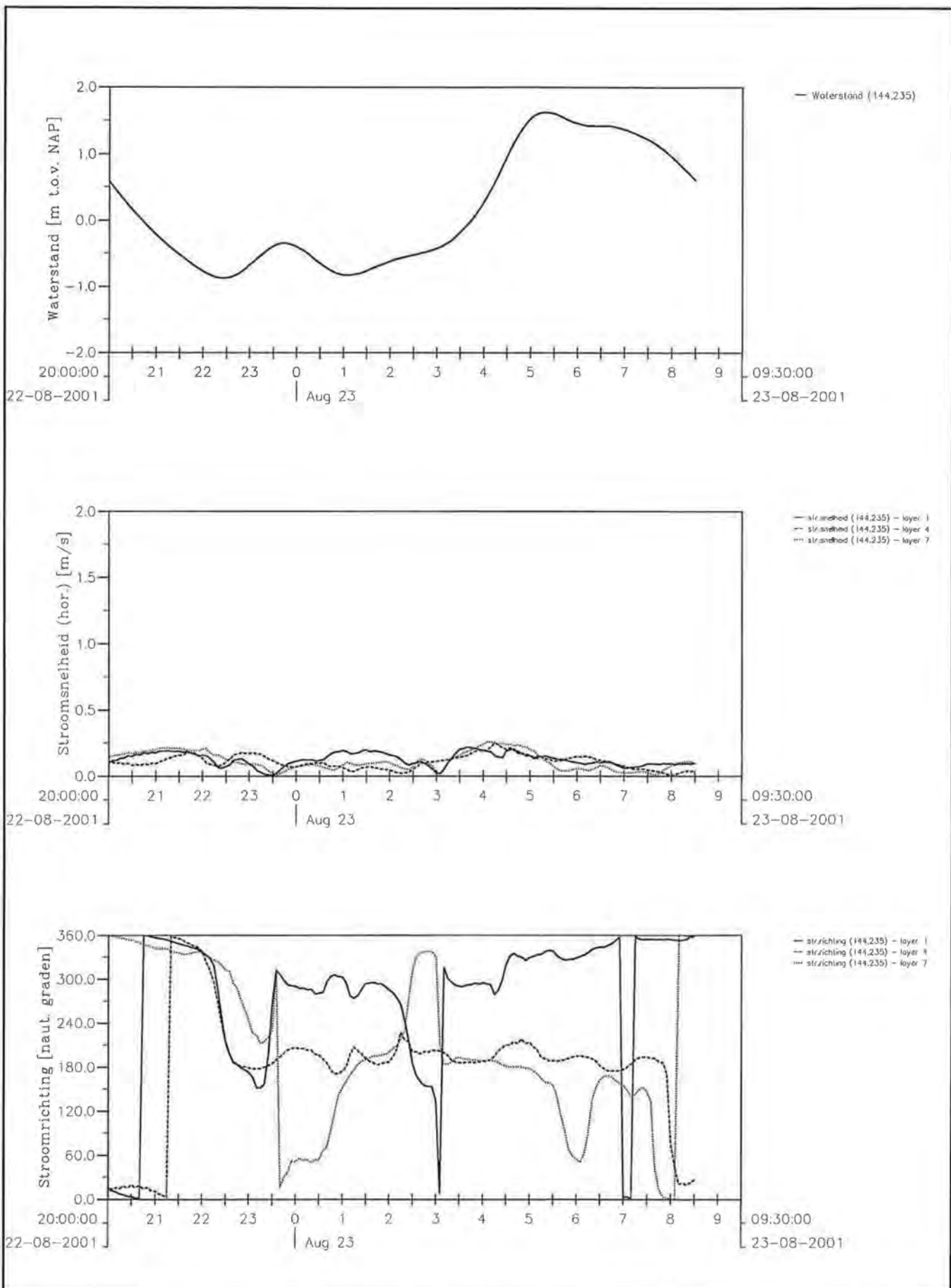


Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal Waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting Meetpunt 9 (voor Beergat)		
	Delft3D-FLOW, v3.10.10.00	
Gemeentewerken Rotterdam	Run Ah6	Fig. 1-3f

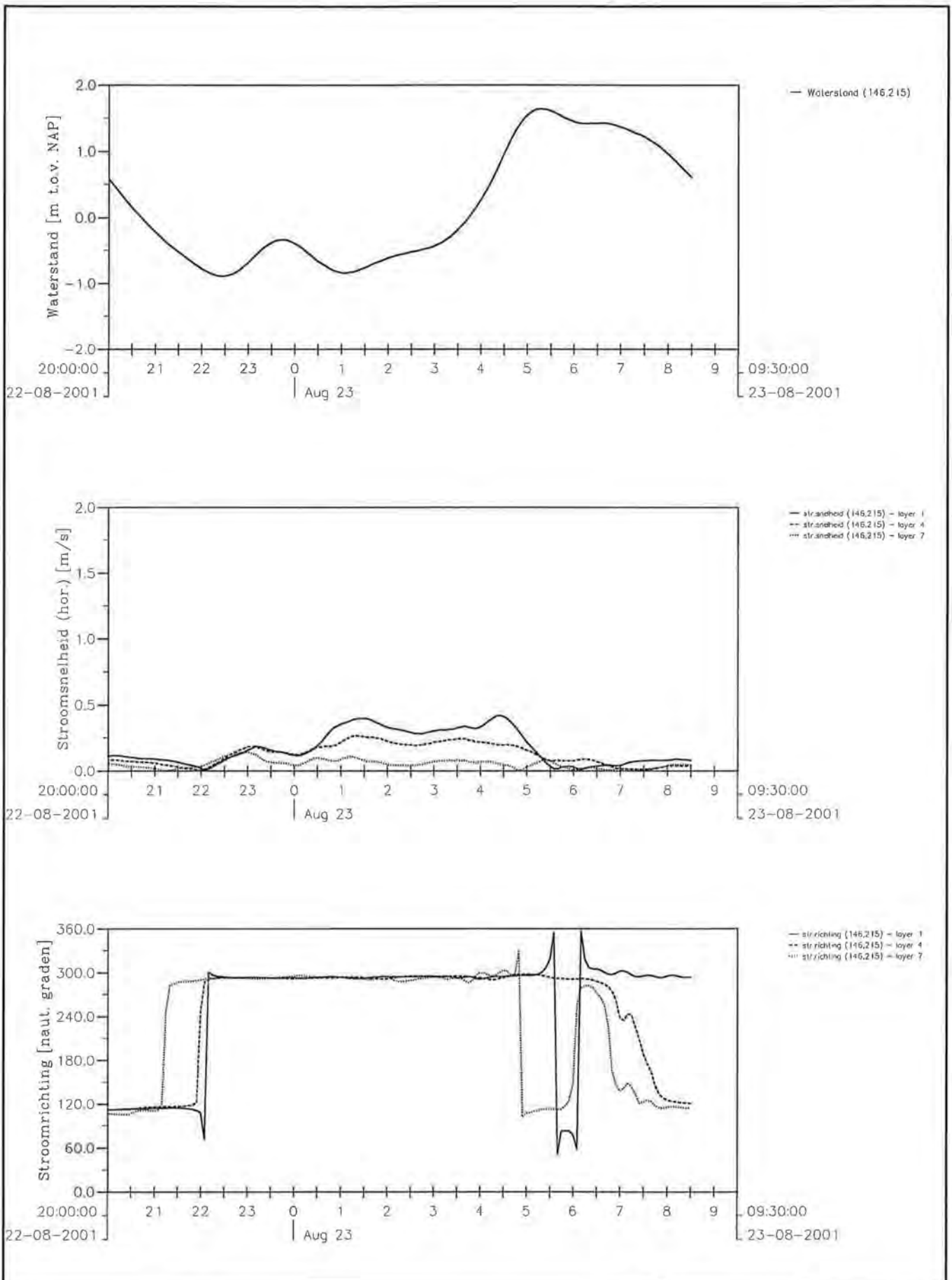


Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal Waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting Meetpunt 10 (in Hartelkanaal, ten zuiden van Beerdam)		
	Delft3D-FLOW, v3.10.10.00	
Gemeentewerken Rotterdam	Run Ah6	Fig. 1-3g





Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal Waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting Meetpunt 11 (voor westpunt Beerdam)		
	Delft3D-FLOW, v3.10.10.00	
Gemeentewerken Rotterdam	Run Ah6	Fig. 1-3h



Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal  
 Waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting  
 Meetpunt 12 (in verlengd Hartelkanaal)

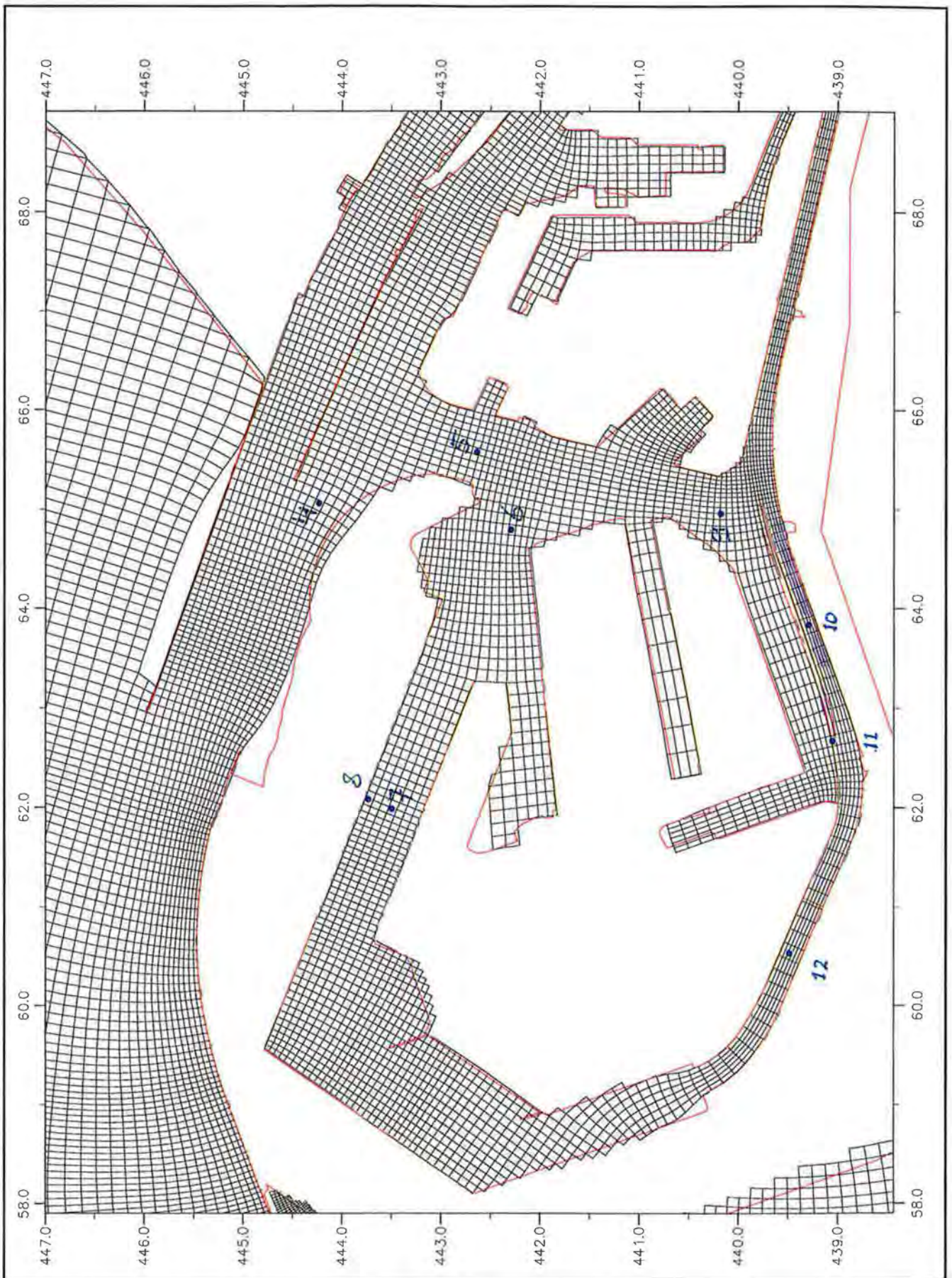
Delft3D-FLOW, v3.10.10.00

Gemeentewerken Rotterdam

Run Ah6

Fig. 1-3i

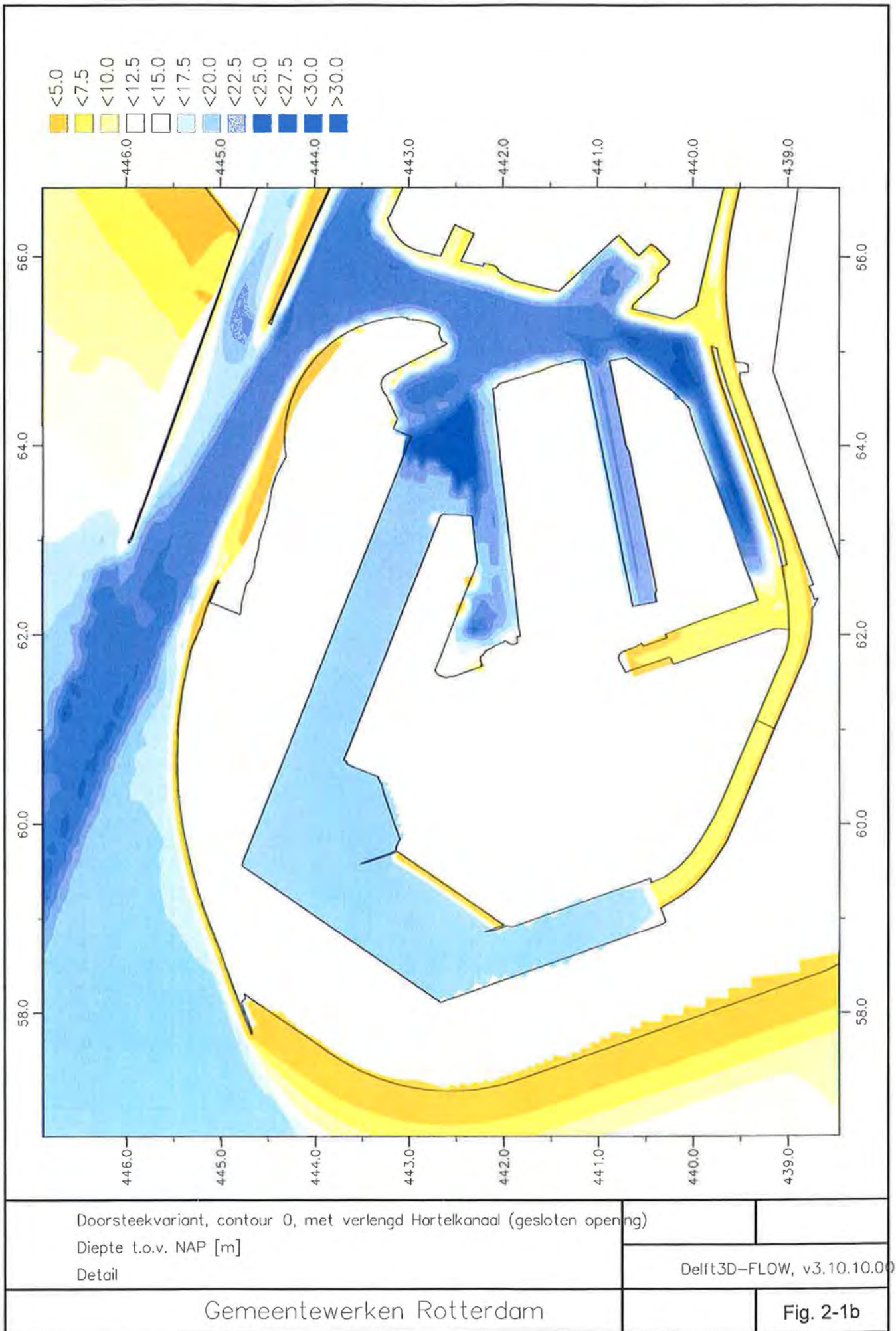




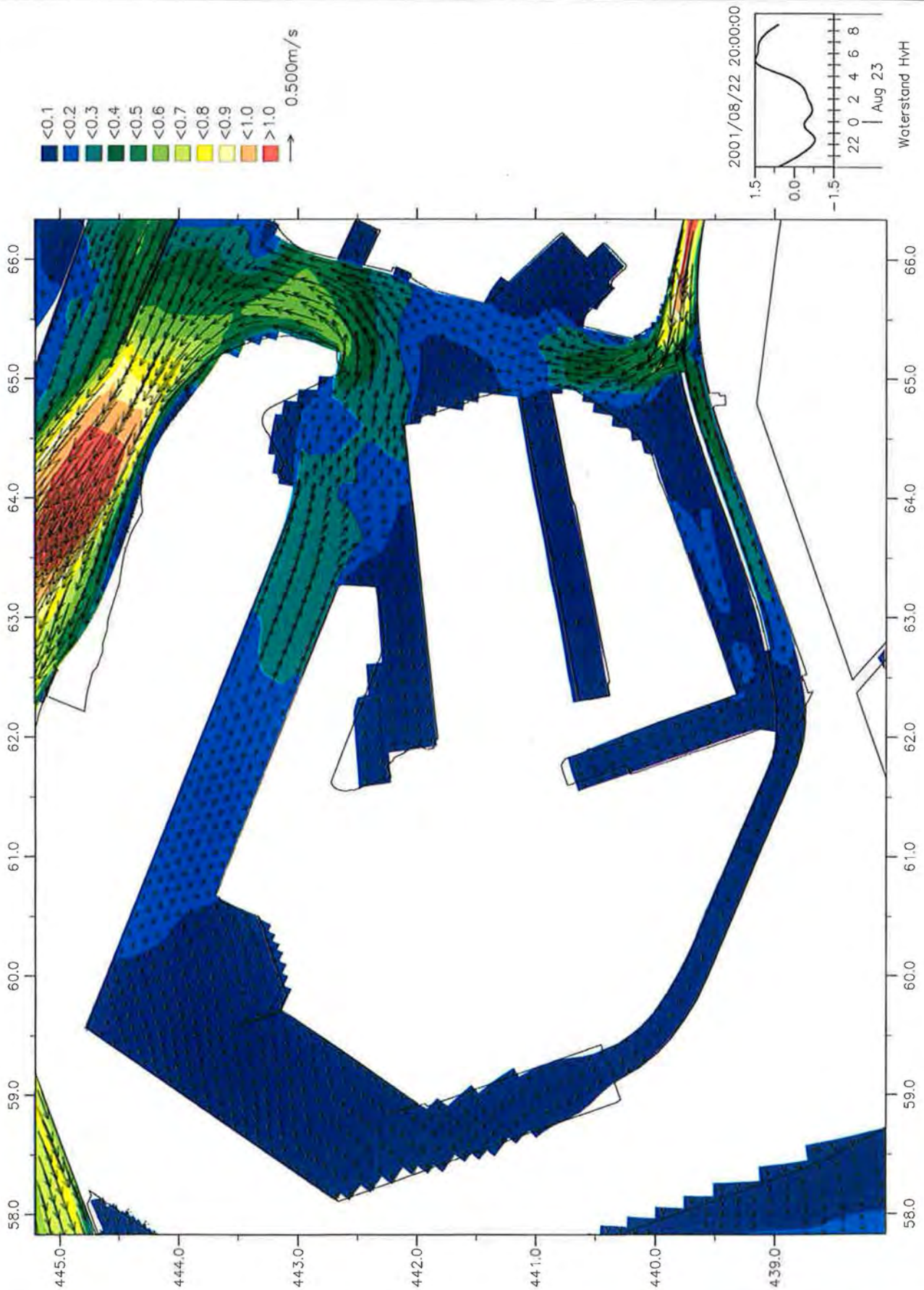
Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal (gesloten opening)  
 Rooster detail

Delft3D-FLOW, v3.10.10.00









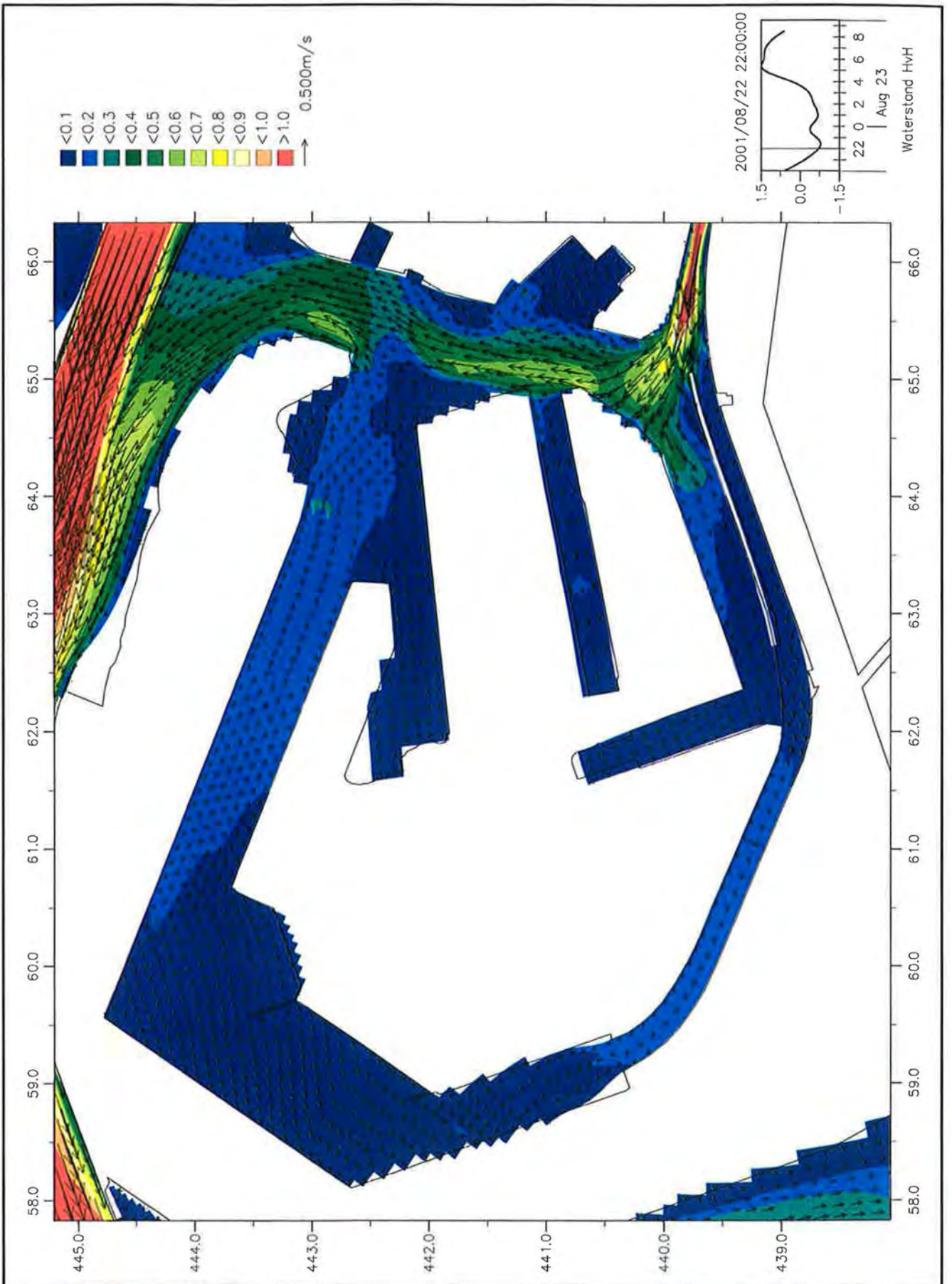
Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal (gesloten opening)  
 Snelheidsvectoren en snelheidsmagnitude  
 Dieptegemiddeld 0-5m

Delft3D-FLOW, v3.10.10.00

Gemeentewerken Rotterdam

Run Ah2

Fig. 2-2a



Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal (gesloten opening)  
 Snelheidsvectoren en snelheidsmagnitude  
 Dieptegemiddeld 0-5m

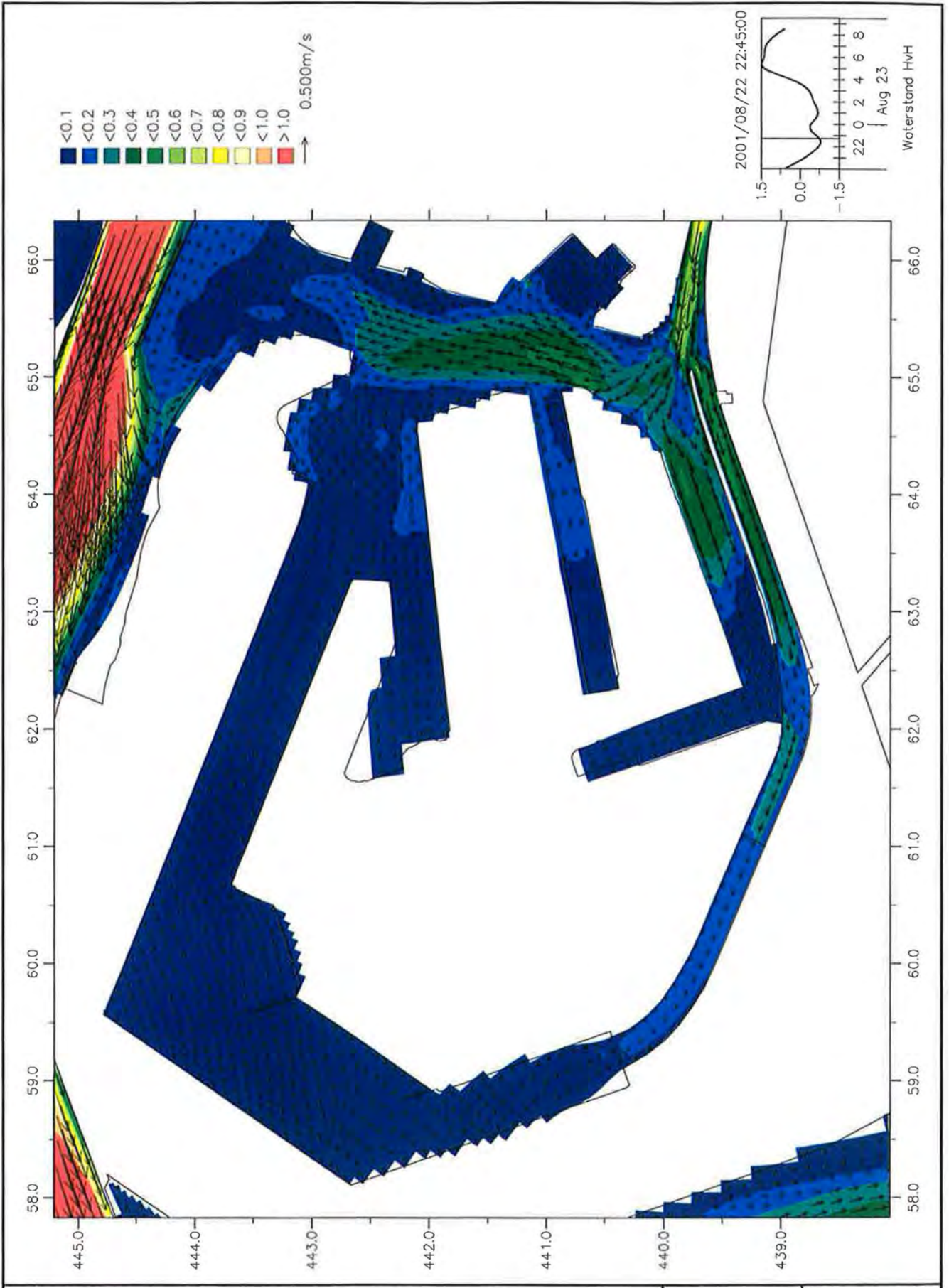
Delft3D-FLOW, v3.10.10.00

Gemeentewerken Rotterdam

Run Ah2

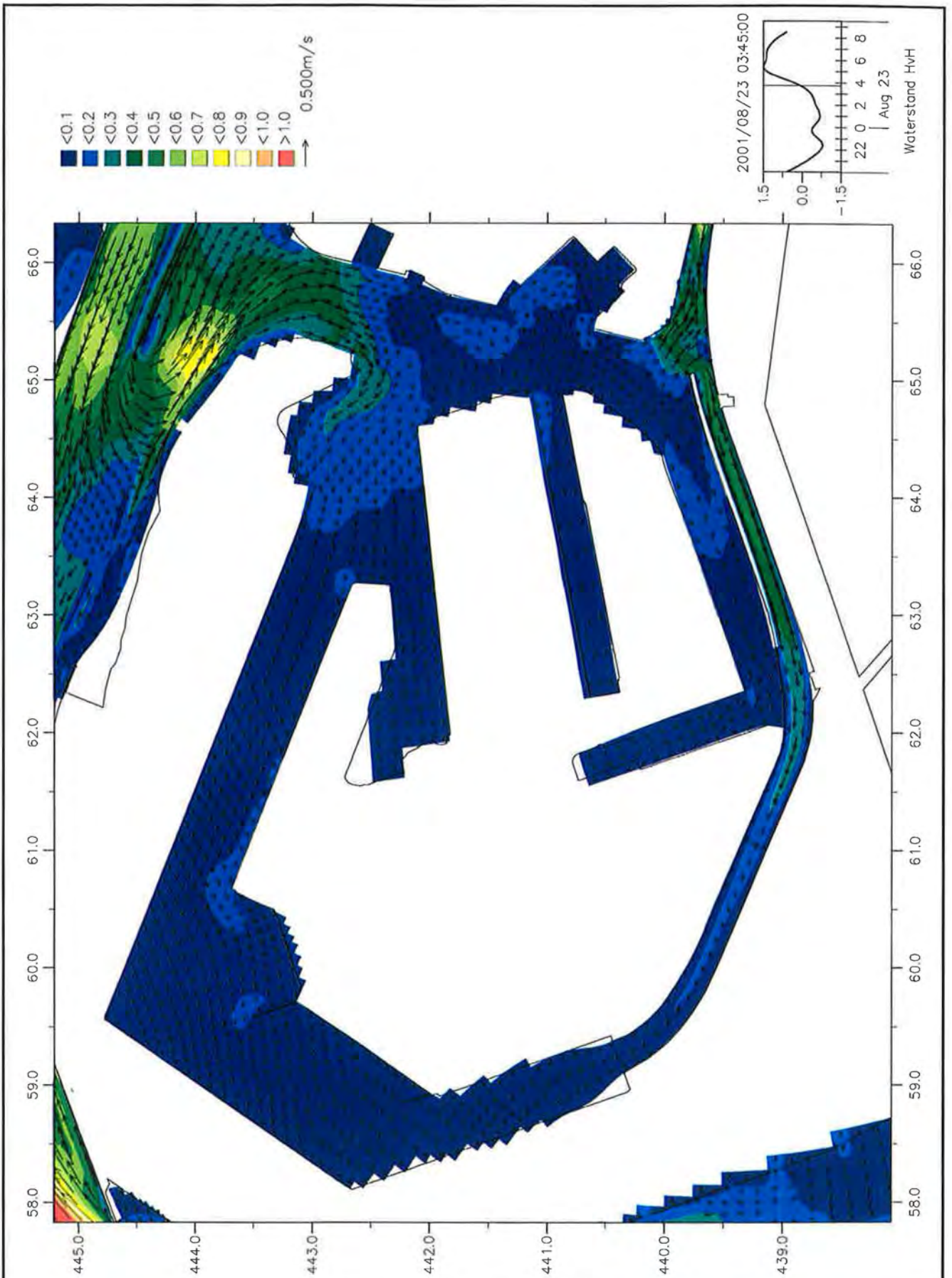
Fig. 2-2b





Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal (gesloten opening)  
 Snelheidsvectoren en snelheidsmagnitude  
 Dieptegemiddeld 0-5m

Delft3D-FLOW, v3.10.10.00



Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal (gesloten opening)  
 Snelheidsvectoren en snelheidsmagnitude  
 Dieptegemiddeld 0-5m

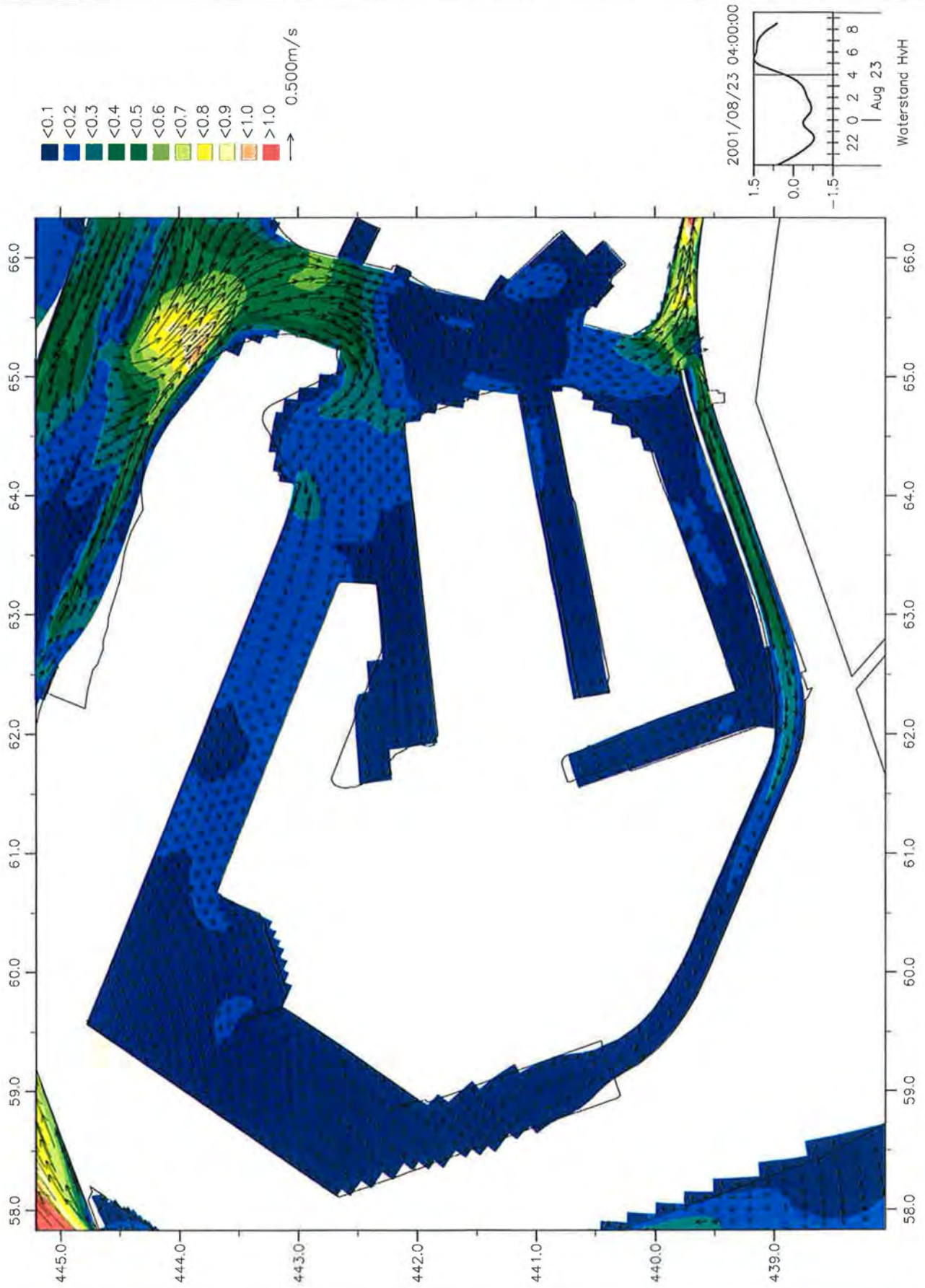
Delft3D-FLOW, v3.10.10.00

Gemeentewerken Rotterdam

Run Ah2

Fig. 2-2d





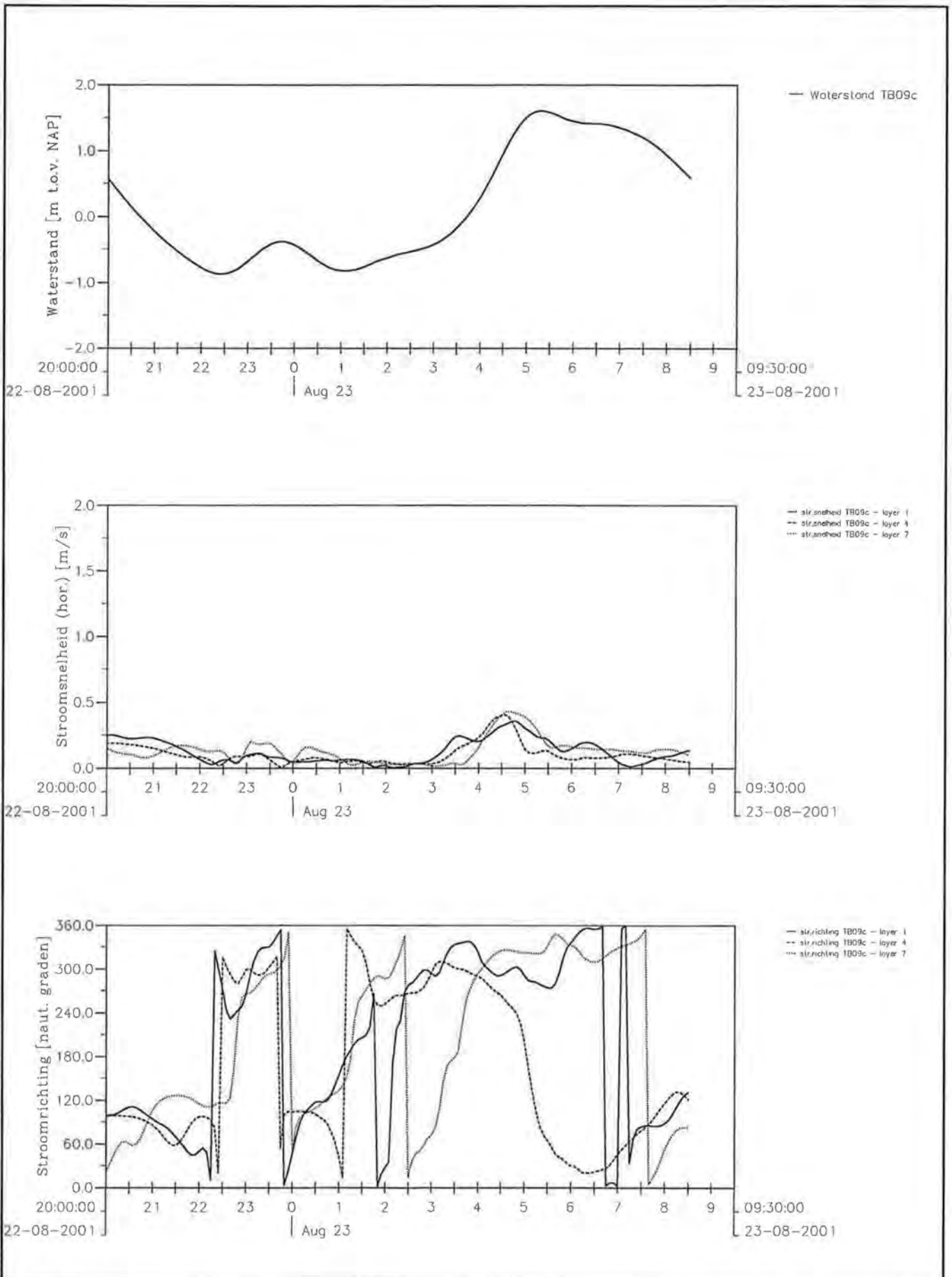
Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal (gesloten opening)  
 Snelheidsvectoren en snelheidsmagnitude  
 Dieptegemiddeld 0-5m

Delft3D-FLOW, v3.10.10.00

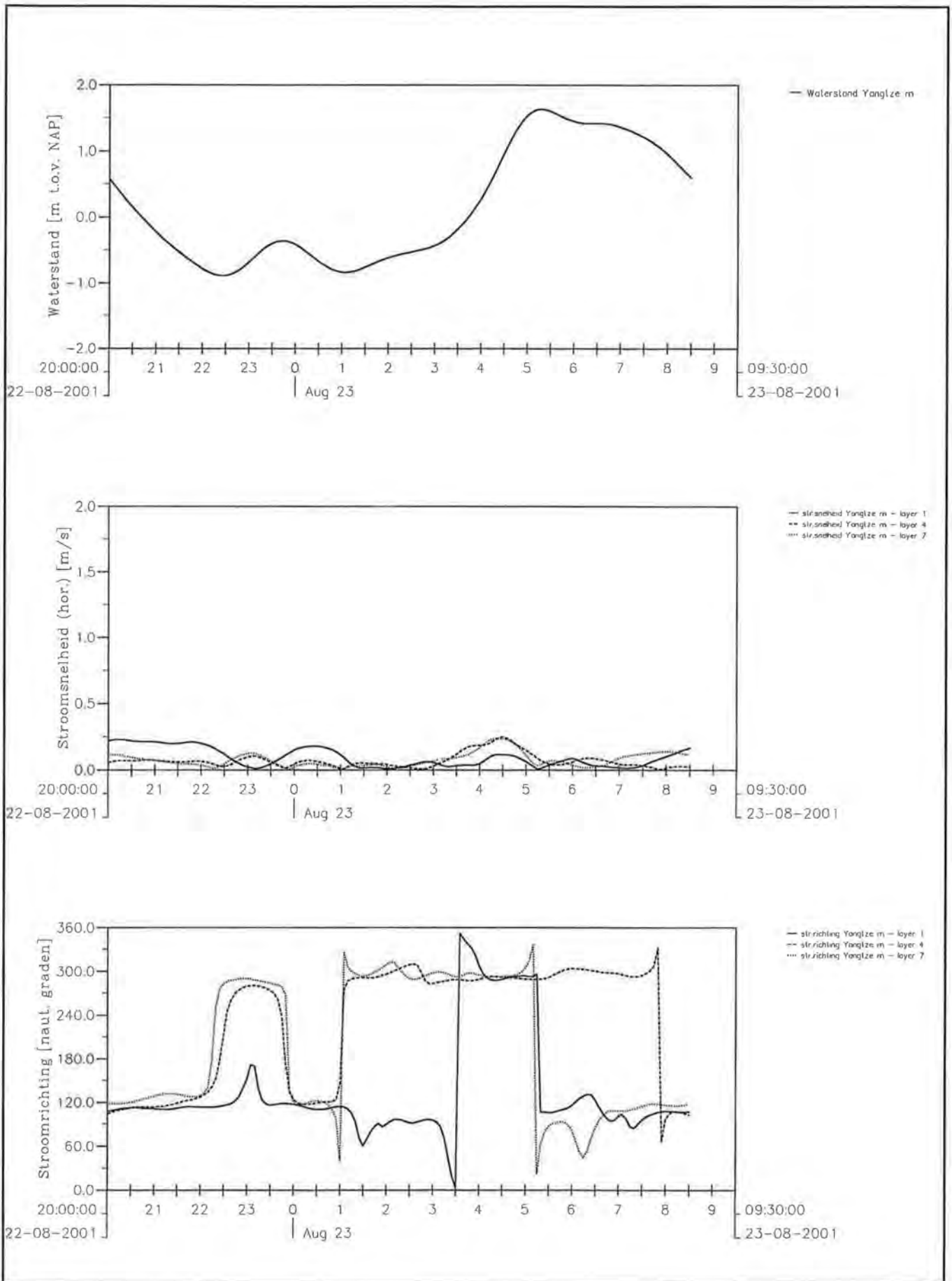
Gemeentewerken Rotterdam

Run Ah2

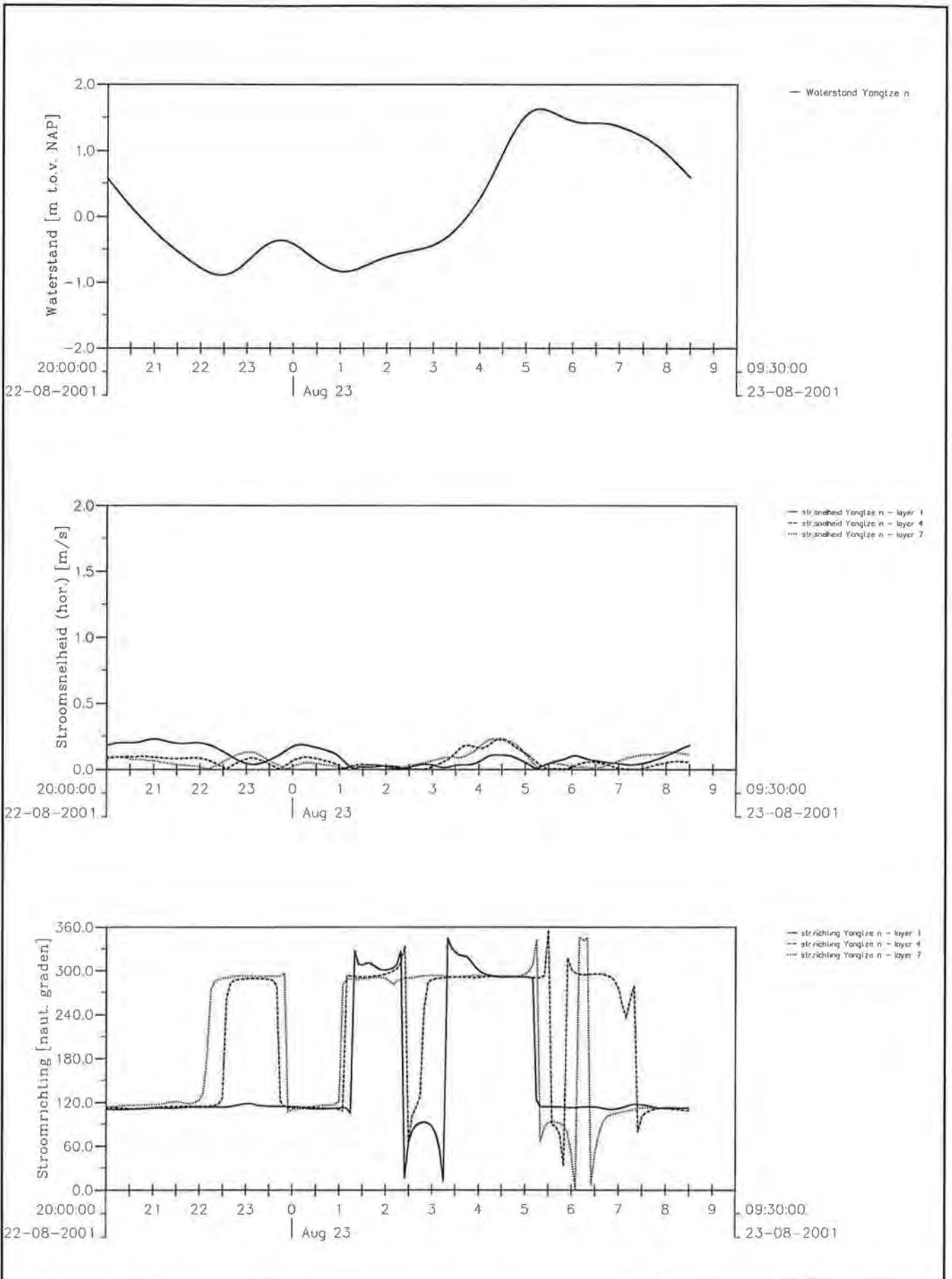
Fig. 2-2e



Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal (gesloten opening) Waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting Meetpunt 6 (ingang Europahaven)	opening)	
	Delft3D-FLOW, v3.10.10.00	
Gemeentewerken Rotterdam	Run Ah2	Fig. 2-3a

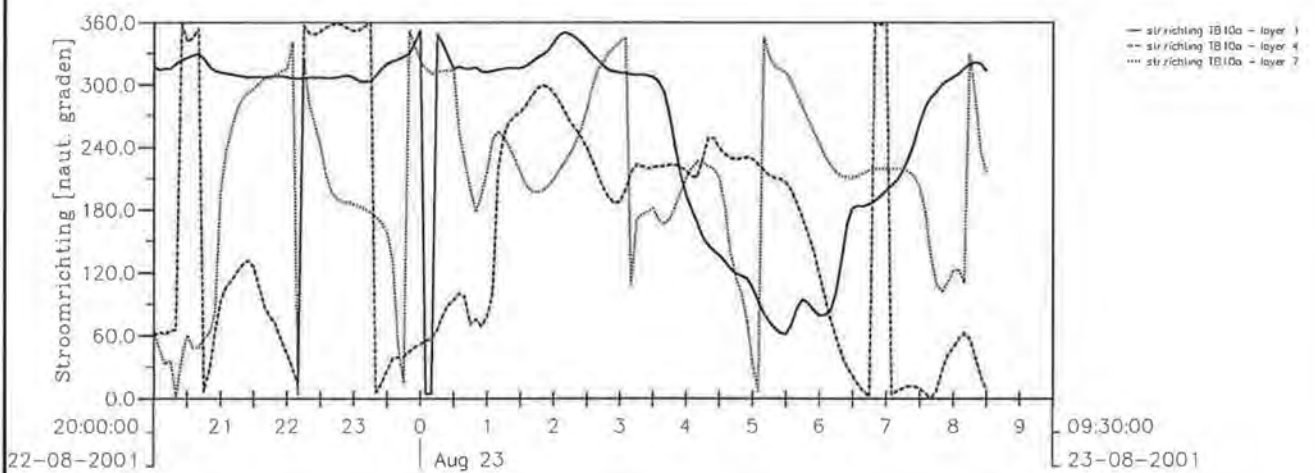
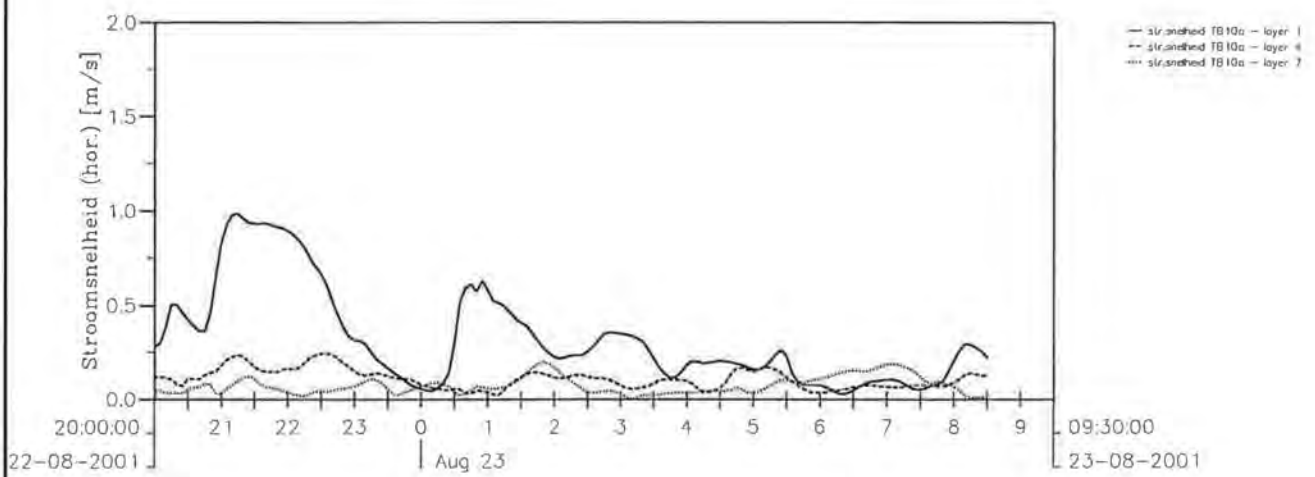
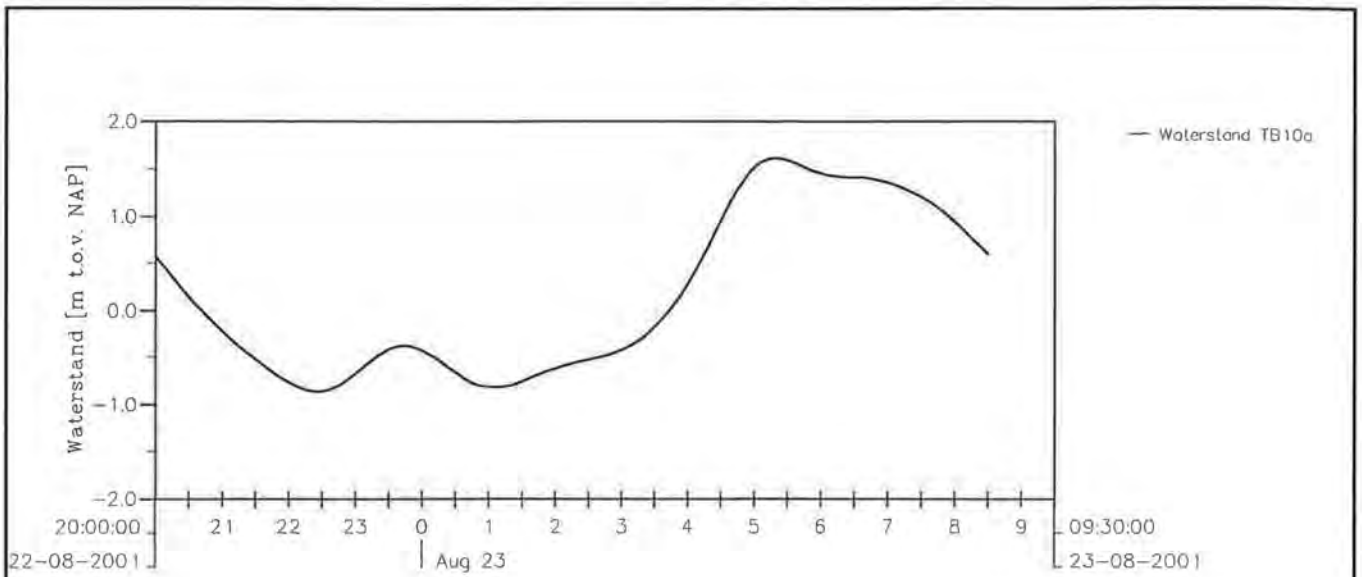


Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal (gesloten opening) Waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting Meetpunt 7 (Yangtzehaven midden)	
	Delft3D-FLOW, v3.10.10.00
Gemeentewerken Rotterdam	Run Ah2
	Fig. 2-3b

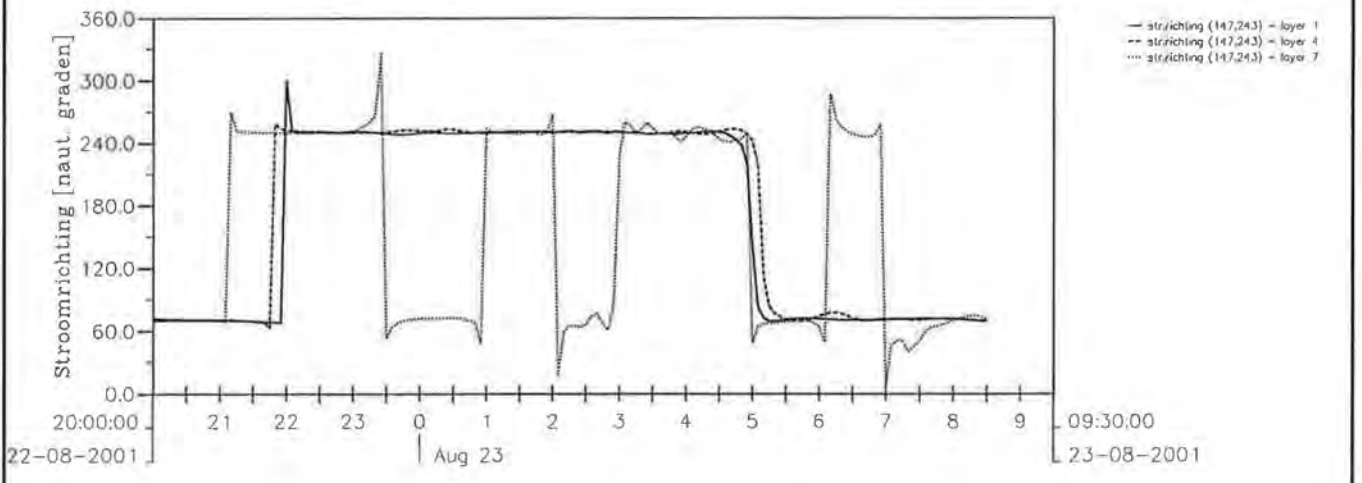
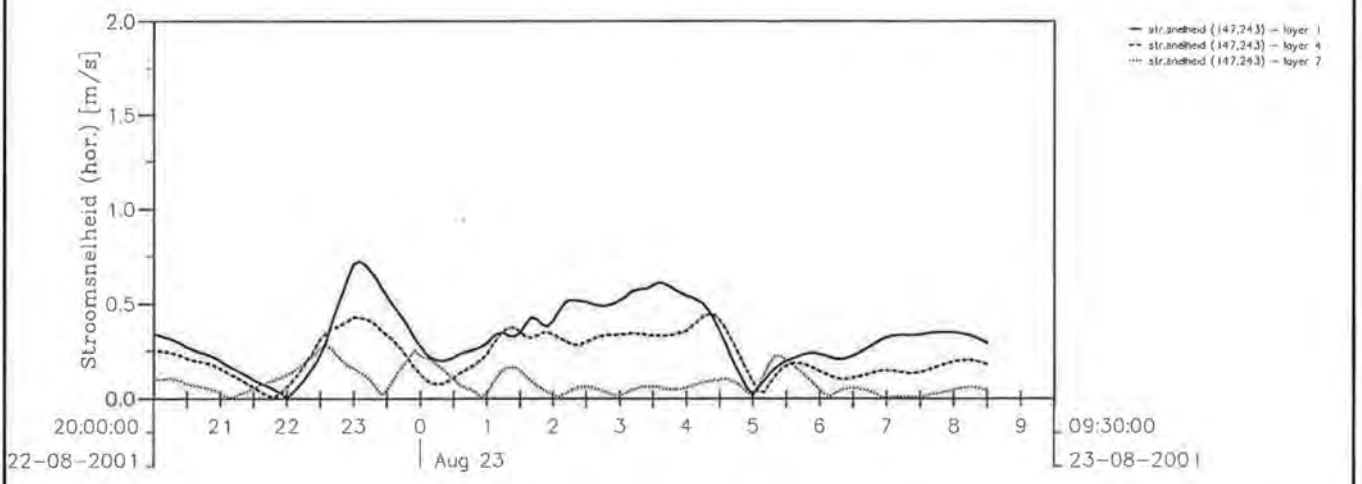
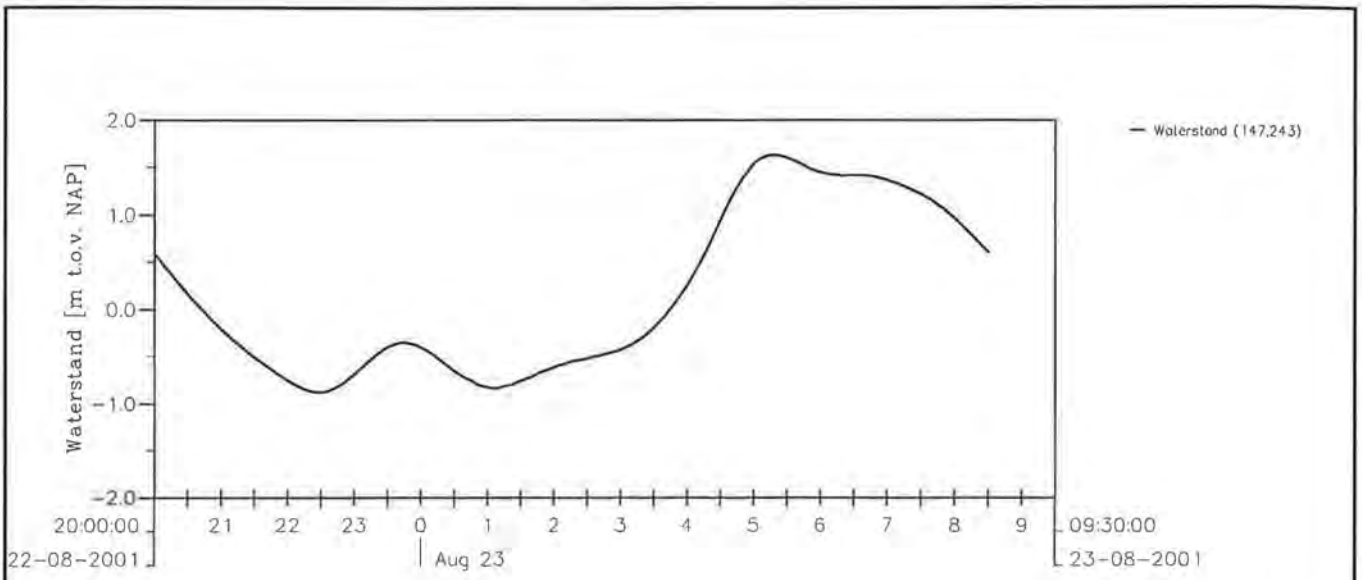


Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal (gesloten opening)		
Waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting		
Meetpunt 8 (Yangtzehaven noord)		Delft3D-FLOW, v3.10.10.00
Gemeentewerken Rotterdam	Run Ah2	Fig. 2-3c

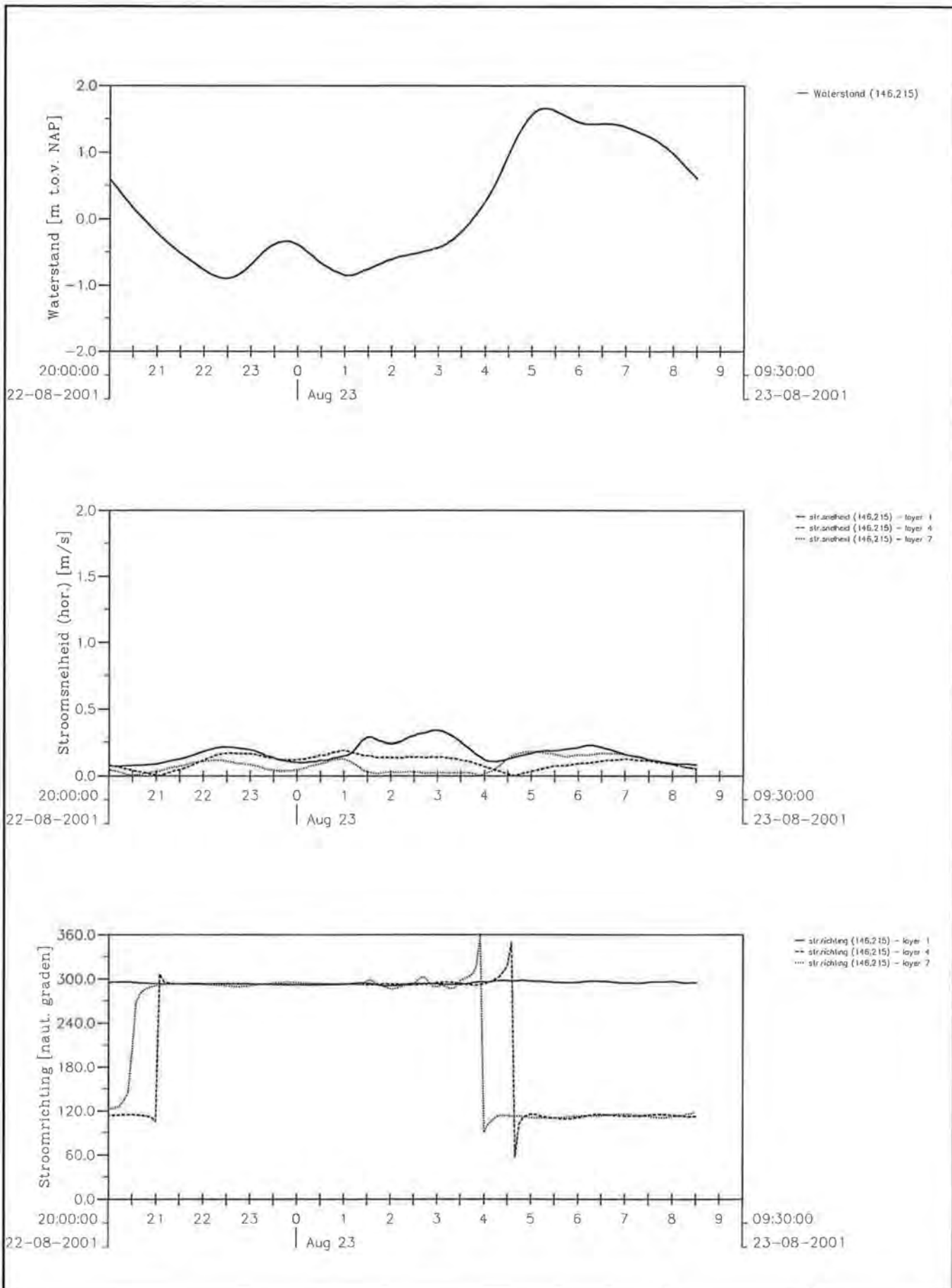




Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal (gesloten opening) Waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting Meetpunt 9 (voor Beergat)		
		Delft3D-FLOW, v3.10.10.00
Gemeentewerken Rotterdam	Run Ah2	Fig. 2-3d



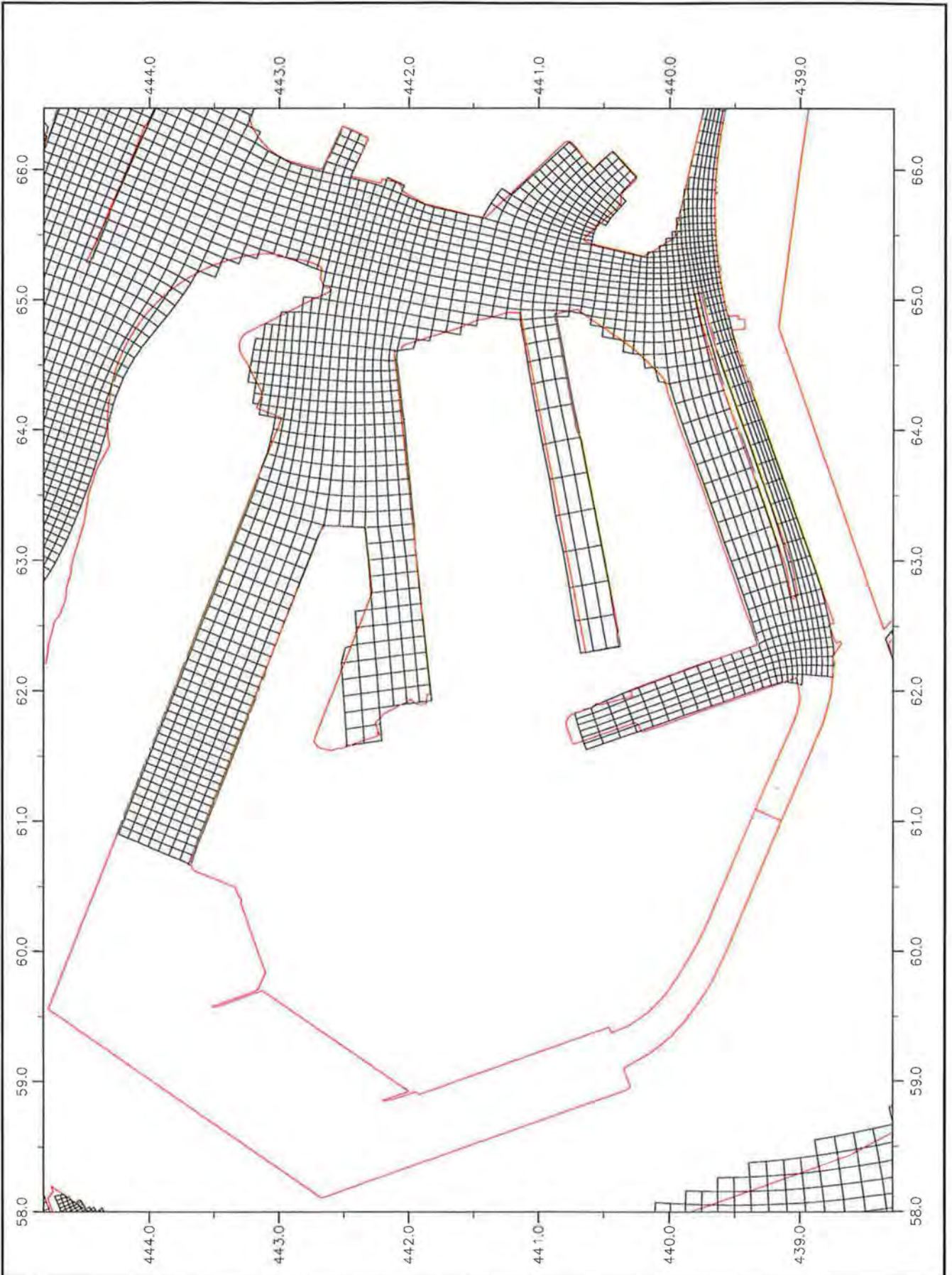
Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal (gesloten opening) Waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting Meetpunt 10 (in Hartelkanaal, ten zuiden van Beerdam)	
	Delft3D-FLOW, v3.10.10.00
Gemeentewerken Rotterdam	Run Ah2 <span style="float: right;">Fig. 2-3e</span>



Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal (gesloten opening) Waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting Meetpunt 12 (in verlengd Hartelkanaal)		
		Delft3D-FLOW, v3.10.10.00
Gemeentewerken Rotterdam	Run Ah2	Fig. 2-3f

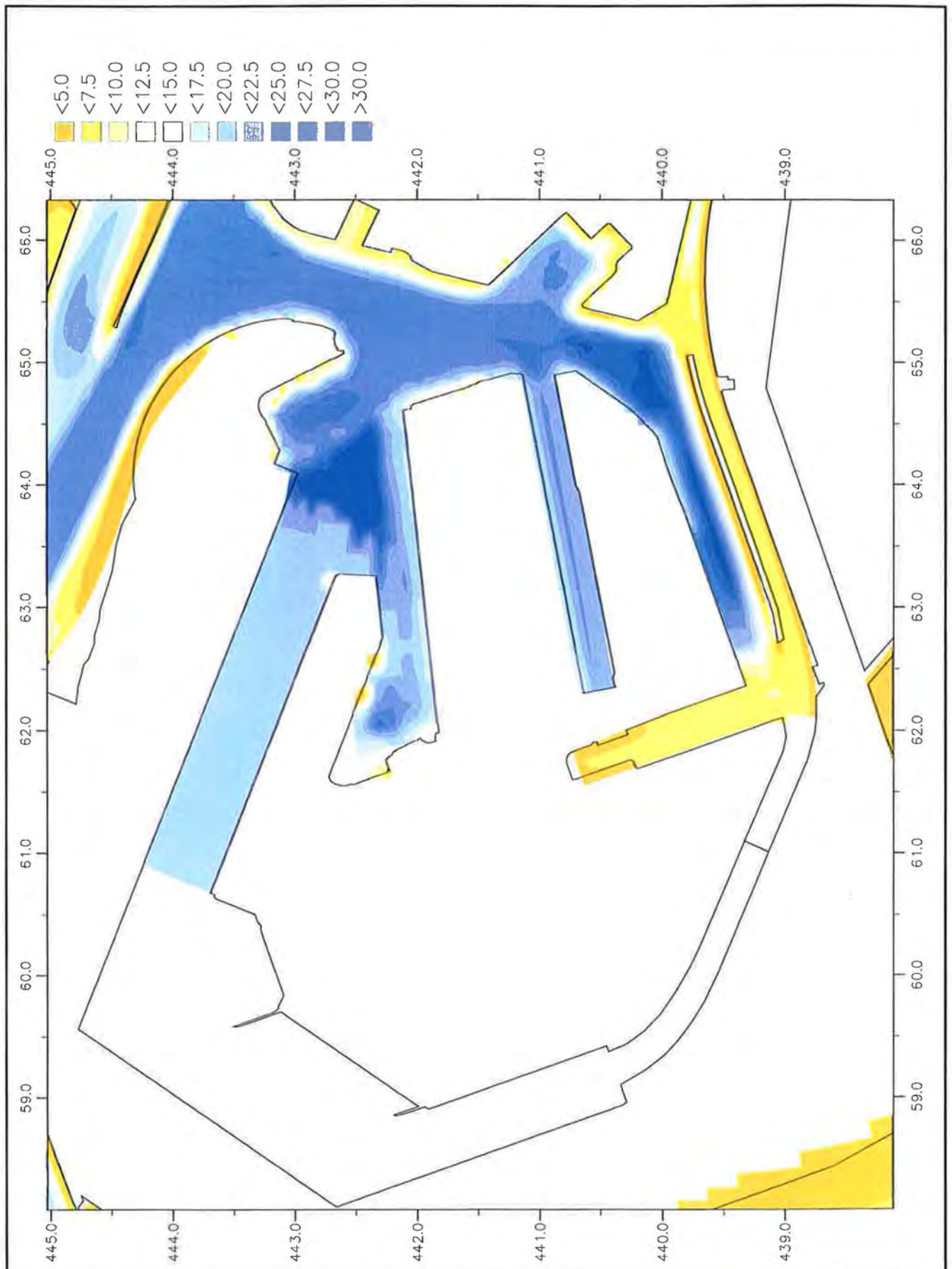






Huidige situatie (grid van Contour 0 met Harteldoorsteek)  
 Rooster detail

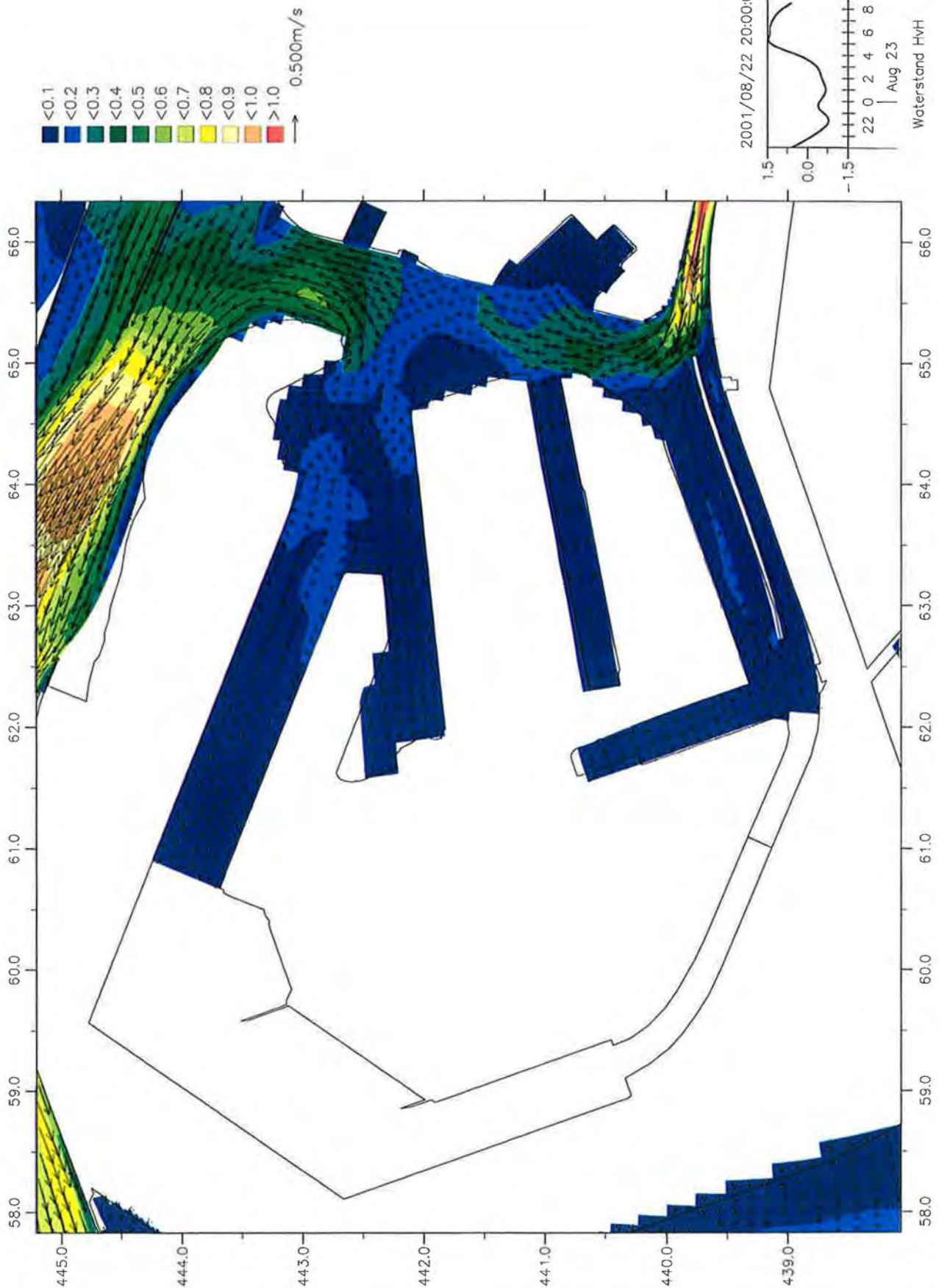
Delft3D-FLOW, v3.10.10.00



Huidige situatie (grid van Contour 0 met Harteldoorsteek)  
 Diepte t.o.v. NAP [m]  
 Detail

Delft3D-FLOW, v3.10.10.00





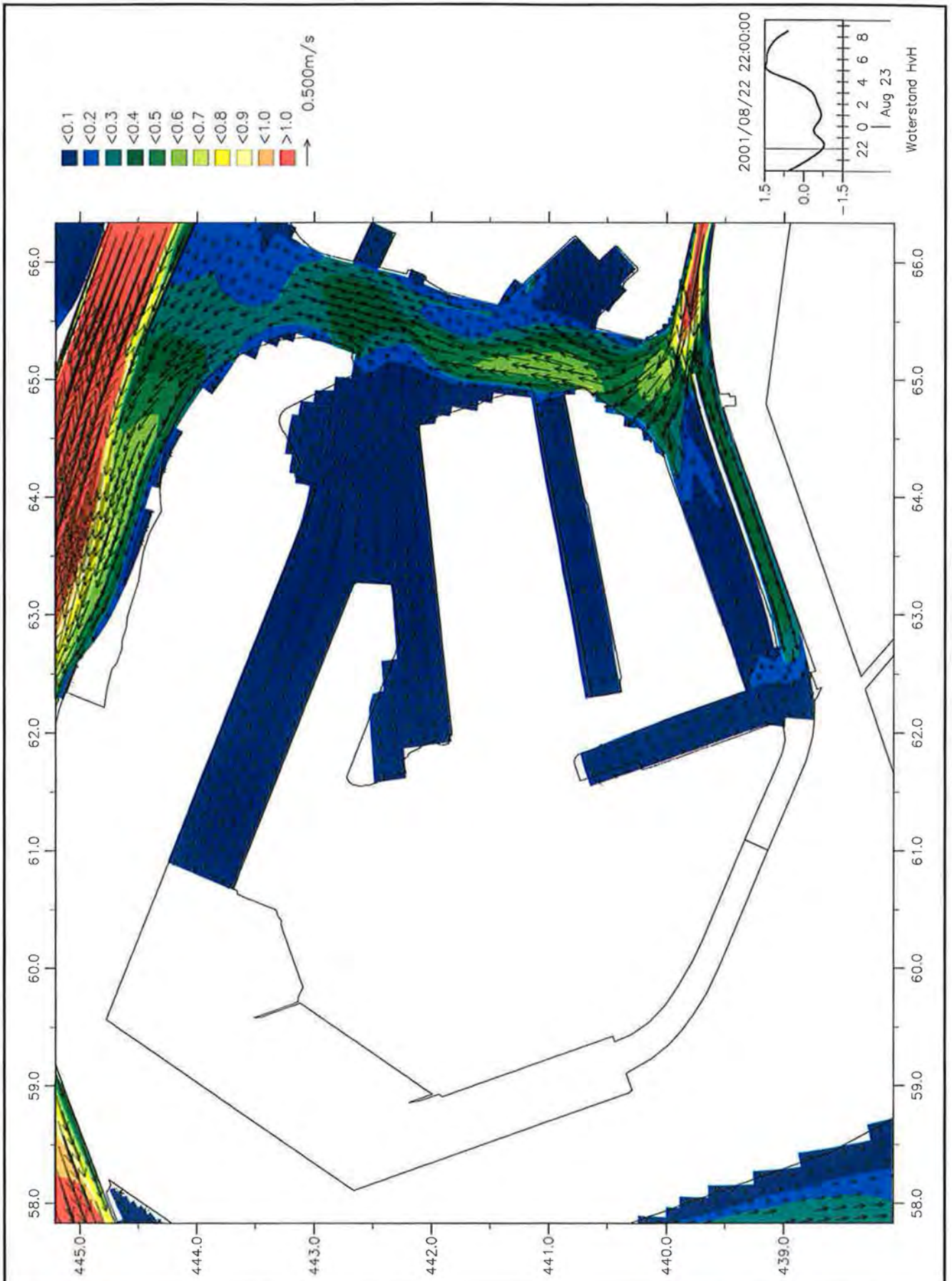
Huidige situatie (grid van Contour 0 met Harteloorsteek)  
 Snelheidsvectoren en snelheidsmagnitude  
 Dieptegemiddeld 0-5m

Delft3D-FLOW, v3.10.10.00

Gemeentewerken Rotterdam

Run hs2

Fig. 3-2a



Huidige situatie (grid van Contour 0 met Harteldoorsteek)  
 Snelheidsvectoren en snelheidsmagnitude  
 Dieptegemiddeld 0-5m

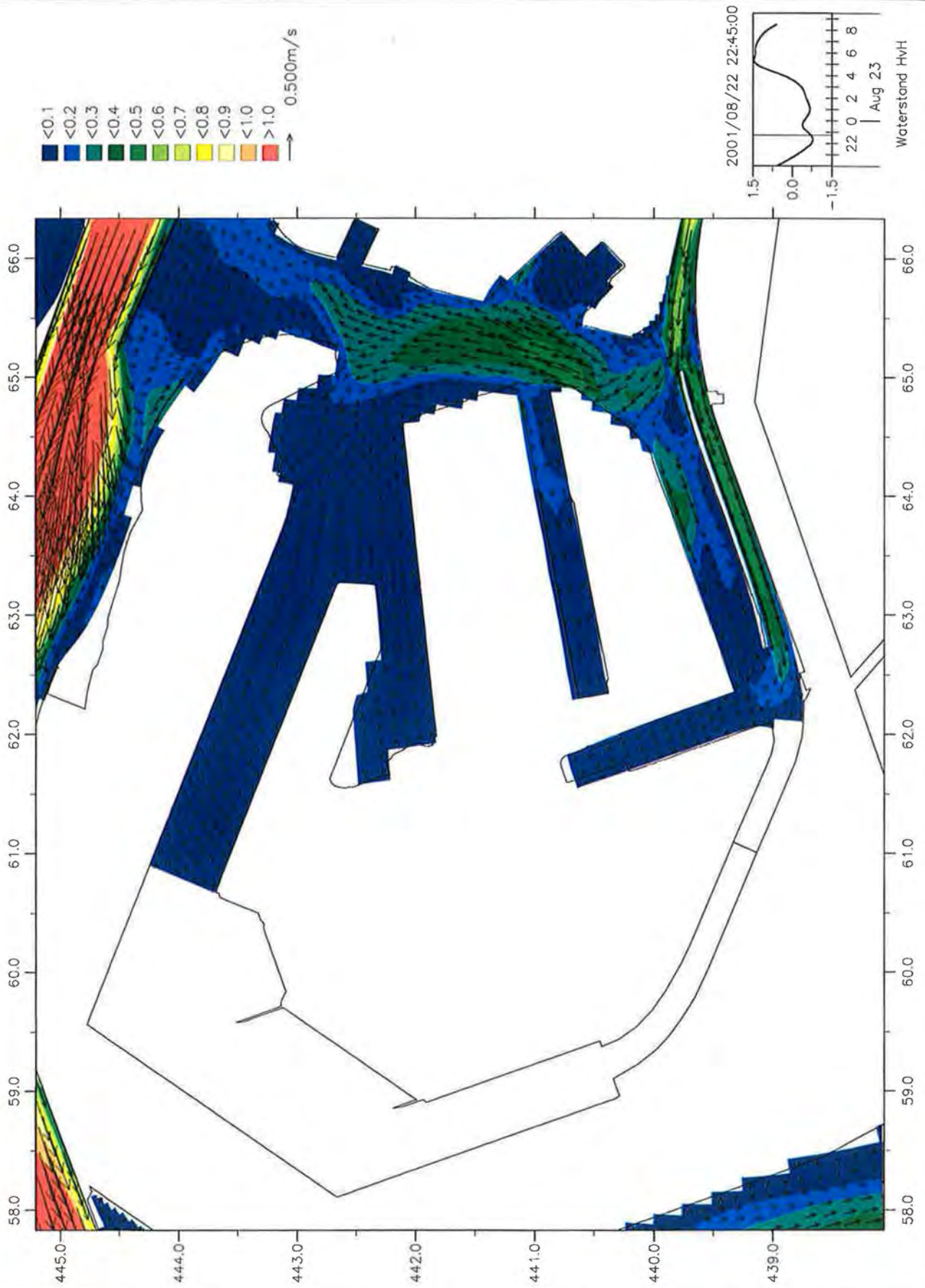
Delft3D-FLOW, v3.10.1D.00

Gemeentewerken Rotterdam

Run hs2

Fig. 3-2b





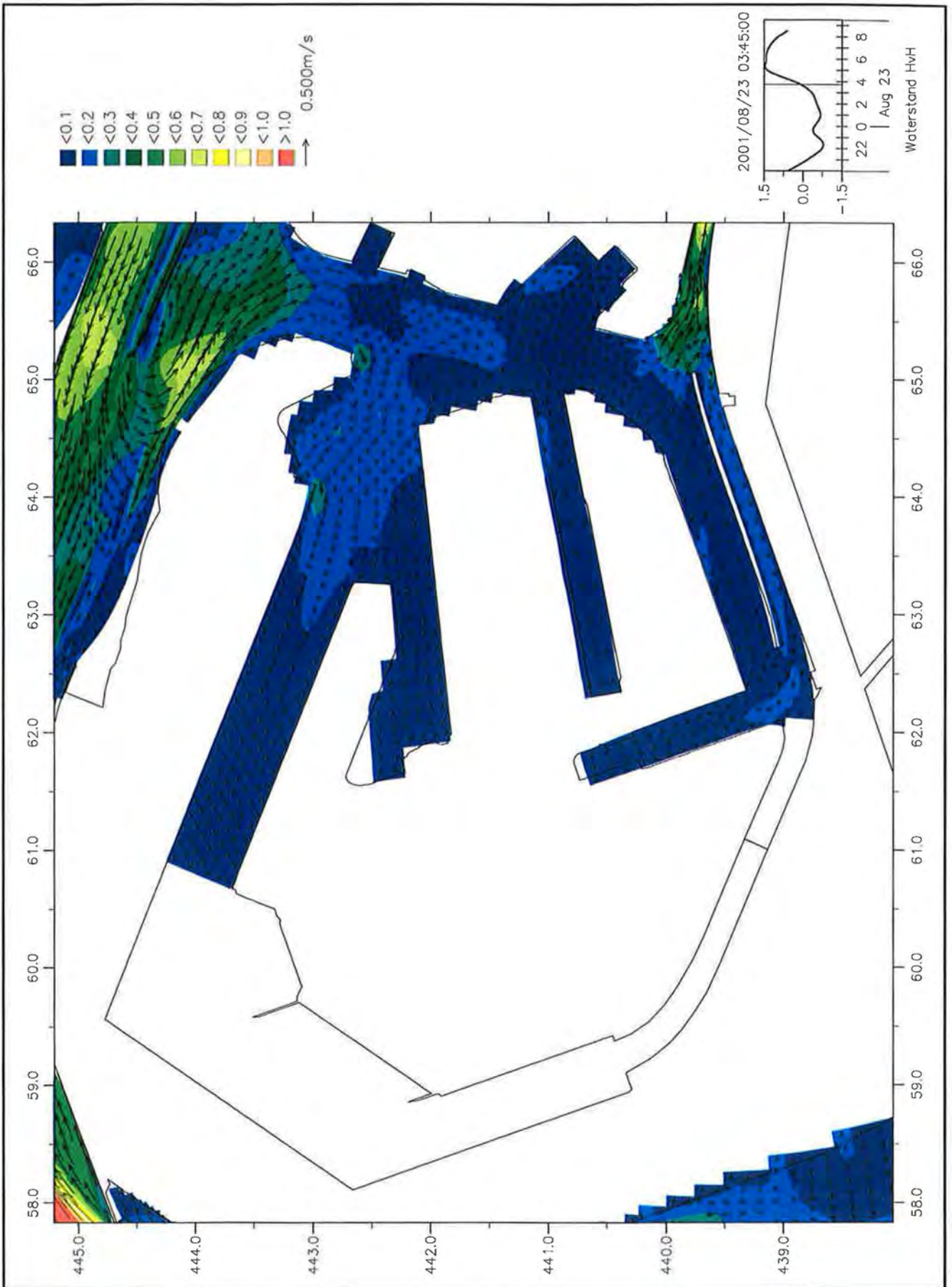
Huidige situatie (grid van Contour 0 met Harteldoorsteek)  
 Snelheidsvectoren en snelheidsmagnitude  
 Dieptegemiddeld 0-5m

Delft3D-FLOW, v3.10.10.00

Gemeentewerken Rotterdam

Run hs2

Fig. 3-2c



Huidige situatie (grid van Contour 0 met Harteldoorsteek)  
 Snelheidsvectoren en snelheidsmagnitude  
 Dieptegemiddeld 0-5m

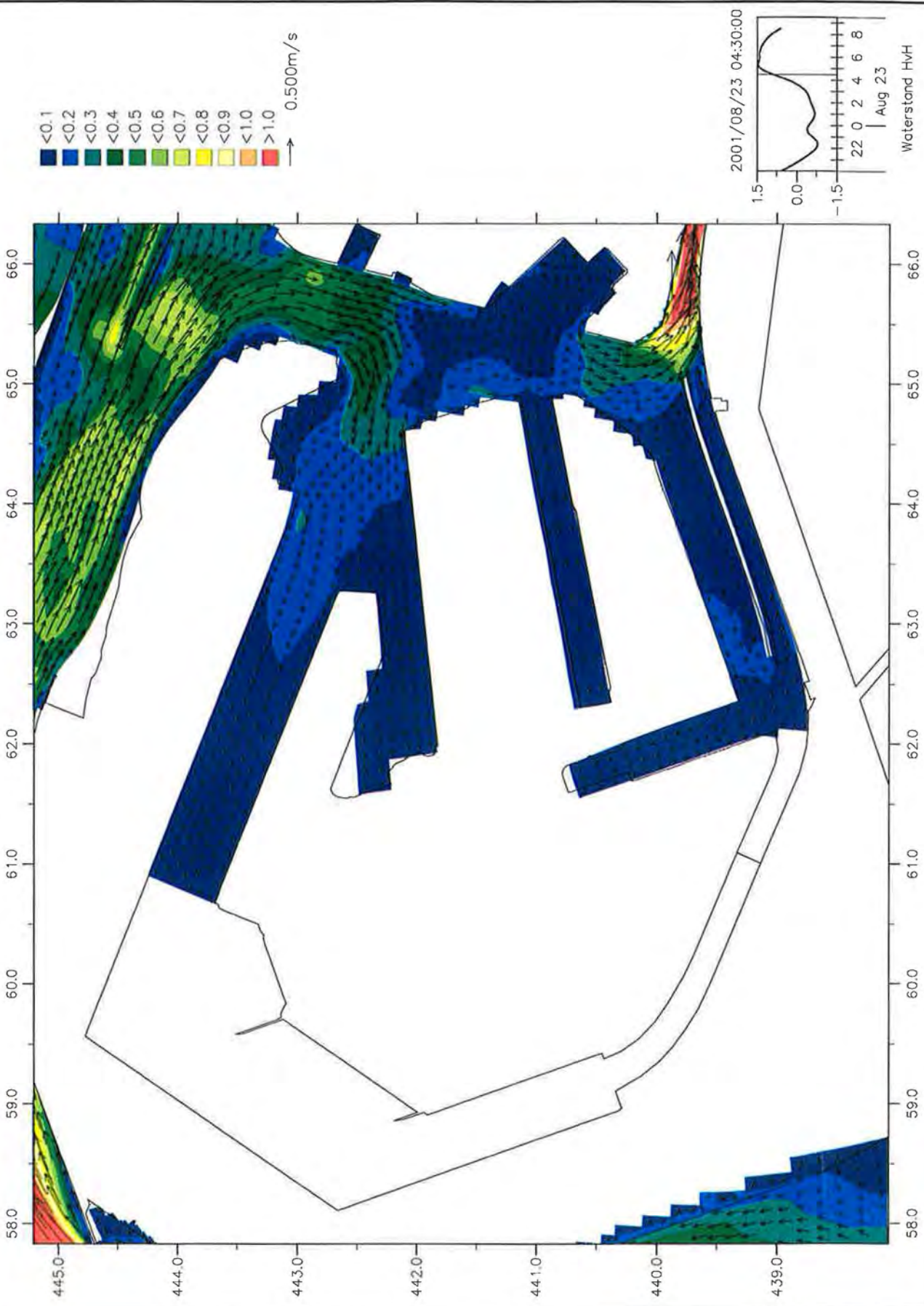
Delft3D-FLOW, v3.10.10.00

Gemeentewerken Rotterdam

Run hs2

Fig. 3-2d





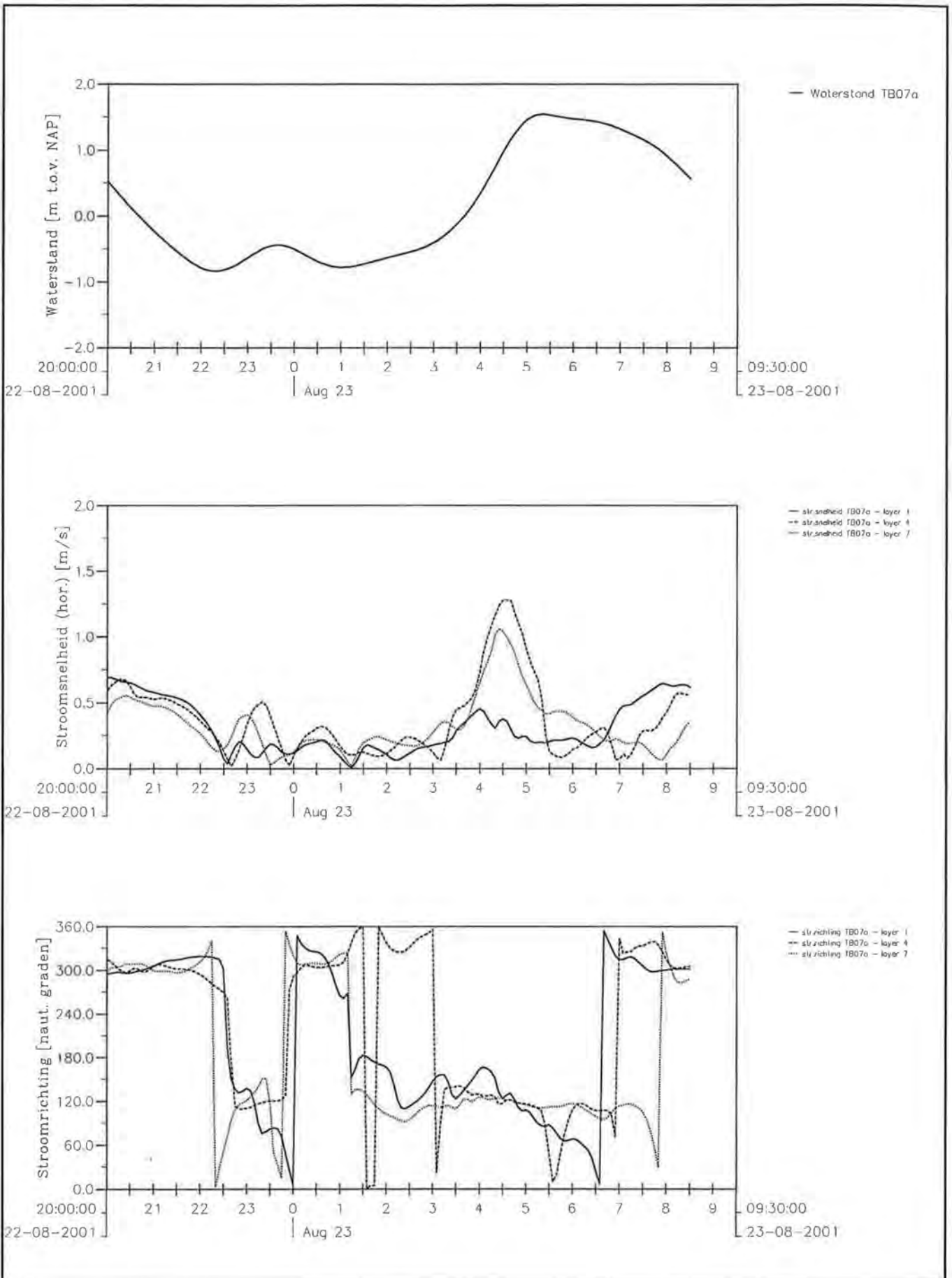
Huidige situatie (grid van Contour 0 met Harteldoorsteek)  
 Snelheidsvectoren en snelheidsmagnitude  
 Dieptegemiddeld 0-5m

Delft3D-FLOW, v3.10.10.00

Gemeentewerken Rotterdam

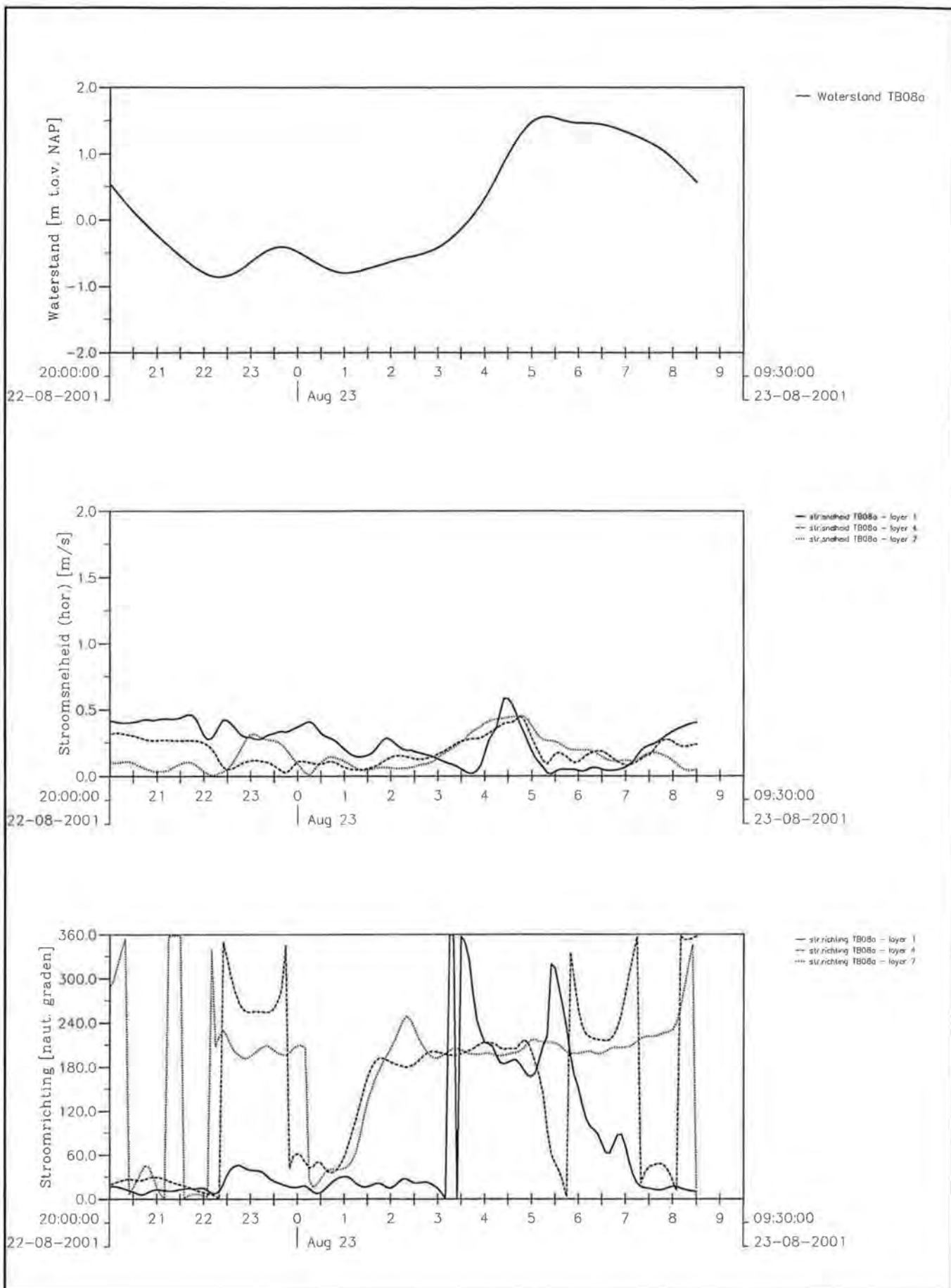
Run hs2

Fig. 3-2e



Huidige situatie (grid van Contour 0 met Harteldoorsteek) Waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting Meetpunt 4 (ingang Calandkanaal)		
	Delft3D-FLOW, v3.10.10.00	
Gemeentewerken Rotterdam	Run hs2	Fig. 3-3a





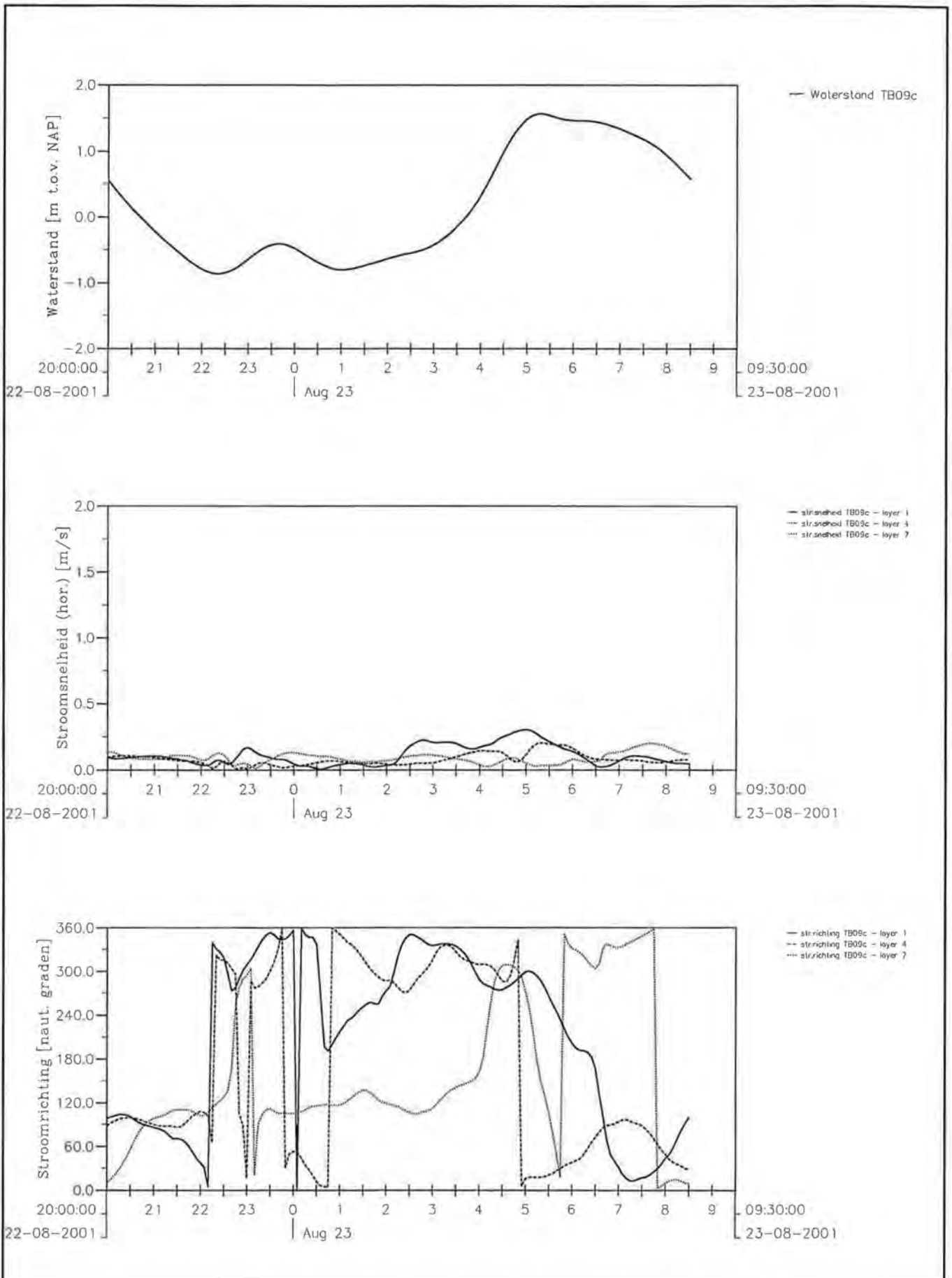
Huidige situatie (grid van Contour 0 met Harteldoorsteek)  
 Waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting  
 Meetpunt 5 (ingang Beerkanaal)

Delft3D-FLOW, v3.10.10.00

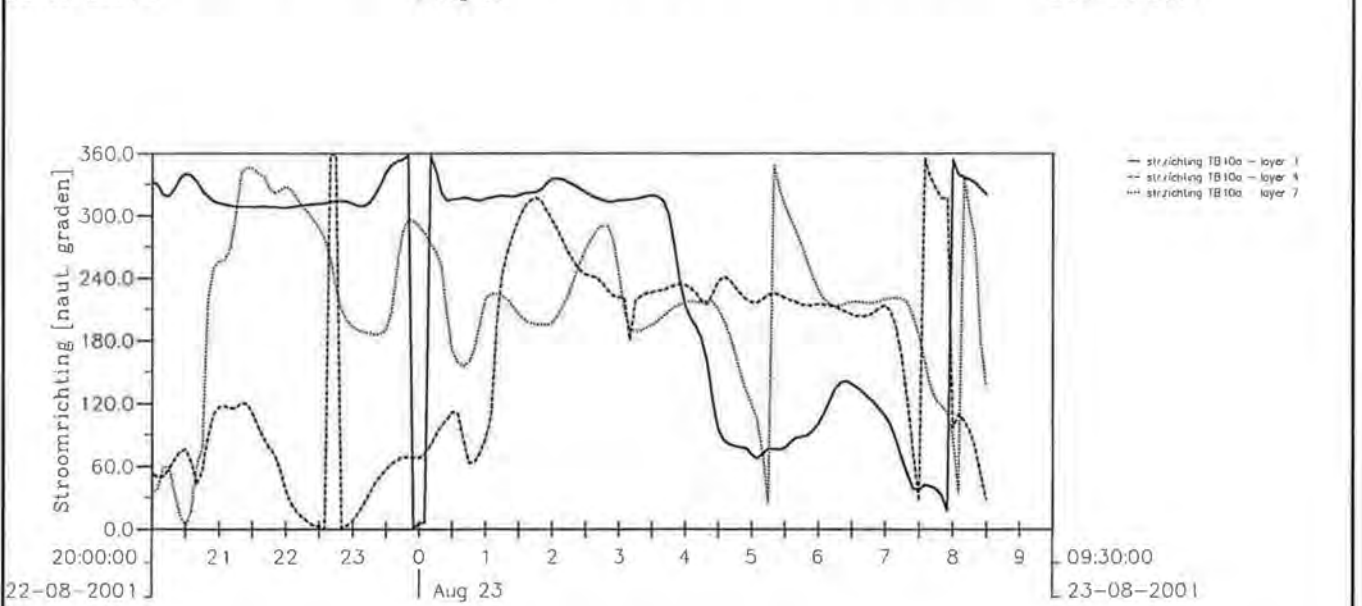
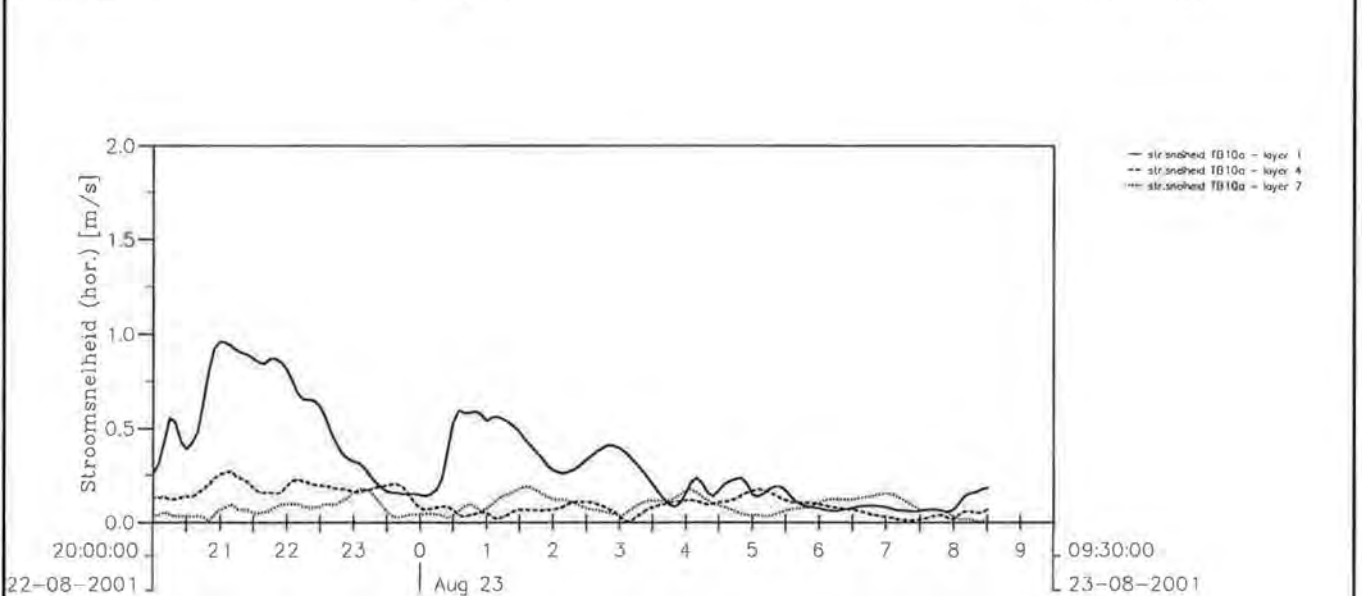
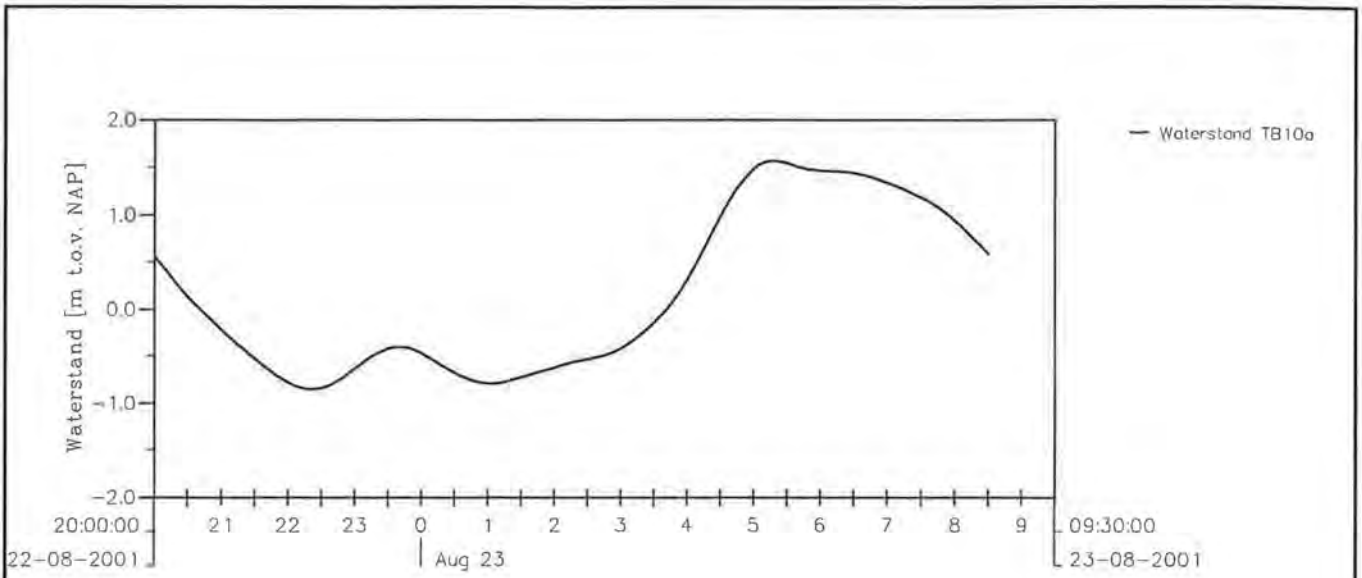
Gemeentewerken Rotterdam

Run hs2

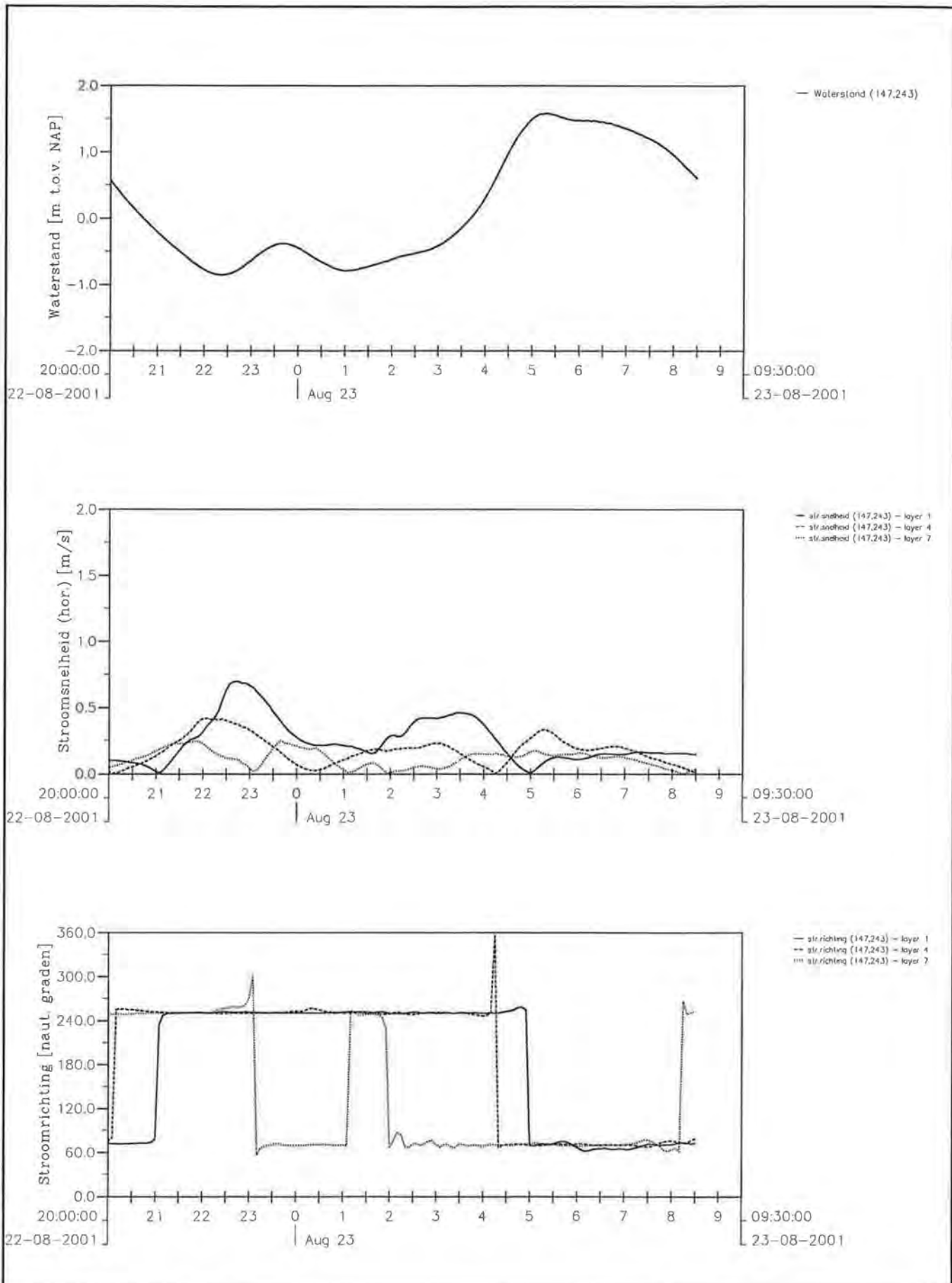
Fig. 3-3b



Huidige situatie (grid van Contour 0 met Harteldoorsteek) Waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting Meetpunt 6 (ingang Europahaven)		
	Delft3D-FLOW, v3.10.10.00	
Gemeentewerken Rotterdam	Run hs2	Fig. 3-3c

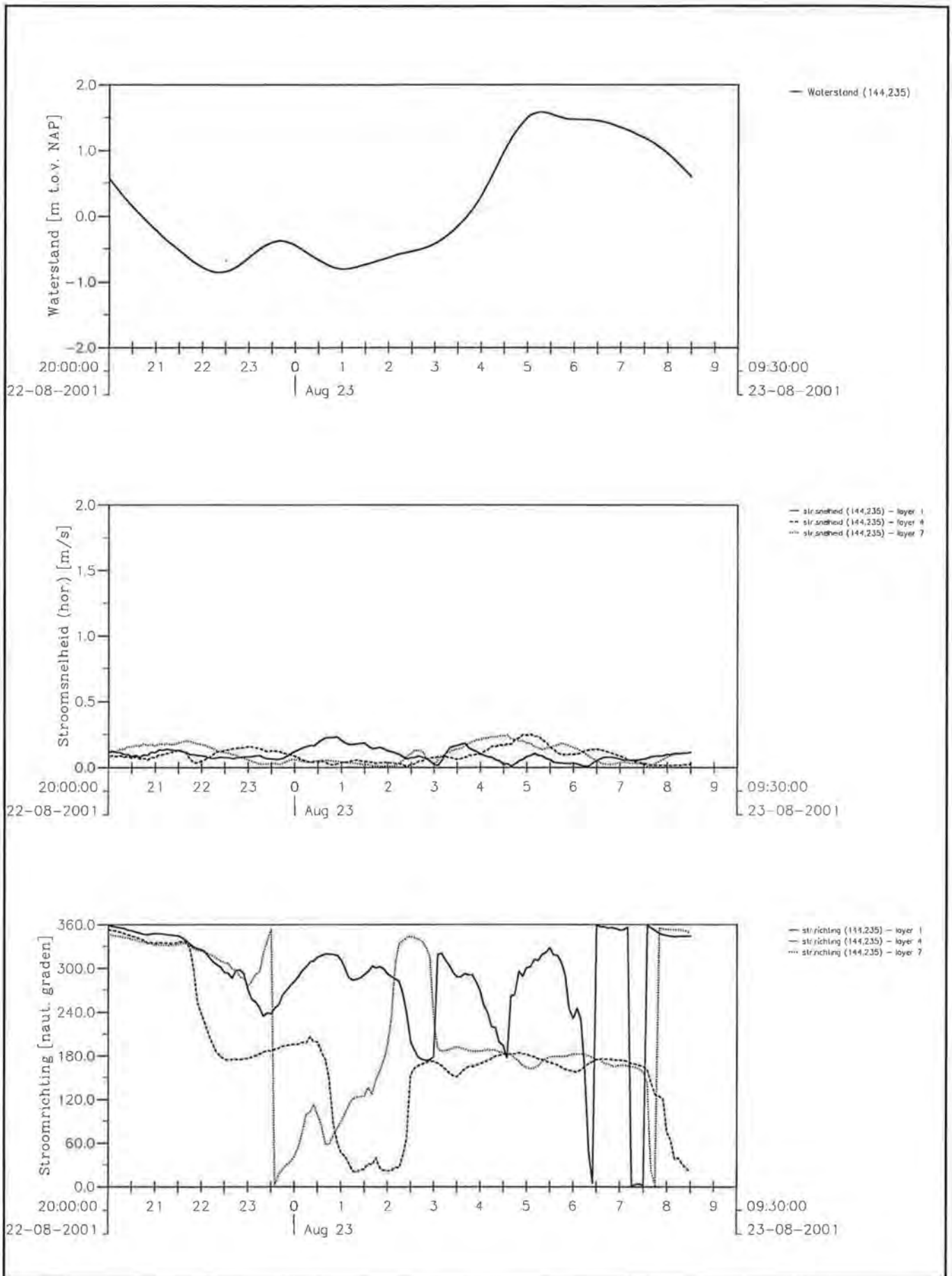


Huidige situatie (grid van Contour 0 met Harteldoorsteek) Waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting Meetpunt 9 (voor Beergat)		
	Delft3D-FLOW, v3.10.10.00	
Gemeentewerken Rotterdam	Run hs2	Fig. 3-3d

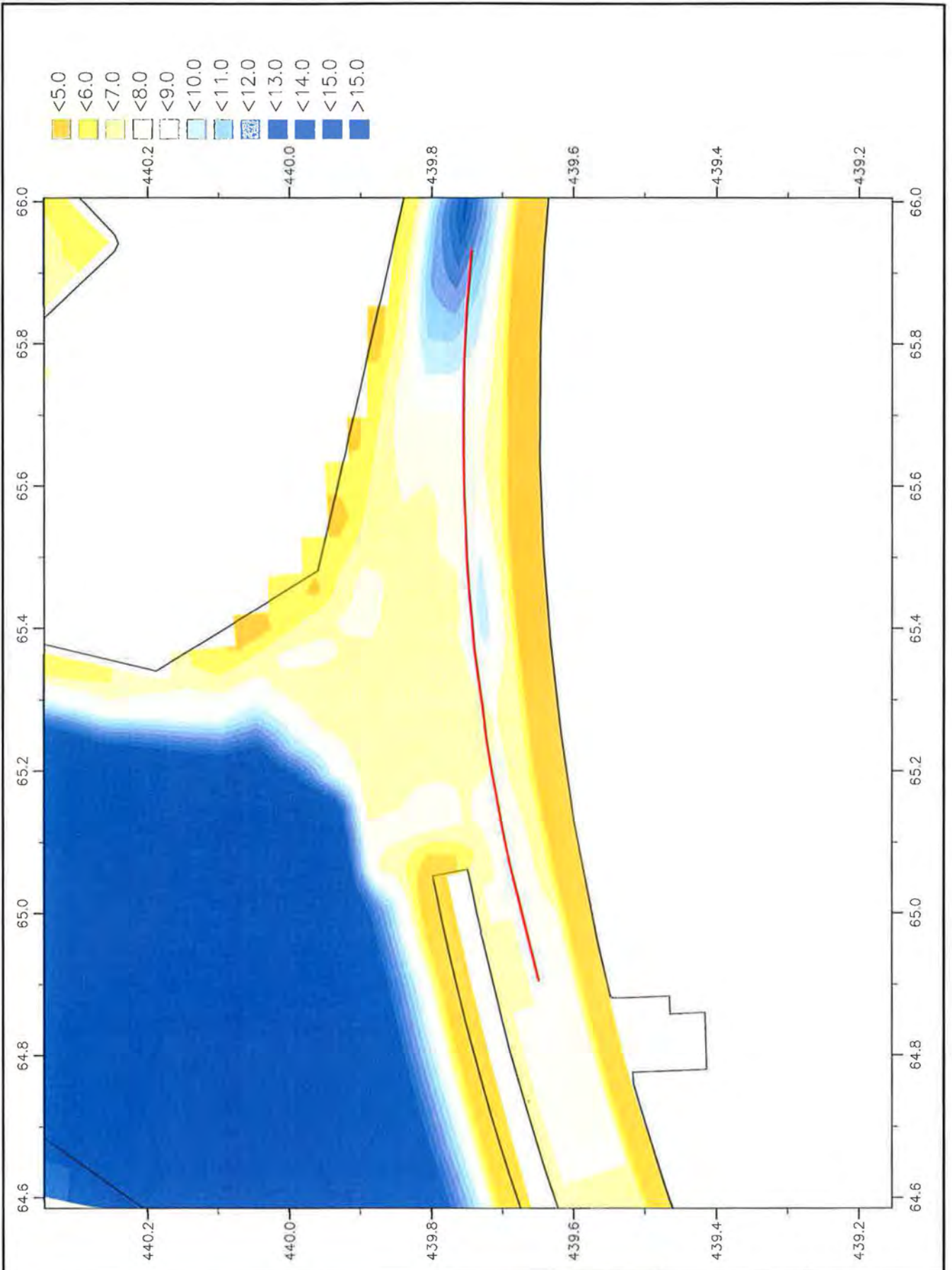


Huidige situatie (grid van Contour 0 met Harteldoorsteek) Waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting Meetpunt 10 (in Hartelkanaal, ten zuiden van Beerdam)		
	Delft3D-FLOW, v3.10.10.00	
Gemeentewerken Rotterdam	Run hs2	Fig. 3-3e





Huidige situatie (grid van Contour 0 met Harteldoorsteek) Waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting Meetpunt 11 (voor westpunt Beerdam)		
	Delft3D-FLOW, v3.10.10.00	
Gemeentewerken Rotterdam	Run hs2	Fig. 3-3f

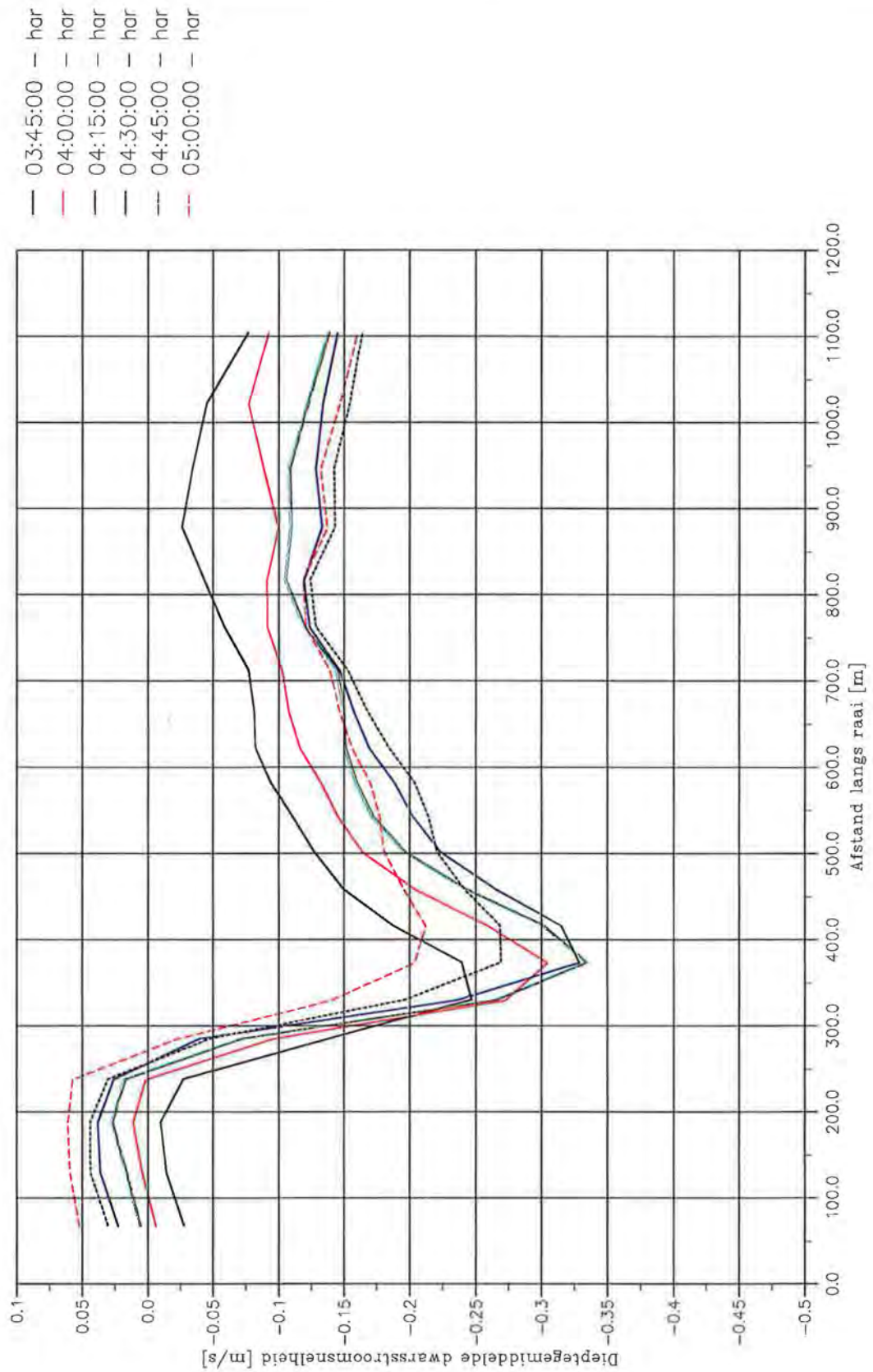


Huidige situatie (grid van Contour 0 met Harteldoorsteek)  
 Diepte t.o.v. NAP [m]  
 Raai ten zuiden van Beergat

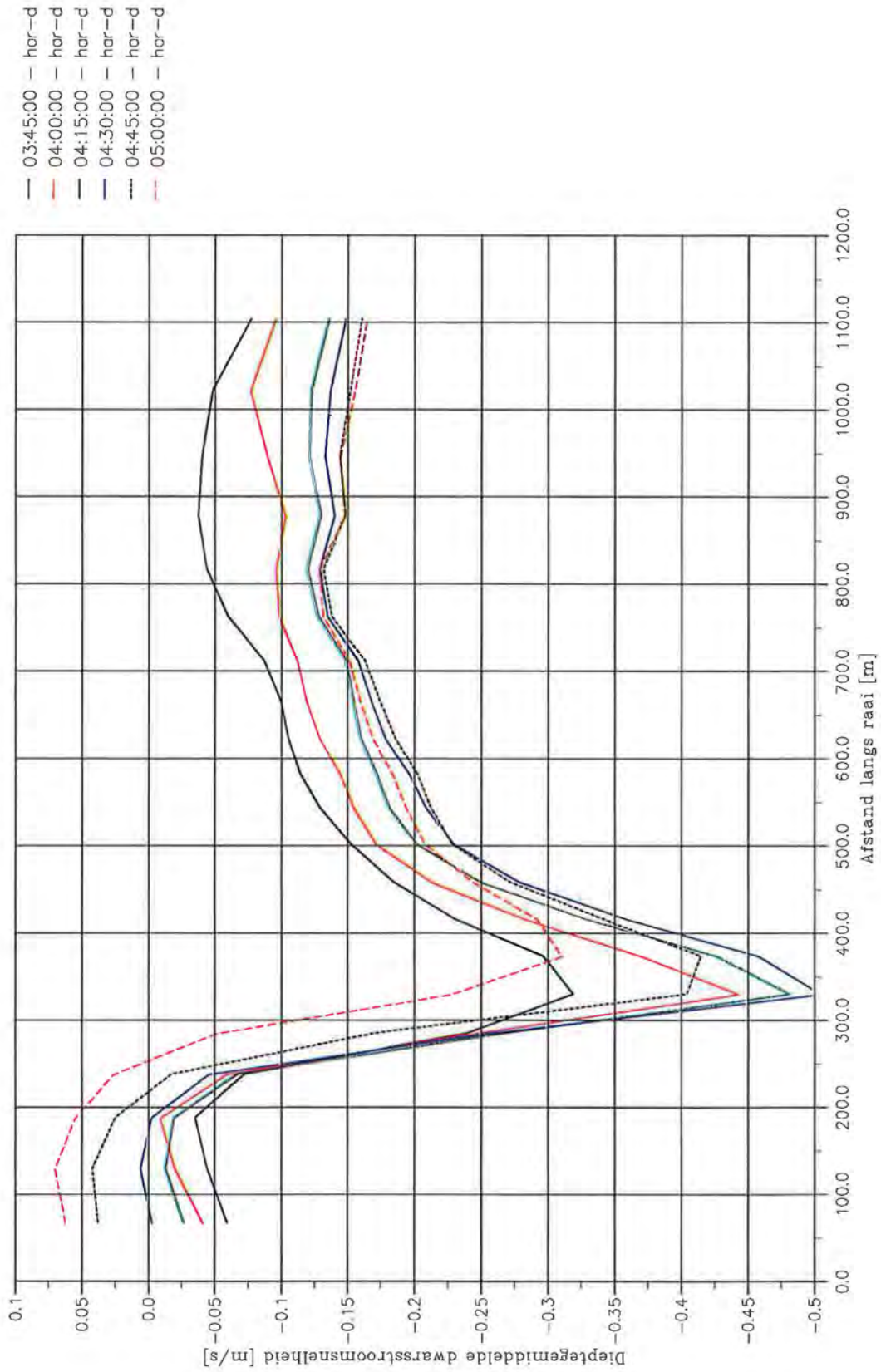
Delft3D-FLOW, v3.10.10.00

Gemeentewerken Rotterdam

Fig. 3-4a

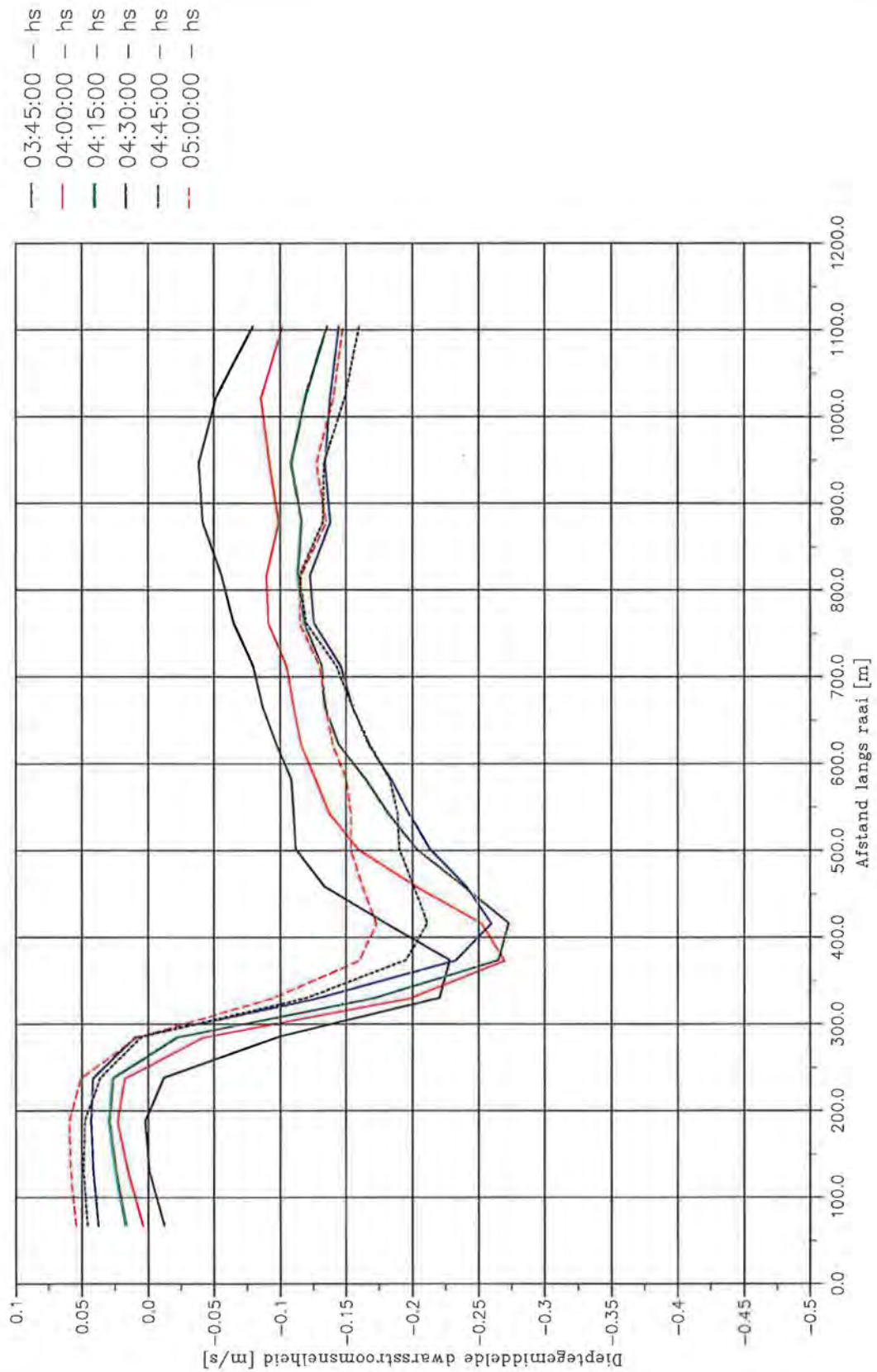


Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal  
 Raai in Hartelkanaal ten zuiden van Beergat  
 Dwarsstroomsnelheid loodrecht op raai [m/s]



Doorsteekvariant, contour 0, met verlengd Hartelkanaal (gesloten opening)  
 Raai in Hartelkanaal ten zuiden van Beergat  
 Dwarsstroomsnelheid loodrecht op raai [m/s]





Huidige situatie (grid van Contour 0 met Harteldoorsteek)  
 Raai in Hartelkanaal ten zuiden van Beergat  
 Dwarsstroomsnelheid loodrecht op raai [m/s]