

**Het 3D-KUSTSTROOK-model
gebaseerd op
TRIWAQ-in-SIMONA
(Gevoeligheidsonderzoek)**

Rapport DGW 93.044

Auteur	E.V.L. Kuijper
Bijdragen	R.P. van Dijk R. Plieger M. Soerdjballi

december 1993

1	Samenvatting	2
2	Lijst van bijlagen	3
2.1	Animaties	5
2.2	Lijst van figuren	5
3	Gebruikte symbolen	6
4	Inleiding	6
5	Wiskundige formulering	10
5.1	Beschrijving van het horizontale rooster	10
5.2	Beschrijving van het verticale rooster	10
5.3	Modelvergelijkingen	12
5.4	Bodemschuifspanning	14
5.5	Windschuifspanning	15
5.6	Turbulentiemodellen	16
6	Opzet van het KUSTSTROOK-model	18
6.1	Begrenzing van het model	19
6.2	Horizontaal rooster	19
6.3	Bodemschematisatie	19
6.4	Randvoorwaarden	19
6.4.1	Tijdreeksen	20
6.4.2	Harmonische getijcomponenten	20
6.5	Zoetwaterbronnen	20
7	Gevoeligheidsonderzoek met een deelmodel van het KUSTSTROOK-model	21
7.1	Modelparameters	21
7.2	Simulatie-periode en meetgegevens	22
7.3	Verticaal rooster	22
7.4	Initiële saliniteitsveld	22
7.5	Bodemschuifspanning	23
7.6	Zoetwaterbronnen	23
7.7	Turbulentiemodel	23
7.8	Tijdsintegratie in de verticaal	24
7.9	Rekentijden (CPU)	24
7.10	Resultaten	24
7.10.1	Bijlagen	25
7.10.2	Animaties	26
8	Conclusies	28
9	Aanbevelingen	29
10	Literatuurlijst	30

1 Samenvatting

De Hoofddirectie van Rijkswaterstaat en het Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ (voorheen Dienst Getijdewateren) zijn overeengekomen dat RIKZ een functionerend driedimensionaal waterbewegingsmodel van de Nederlandse kustzone en estuaria zal opleveren.

Het model zal als adviserings,- en onderzoeksinstrument worden toegepast voor de bestudering van autonome ontwikkelingen en de effecten van menselijke ingrepen op de Nederlandse kustzone en estuaria.

Met behulp van driedimensionale modellen kunnen snelheden langs de bodem op realistische wijze weergegeven worden, van belang voor de weergave van morfologische processen en het transport van slib.

Ook kan met driedimensionale modellen een beter inzicht worden verkregen in de verdeling van zwevende en opgeloste stoffen over de verticaal.

In dit rapport worden de activiteiten beschreven die hebben plaatsgevonden tijdens het gevoeligheidsonderzoek met het 3D-KUSTSTROOK-model. Hierbij is in verband met de capaciteit van het huidige rekenmedium gekozen om in dit gevoeligheidsonderzoek gebruik te maken van een deelmodel van het gehele 3D-KUSTSTROOK-model.

In het gevoeligheidsonderzoek zijn variaties van bodemschuifspanning, het aantal verticale lagen, en de verschillende te maken keuzes in het turbulentiemodel bestudeerd.

Als afronding van het gevoeligheidsonderzoek is gekeken naar de weergave van het deelmodel ten aanzien van waterstanden, snelheden, en saliniteten, in vergelijking met meetgegevens.

De weergave hiervan door het deelmodel is zodanig, dat met goed vertrouwen calibratie en verificatie van het gehele 3D-KUSTSTROOK-model kunnen worden voortgezet.

Rijkswaterstaat/RIKZ (voorheen Dienst Getijdewateren) heeft met het afronden van dit gevoeligheidsonderzoek een driedimensionaal KUSTSTROOK-model opgeleverd, dat als eerste aanzet een acceptabele reproductie van de meetgegevens levert.

2 Lijst van bijlagen

- 1 Omvang van het rooster voor het KUSTSTROOK-model met een indicatie van de grootte van de roostercellen
- 2 Bodem KUSTSTROOK-model
- 3 Verdeling van de steunpunten op de rand van het model en een overzicht van de harmonische componenten waarmee de randen worden aangestuurd
- 4 Zoetwaterbronnen en controlestations zoals opgenomen in het KUSTSTROOK-model
- 5 Rooster van het deelmodel IJmuiden - Schouwen Duiveland
- 6 Gegevens betreffende de meetperiode oktober 1990
- 7 Gegevens betreffende de metingen op de Scheveningen-raal
- 8 Vergelijking weergave profielen met 10 en 20 sigma-lagen in de verticaal

Deelmodel:

- 9.1 Waterstandsverloop berekend versus gemeten voor meetpost Noordwijk en Scheveningen
- 9.2 Waterstandsverloop berekend versus gemeten voor Hoek van Holland en BG-8
- 9.3 Waterstandsverloop berekend versus gemeten voor Euro Platform en Lichtelland Goeree
- 10.1 Verloop absolute snelheid en richting berekend (sigma-laag 8) versus gemeten (4m onder NAP) voor Scheveningen-2km voor 18 okt '90 15:00 tot 19 okt '90 15:00
- 10.2 Verloop absolute snelheid en richting berekend (sigma-laag 12) versus gemeten (7m onder NAP) voor Scheveningen-2km voor 18 okt '90 15:00 tot 19 okt '90 15:00
- 10.3 Verloop absolute snelheid en richting berekend (sigma-laag 8) versus gemeten (4m onder NAP) voor Scheveningen-3km voor 18 okt '90 15:00 tot 19 okt '90 15:00
- 10.4 Verloop absolute snelheid en richting berekend (sigma-laag 15) versus gemeten (12m onder NAP) voor Scheveningen-3km voor 18 okt '90 15:00 tot 19 okt '90 15:00
- 10.5 Verloop absolute snelheid en richting berekend (sigma-laag 7) versus gemeten (4m onder NAP) voor Scheveningen-5km voor 18 okt '90 15:00 tot 19 okt '90 15:00
- 10.6 Verloop absolute snelheid en richting berekend (sigma-laag 15) versus gemeten (14m onder NAP) voor Scheveningen-5km voor 18 okt '90 15:00 tot 19 okt '90 15:00
- 10.7 Verloop absolute snelheid en richting berekend (sigma-laag 8) versus gemeten (4m onder NAP) voor Scheveningen-8km voor 18 okt '90 15:00 tot 19 okt '90 15:00
- 10.8 Verloop absolute snelheid en richting berekend (sigma-laag 11) versus gemeten (9m onder NAP) voor Scheveningen-8km voor 18 okt '90 15:00 tot 19 okt '90 15:00
- 10.9 Verloop absolute snelheid en richting berekend (sigma-laag 6) versus gemeten (4m onder NAP) voor Scheveningen-13km voor 18 okt '90 15:00 tot 19 okt '90 15:00
- 10.10 Verloop absolute snelheid en richting berekend (sigma-laag 13) versus gemeten (15m onder NAP) voor Scheveningen-13km voor 18 okt '90 15:00 tot 19 okt '90 15:00

- 10.11 Verloop absolute snelheid en richting berekend (sigma-laag 8) versus gemeten (8m onder NAP) voor Scheveningen-33km voor 18 okt '90 15:00 tot 19 okt '90 15:00
- 11.1 Verloop saliniteit Scheveningen-3km berekend (sigma-laag 8 en 12) versus gemeten (5.5m en 9.5m onder NAP) voor 10 tot 20 oktober 1990
- 11.2 Verloop berekende saliniteit voor Scheveningen-2km en 3km van sigma-laag 1, 10 en 20, voor 10 tot 20 oktober 1990
- 11.3 Verloop berekende saliniteit voor Scheveningen-5km en 8km van sigma-laag 1, 10 en 20, voor 10 tot 20 oktober 1990
- 11.4 Verloop berekende saliniteit voor Scheveningen-13km en 33km van sigma-laag 1, 10 en 20, voor 10 tot 20 oktober 1990
- 12 Waterstand Scheveningen berekend en snelheidsverloop Scheveningen-3km sigma-laag 10 berekend
- 13.1 Profielen berekend versus gemeten van absolute snelheid en richting voor Scheveningen-2km, 3km en 5km, 18 oktober 1990 20:30
- 13.2 Profielen berekend versus gemeten van absolute snelheid en richting voor Scheveningen-8km, 13km en 33km, 18 oktober 1990 20:30
- 13.3 Profielen berekend versus gemeten van absolute snelheid en richting voor Scheveningen-2km, 3km en 5km, 19 oktober 1990 00:30
- 13.4 Profielen berekend versus gemeten van absolute snelheid en richting voor Scheveningen-8km, 13km en 33km, 19 oktober 1990 00:30
- 13.5 Profielen berekend versus gemeten van absolute snelheid en richting voor Scheveningen-2km, 3km en 5km, 19 oktober 1990 02:30
- 13.6 Profielen berekend versus gemeten van absolute snelheid en richting voor Scheveningen-8km, 13km en 33km, 19 oktober 1990 02:30
- 14.1 Saliniteitsprofielen berekend in een doorsnede dwars op de kust ter hoogte van de Scheveningen-raai, 18 oktober 1990 20:30, 19 oktober 1990 00:30 en 19 oktober 1990 02:30
- 14.2 Saliniteitsprofielen berekend in een langsdoorsnede van de Nieuwe Waterweg, 18 oktober 1990 20:30, 19 oktober 1990 00:30 en 19 oktober 1990 02:30
- 14.3 Berekende saliniteitsverdeling in de bovenste sigma-laag op 18 oktober 1990 22:30
- 14.4 Berekende snelheidsverdeling in de bovenste sigma-laag op 18 oktober 1990 22:30

2.1 Anmaties

Gebruiksaanwijzing:

Start het pc-pakket Animate onder windows met het commando 'a:anirun.exe'.

Geef een return bij het openingsscherm.

Klik met de muis op 'bestand', en daarna op 'openen'.

Kies voor het bestandstype voor '*ani' en voor het station voor 'a'.

In het linkervenster staan nu de verschillende animatie-files vermeld.

conc.ani	Saliniteitsverloop deelmodel berekend sigma-laag 1 van 18 oktober 1990 20:30 tot 19 oktober 1990 8:30
snel.ani	Verloop absolute snelheid en richting deelmodel berekend sigma-laag 1 van 18 oktober 1990 20:30 tot 19 oktober 1990 8:30
dwsch.ani	Saliniteitsverdeling berekend in een doorsnede dwars op de kust ter hoogte van de Scheveningen-raal, van 18 oktober 1990 20:30 tot 19 oktober 1990 8:30
dwnww.ani	Saliniteitsverdeling berekend in een langsdoorsnede van de Nieuwe Waterweg, van 18 oktober 1990 20:30 tot 19 oktober 1990 8:30

Klik de gewenste animatie aan en geef 'ok'.

De animatie kan na het inlezen worden gestart door in het knoppenmenu rechts onder in het scherm op 'animeren' te klikken. De animatiesnelheid kan eventueel worden gewijzigd door 'instellingen' aan te klikken en te kiezen voor 'animatiesnelheid'. Door in het knoppenmenu op 'stoppen' te klikken wordt het animeren beëindigd.

Voor het afsluiten van Animate klik met de muis op 'bestand', en daarna 'afsluiten'.

2.2 Lijst van figuren

1	horizontaal rooster en orthogonale transformatie
2	definitie referentievlak
3	verticale doorsnede en sigma-lagen
4	orthogonale,- en sigma-transformatie
5	dempingsfunctie op de mengweglengte
6	dempingsfunctie op het Schmidt/Prandtl-getal

3 Gebruikte symbolen

c_1	Constante in turbulentiemodel
c_2	Constante in turbulentiemodel
c_d	Wind drag coëfficiënt
c_k	Concentratie van conservatieve stof in laag k
c_p	Constante in turbulentiemodel
C_{2D}	Bodemwrijvingscoëfficiënt 2D(H)
C_{3D}	Bodemwrijvingscoëfficiënt 3D
d	Diepte ten opzichte van een zeker referentievlak
D_h	Diffusiecomponent in het horizontale vlak
D_z	Diffusiecomponent in het verticale vlak
f	Corioliscoëfficiënt
g	Gravitatieverversnelling
$g_{\xi\xi}$	Dimensieloos gemaakt kwadraat van de afstand tussen twee gridlijnen in de ξ -richting
$g_{\eta\eta}$	Dimensieloos gemaakt kwadraat van de afstand tussen twee gridlijnen in de η -richting
g^*	$g_{\xi\xi} \cdot g_{\eta\eta}$
h_k	Dikte van laag k
h_{kmax}	Hoogte van de onderste laag
H	Instantane waterdiepte, $H=d+\zeta$
k	Turbulente kinetische energie
$kmax$	Totaal aantal lagen
L	Mengweglengte
n	Manning-coëfficiënt
P	Hydrostatische druk
Ri	Richardson getal
s	Saliniteit
T	Temperatuur
u	Snelheid in de ξ -richting
u_k	Snelheid in de ξ -richting in laag k
U_{10}	Gemiddelde windsnelheid op 10m boven het wateroppervlak
U	Verticaal gemiddelde horizontale snelheid, $U = (u^2 + v^2)^{0.5}$
U_b	Horizontale snelheid in de onderste laag
U_{*b}	Bodemschuifspanningssnelheid
U_{*o}	Oppervlakeschuifspanningssnelheid
v	Snelheid in de η -richting
v_k	Snelheid in de η -richting in laag k
w	Snelheid in de z-richting
z_0	Ruwheidshoogte
Z_0	Vrije wateroppervlak
Z_k	Laag-interface tussen laag k en laag k+1
Z_{kmax}	Bodem
ν_h	Eddy viscosity in het horizontale vlak
ν_z	Eddy viscosity in het verticale vlak
ζ	Waterstand ten opzichte van een zeker referentievlak
θ	Parameter met betrekking tot tijdsintegratie in de verticaal
κ	Von Karman constante (ongeveer 0.41)
ρ	Dichtheid van water

ρ_a	Dichtheid van lucht
σ_k	Fractie van de totale waterkolom betreffende de k-de laag
σ_z	Schmidt/Prandtl getal
τ_b	Bodemschuifspanning
τ_o	Windschuifspanning
Γ_h	Eddy diffusivity in het horizontale vlak
Γ_z	Eddy diffusivity in het verticale vlak
ω_k	Verticale snelheid op laag-interface Z_k uitgedrukt in kromlijnige sigma-coördinaten

4 Inleiding

De Hoofddirectie van Rijkswaterstaat en het Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ (voorheen Dienst Getijdewateren) hebben in 'contract 1993' (zie literatuurlijst) vastgelegd dat RIKZ een functionerend driedimensionaal waterbewegingsmodel van de Nederlandse kustzone en estuaria zal opleveren.

Het model zal als adviserings,- en onderzoeksinstrument worden toegepast voor de bestudering van autonome ontwikkelingen en de effecten van menselijke ingrepen op de Nederlandse kustzone en estuaria.

Met behulp van driedimensionale modellen kunnen snelheden langs de bodem op realistische wijze weergegeven worden, van belang voor de weergave van morfologische processen en het transport van slib.

Ook kan met driedimensionale modellen een beter inzicht worden verkregen in de verdeling van zwevende en opgeloste stoffen over de verticaal.

Vanuit de DGW-projecten BEON*STOFSTR, KUSTGEN*MORF en INVOWA is ook vraag naar een dergelijk model.

Het te ontwikkelen model krijgt als naam: KUSTSTROOK-model.

In het project BEON*STOFSTR gaat de belangstelling uit naar het transport van slib en de effecten van de Rijnuitstroom. De Rijnpluim beweegt zich soms tot 70 km loodrecht op de kust ([Groenendijk, 1989]). Om deze reden is ervoor gekozen de westrand van het KUSTSTROOK-model ook op 70 km uit de kust te leggen.

In het projectplan KUSTGEN*MORF zijn verplaatsingen van sedimenten langs de gesloten kust een aandachtsveld. Om transportsimulaties te kunnen uitvoeren, is de zuidgrens van het model dan ook bij de Vlaamsche banken gelegd. Over deze Vlaamsche Banken kunnen transporten van sediment en slib niet plaatsvinden, zodat bij Noordoostenwind, als de Rijnuitstroom zuidwaarts wordt gedreven, er netto geen slib uit het model verdwijnt.

Dit laatste is tevens een reden dat het model zich noordelijk uitstrekt tot de Wadden.

In het kader van het INVOWA-project zal het KUSTSTROOK-model dienen als leveraar van randvoorwaarden voor het daarin geneste RIJMAMO-model ([Kernkamp, mei 1993] en [van Dijk en Plieger, dec 1993]).

Verder zal het KUSTSTROOK-model voor verschillende projecten kunnen worden ingezet voor simulaties van stormvloed en calamiteiten.

De basis voor het 3D-KUSTSTROOK-model is de schematisatie van het afgeregelde 2D(H)-KUSTSTROOK-model. Bouw en afregeling van dit model zijn beschreven door Kuijper (juni 1993).

Voor de 3D-berekeningen is gebruik gemaakt van de TRIWAQ-in-SIMONA programmatuur.

In verband met capaciteitsproblemen van het rekenmedium de CRAY-YMP zijn de reken,- en verblijftijden van simulaties met het 3D-KUSTSTROOK-model zeer groot. Hierop is besloten een deelmodel van het 3D-KUSTSTROOK-model voor het gevoeligheidsonderzoek in te zetten.

In dit rapport worden de activiteiten uitgevoerd in het kader van het gevoeligheidsonderzoek van het deelmodel van het 3D-KUSTSTROOK-model beschreven. Hierbij zijn de conclusies van dit gevoeligheidsonderzoek gegeven, en een presentatie van de resultaten van het deelmodel. Een uitgebreide presentatie van de bevindingen van het gevoeligheidsonderzoek zal verschijnen in een nog te publiceren werkdocument.

Verder zullen calibratie en verificatie van het volledig 3D-KUSTSTROOK-model nog worden uitgevoerd en in een nog te verschijnen rapport worden vastgelegd.

5 Wiskundige formulering

Uitgangspunt bij de getij,- en transportberekeningen is het stelsel van driedimensionale ondiepwatervergelijkingen, bestaande uit een continuïteitsvergelijking, een advectie-diffusie,- en impulsvergelijkingen. De numerieke aspecten van het oplossen van het verticaal gemiddelde stelsel worden beschreven in [Stelling, 1983]. De basis voor de drie-dimensionale versie is gelegd door [Leendertse, 1989]. De wijze waarop de vergelijkingen in de TRIWAQ-in-SIMONA-programmatuur zijn opgenomen, worden voor een aantal punten die van belang zijn voor het KUSTSTROOK-model in het kort hieronder beschreven. Voor details zie [Lander e.a., 1994].

5.1 Beschrijving van het horizontale rooster

In de TRIWAQ-in-SIMONA-programmatuur wordt gewerkt met kromlijnige coördinaten. Hierdoor is het mogelijk met het horizontale rooster de modelgeometrie nauwkeurig te volgen, zodat het water op 'natuurlijke wijze' door het rooster stroomt.

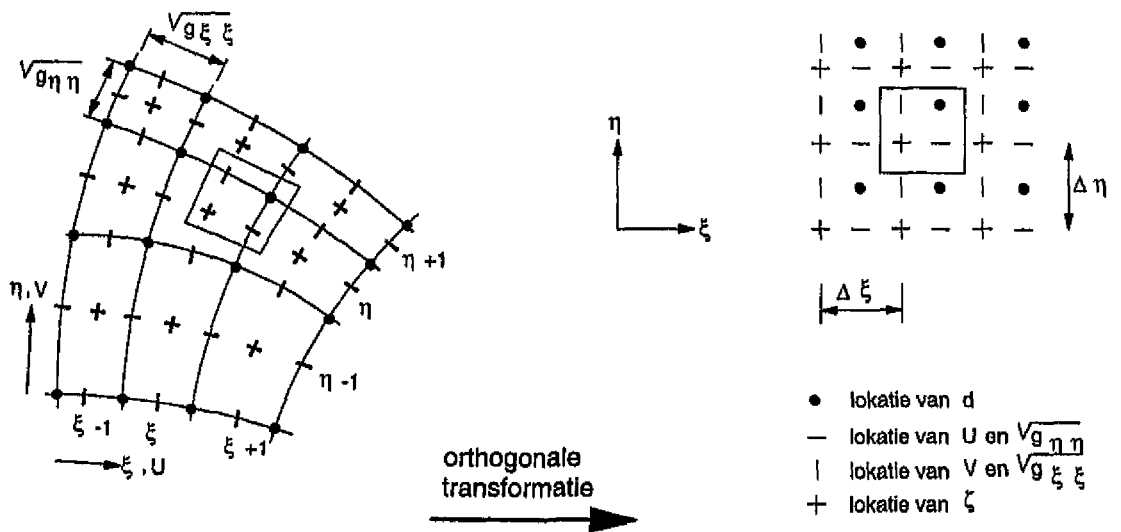
De transformatiecoëfficiënten van het cartesische systeem (x,y) naar het orthogonale kromlijnige systeem (ξ, η) zijn:

$$g_{\xi\xi} = \left(\frac{\partial x}{\partial \xi}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \xi}\right)^2$$

$$g_{\eta\eta} = \left(\frac{\partial x}{\partial \eta}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \eta}\right)^2$$

$$g_{\xi\eta} = g_{\eta\xi}$$

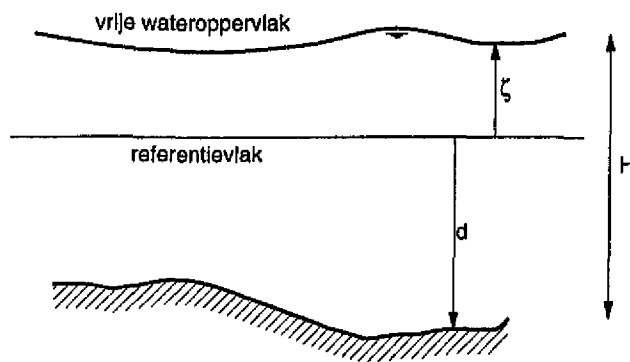
figuur 1
horizontaal rooster
en orthogonale transformatie



5.2 Beschrijving van het verticale rooster

Om in ieder modelpunt een constante verticale resolutie over de gehele waterdiepte H te verkrijgen, kan in TRIWAQ-in-SIMONA onder andere gebruik worden gemaakt van de zogenaamde sigma-transformatie, geïntroduceerd door [Phillips, 1957]. Sigma-transformatie houdt in dat op ledere verticale doorsnede zich evenveel lagen bevinden. Deze lagen zijn niet noodzakelijk equidistant. Wel geldt dat het verticale rooster 'ademt', dat wil zeggen, met het wateroppervlak meebeweegt.

figuur 2
definitie referentievlak



De verticale z -coördinaat wordt vervangen door een dimensieloze σ -coördinaat, als volgt:

$$\sigma = \frac{z - \zeta(x, y, t)}{H(x, y, t)}$$

met	$\zeta = \zeta(x, y, t)$	waterstand ten opzichte van een zeker referentievlak ;
	$d(x, y)$	diepte ten opzichte van een zeker referentievlak
	$H(x, y, t) = d(x, y) + \zeta(x, y, t)$	de instantane waterdiepte

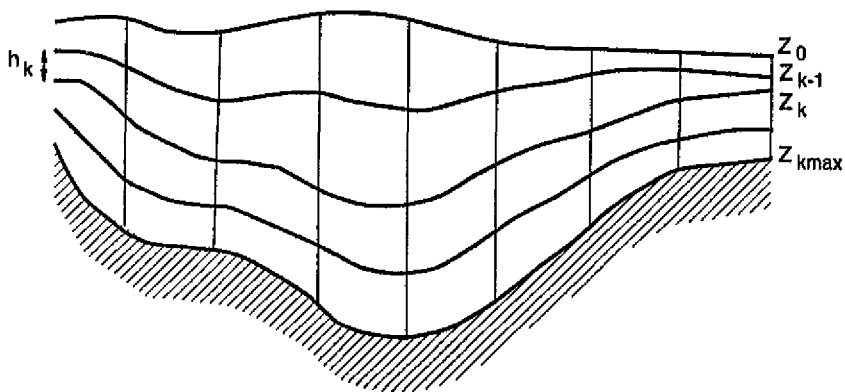
Voor het vrije wateroppervlak	$z = \zeta$	geldt dus	$\sigma = 0,$
voor de bodem	$z = -d$	geldt dat	$\sigma = -1.$

De laag-interfaces Z_k zijn nu gelijk aan

$$Z_k = \sigma_k H(x, y, t) + \zeta(x, y, t)$$

- met σ_k fractie van de totale waterkolom betreffende de k-de laag
 Z_0 vrije wateroppervlak
 Z_{kmax} bodem

figuur 3
 verticale doorsnede
 en sigma-lagen

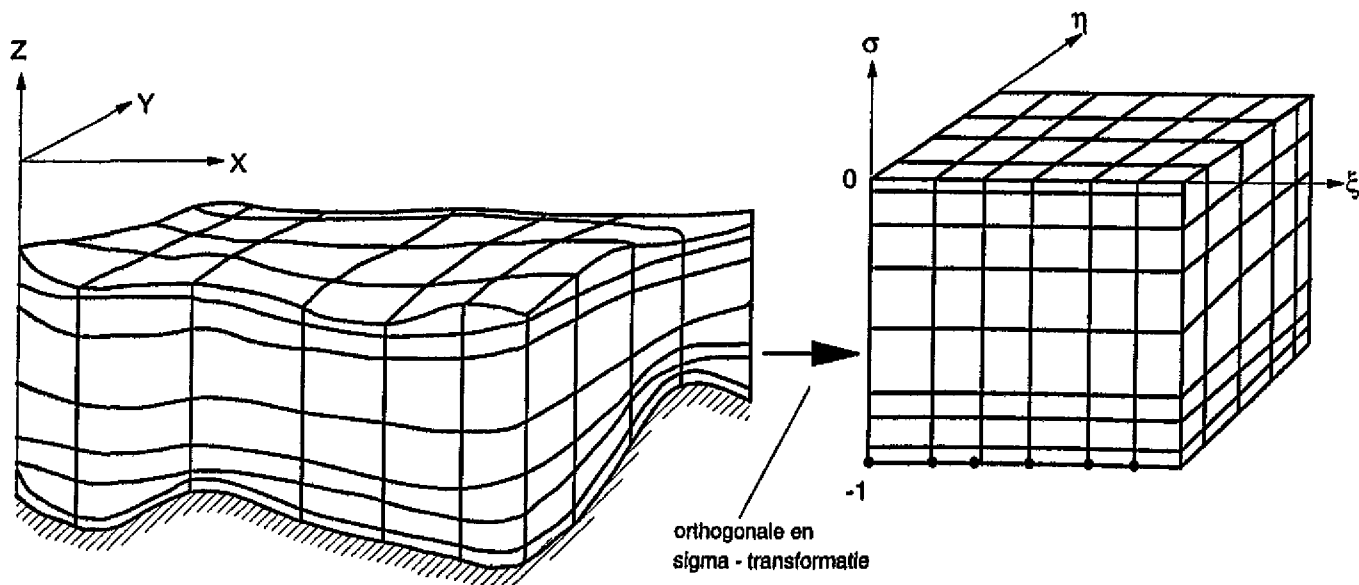


De laagdikte h_k wordt nu gedefinieerd als:

$$h_k(x, y, t) = Z_{k-1}(x, y, t) - Z_k(x, y, t)$$

- met Z_k laag-interface tussen laag k en laag k+1

figuur 4
 orthogonale, -en
 sigma-transformatie



5.3 Modelvergelijkingen

De gemiddelde u-snelheid voor een laag k tussen de laag-interfaces Z_k en Z_{k-1} is gedefinieerd als:

$$u_k = \frac{1}{h_k} \int_{z=Z_k}^{z=Z_{k-1}} u(\xi, \eta, z', t) dz'$$

met

$$h_k = Z_{k-1}(\xi, \eta, t) - Z_k(\xi, \eta, t)$$

De verticale snelheid ω_k op laag-interface Z_k uitgedrukt in kromlijnjige sigma-coördinaten wordt gedefinieerd door:

$$\omega_k = w - \frac{DZ_k}{Dt} = w - \frac{1}{\sqrt{g_*}} \left[\frac{\partial Z_k}{\partial t} + u(z=Z_k) \frac{\partial Z_k}{\partial \xi} \sqrt{g_{\eta\eta}} + v(z=Z_k) \frac{\partial Z_k}{\partial \eta} \sqrt{g_{\xi\xi}} \right]$$

ω_k is de relatieve verticale snelheid gegeven ten opzichte van de beweging van het rooster.

De impuls vergelijkingen voor de gemiddelde u- en v-snelheden in laag k zijn:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_k}{\partial t} + \frac{u_k}{\sqrt{g_{\xi\xi}}} \frac{\partial u_k}{\partial \xi} + \frac{v_k}{\sqrt{g_{\eta\eta}}} \frac{\partial u_k}{\partial \eta} + \frac{u_k v_k}{\sqrt{g_*}} \frac{\partial \sqrt{g_{\xi\xi}}}{\partial \eta} - \frac{v_k^2}{\sqrt{g_*}} \frac{\partial \sqrt{g_{\eta\eta}}}{\partial \xi} + \omega \frac{\partial u_k}{\partial z} - f v_k + \\ \frac{1}{\rho h_k} \frac{1}{\sqrt{g_{\xi\xi}}} \frac{\partial}{\partial \xi} \int_{z=Z_k}^{z'=Z_{k-1}} \frac{\partial P}{\partial \xi} dz' = \frac{\partial}{\partial z} \left(v_z \frac{\partial u_k}{\partial z} \right) + \frac{v_h}{\sqrt{g_{\xi\xi}}} \frac{\partial A}{\partial \xi} + \frac{v_h}{\sqrt{g_{\eta\eta}}} \frac{\partial B}{\partial \eta} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_k}{\partial t} + \frac{u_k}{\sqrt{g_{\xi\xi}}} \frac{\partial v_k}{\partial \xi} + \frac{v_k}{\sqrt{g_{\eta\eta}}} \frac{\partial v_k}{\partial \eta} + \frac{u_k v_k}{\sqrt{g_*}} \frac{\partial \sqrt{g_{\eta\eta}}}{\partial \xi} - \frac{u_k^2}{\sqrt{g_*}} \frac{\partial \sqrt{g_{\xi\xi}}}{\partial \eta} + \omega \frac{\partial v_k}{\partial z} + f u_k + \\ \frac{1}{\rho h_k} \frac{1}{\sqrt{g_{\eta\eta}}} \frac{\partial}{\partial \eta} \int_{z=Z_k}^{z'=Z_{k-1}} \frac{\partial P}{\partial \eta} dz' = \frac{\partial}{\partial z} \left(v_z \frac{\partial v_k}{\partial z} \right) + \frac{v_h}{\sqrt{g_{\eta\eta}}} \frac{\partial A}{\partial \eta} + \frac{v_h}{\sqrt{g_{\xi\xi}}} \frac{\partial B}{\partial \xi} \end{aligned}$$

- met
- f Corioliscoëfficiënt
 - g gravitatieversnelling
 - ρ dichtheid van water
 - v_h eddy viscosity in het horizontale vlak
 - v_z eddy viscosity in het verticale vlak

De hydrostatische druk P is:

$$P = g \int_{z'=z}^{z'=\zeta} \rho(\xi, \eta, z', t) dz'$$

en

$$A = \frac{\frac{\partial}{\partial \xi} (u_k \sqrt{g_{\eta\eta}}) + \frac{\partial}{\partial \eta} (v_k \sqrt{g_{\xi\xi}})}{\sqrt{g_*}}$$

$$B = \frac{\frac{\partial}{\partial \xi} (v_k \sqrt{g_{\eta\eta}}) - \frac{\partial}{\partial \eta} (u_k \sqrt{g_{\xi\xi}})}{\sqrt{g_*}}$$

De verticaal geïntegreerde **continuïteitsvergelijking** voor laag k is:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{g_*}} \frac{\partial}{\partial \xi} \sum_{k=1}^{k=k_{max}} h_k u_k \sqrt{g_{\eta\eta}} + \frac{1}{\sqrt{g_*}} \frac{\partial}{\partial \eta} \sum_{k=1}^{k=k_{max}} h_k v_k \sqrt{g_{\xi\xi}} = 0$$

Na het oplossen van de momentum vergelijkingen en deze verticaal geïntegreerde continuïteitsvergelijking kan de verticale snelheid als volgt worden bepaald:

$$\omega_{k-1} - \omega_k + \frac{1}{\sqrt{g_*}} \frac{\partial}{\partial \xi} (h_k u_k \sqrt{g_{\eta\eta}}) + \frac{1}{\sqrt{g_*}} \frac{\partial}{\partial \eta} (h_k v_k \sqrt{g_{\xi\xi}}) + \frac{\partial z_{k-1}}{\partial t} - \frac{\partial z_k}{\partial t} = 0$$

De **stoftransportvergelijking** is als volgt:

$$\begin{aligned} \frac{\partial h_k c_k}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{g_*}} \frac{\partial}{\partial \xi} (\sqrt{g_{\eta\eta}} h_k c_k u) + \frac{1}{\sqrt{g_*}} \frac{\partial}{\partial \eta} (\sqrt{g_{\xi\xi}} h_k c_k v) + h_k \frac{\partial}{\partial z} (\omega c) = \\ \frac{1}{\sqrt{g_*}} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(h_k D_h \sqrt{\frac{g_{\eta\eta}}{g_{\xi\xi}}} \frac{\partial c_k}{\partial \xi} \right) + \frac{1}{\sqrt{g_*}} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(h_k D_h \sqrt{\frac{g_{\eta\eta}}{g_{\xi\xi}}} \frac{\partial c_k}{\partial \eta} \right) \\ + h_k \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial c}{\partial z} \right) + ACT \end{aligned}$$

- met
- ACT anticreep termen, termen die zijn opgenomen om ongewenste numerieke diffusie te vermijden zie [Lander e.a., 1994]
 - c_k concentratie in laag k
 - D_h diffusiecomponent in het horizontale vlak
 - D_z diffusiecomponent in de z-richting

Verder wordt rekening gehouden met de zogenaamde **equation of state (toestandsvergelijking)**, die aangeeft dat de dichtheid van water een functie is van saliniteit s en temperatuur T . In TRIWAQ-In-SIMONA wordt gebruikt gemaakt van de empirische relatie die door [Eckart, 1958] is opgesteld:

$$\rho = \frac{P_0}{\lambda + \alpha_0 P_0}$$

- met
- $\lambda = 1779.5 + 11.25T - 0.0745T^2 - (3.80 + 0.01T)s$
 - $\alpha_0 = 0.6980$
 - $P_0 = 5890 + 38T - 0.375T^2 + 3s$

5.4 Bodemschulfspanning

De bodemschulfspanning τ_b voor een ruwe wand wordt onder aanname van een logaritmisch snelheidsprofiel

$$U(z) = \frac{U_{*b}}{\kappa} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)$$

- met
- z_0 ruwheidshoogte
 - $U(z)$ horizontale snelheid op diepte z ,
 $U = (u^2 + v^2)^{0.5}$
 - U_{*b} schulfspanningssnelheid
 - κ von Karman constante

als volgt gedefinieerd

$$\tau_b = \rho (U_{*b})^2$$

In de 3D-berekeningen wordt voor τ_b genomen:

$$\tau_b = \frac{\rho g (U_b)^2}{(C_{3D})^2}$$

met C_{3D} bodemwrijvingscoëfficiënt voor 3D-berekeningen
 U_b horizontale snelheid in de onderste laag

C_{3D} is gedefinieerd als:

$$C_{3D} = \sqrt{g} \frac{U_b}{U_{*b}}$$

Een analoge definitie geldt voor de bodemschuifspanning uit de 2D-berekeningen C_{2D} , waarbij U_b is vervangen door U , de verticaal gemiddelde horizontale snelheid.

Voor de bepaling van C_{3D} zijn twee mogelijkheden.
 De eerste volgt rechtstreeks uit de laatste vergelijking, en luidt:

$$C_{3D} = \frac{\sqrt{g}}{\kappa} \ln \left(\frac{h_{kmax}}{2z_0} \right)$$

met h_{kmax} de hoogte van onderste sigma-laag

Indien er sprake is van een logaritmisch snelheidsprofiel, en de dieptegemiddelde snelheden van de 3D-berekening gelijk is aan de dieptegemiddelde snelheid die uit de 2D-berekening is gevonden, dan kan de volgende relatie voor z_0 worden afgeleid:

$$z_0 = H \exp \left(- \left(1 + \frac{\kappa}{\sqrt{g}} C_{2D} \right) \right)$$

met $z_0 = z_0(x,y,t)$ omdat $H = H(x,y,t)$

Indien de 3D-berekeningen worden voorafgegaan door een 2D-afregelfase, kunnen de C_{2D} -waarden ongewijzigd gebruikt worden in de 3D-afregelfase, als volgt:

$$C_{3D} = C_{2D} + \frac{\sqrt{g}}{\kappa} \left(1 + \ln \left(\frac{1}{2} h_{kmax} \right) - \ln(H) \right)$$

C_{3D} is afhankelijk van de laagdikte h_{kmax} .

Een meer gedetailleerde beschrijving van de bodemschuifspanning wordt gegeven door [Uittenbogaard e.a., 1992].

5.5 Windschuifspanning

De grootte van de windschuifspanning τ_0 is gedefinieerd als

$$\tau_0 = \rho (U_{*0})^2$$

met U_{*0} schuifspanningssnelheid aan het oppervlak

Hierbij is uitgegaan van

$$|\tau_0| = \rho_a c_d (U_{10})^2$$

met ρ_a dichtheid van de lucht
 c_d wind drag coëfficiënt
 U_{10} gemiddelde waarde van de windsnelheid op 10m boven het wateroppervlak

5.6 Turbulentiemodellen

In de 3D-simulaties van het KUSTSTROOK-model is meer interesse in gemiddelde grootheden dan in details van de turbulente bewegingen. Bij de middelingenprocessen over de tijd ontstaan echter termen in de vergelijkingen waarin correlaties van turbulente grootheden optreden. Deze (onbekende) correlaties vereisen extra betrekkingen om tot een sluitend systeem te komen. Het gaat er bij deze extra betrekkingen om het gevolg van de correlatietermen te benaderen door middel van grootheden die wel te bepalen zijn. Een extra stel vergelijkingen waarmee het stromingsprobleem oplosbaar wordt gemaakt, wordt een turbulentiemodel genoemd. Turbulentiemodellen verschillen onderling in hun beschrijving van de turbulente energie k , de dissipatie van energie ϵ , en/of de mengweglengte L ([Uittenbogaard e.a., mei 1992]). In de TRIWAQ-In-SIMONA programmatuur is het volgende nulde orde algebraïsche turbulentiemodel geïmplementeerd, dat wil zeggen, de turbulente energie k en de mengweglengte L worden met behulp van algebraïsche vergelijkingen bepaald:

.....
 mogelijke combinaties
 in het turbulentiemodel

		eddy viscosity ν_z	
		constant $\nu_z = c_1$	parabolisch $\nu_z = c_\mu L k^{0.5}$
eddy diffusivity D_z	constant $D_z = c_2$	demping niet toegestaan	met/zonder demping op de viscositeit toegestaan
	parabolisch $D_z = \nu_z / \sigma_z$		met/zonder demping op de viscositeit en/of diffusie toegestaan

met c_1 constante
 c_2 constante
 c_μ constante
 k turbulente kinetische energie
 L mengweglengte
 σ_z Schmidt/Prandtl getal.

n.b. De combinatie constante eddy viscosity met parabolische eddy diffusivity is niet toegestaan.

Voor de mengweglengte L geldt:

$$L = \kappa (z+d) \sqrt{1 - \frac{(z+d)}{H}}$$

zodat $z = -d$ (bodem) of $z = \zeta$ (oppervlak) leidt tot $L = 0$.

Voor de turbulente kinetische energie k geldt verder:

$$k = \frac{1}{\sqrt{C_u}} \left(1 - \frac{z+d}{H}\right) (U_{*b})^2 + \frac{1}{\sqrt{C_u}} \left(\frac{z+d}{H}\right) (U_{*o})^2$$

met U_{*b} de bodemschuifspanningssnelheid

De definitie van deze bodemschuifspanningssnelheid is:

$$U_{*b} = \frac{\kappa U_b}{\ln\left(\frac{h_{kmax}}{2z_0}\right)}$$

Deze snelheden kunnen aan de bodem gelijk aan nul worden. Om te voorkomen dat eddy viscosity en eddy diffusivity gelijk aan nul kunnen worden, worden ook snelheden hoger in de waterkolom gebruikt om de bodemschuifspanningssnelheid te bepalen als het snelheidsprofiel logaritmisch is.

Definieer hiertoe:

$$U_{*k} = \frac{\kappa U_k}{\ln\left(\frac{Z_{k-1} + Z_k - 2Z_{kmax}}{2z_0}\right)}$$

met U_{*k} U_{*b} voor laag k
 U_k U_b voor laag k

De gemiddelde waarde is gedefinieerd als :

$$\bar{U}_* = \frac{1}{kmax} \sum_{k=1}^{k=kmax} U_{*k}$$

In plaats van U_{*b} kan van deze gemiddelde waarde gebruik worden gemaakt.

Stratificatie dempt de turbulente bewegingen, waardoor de turbulente wervels onderdrukt zullen worden. De mengweglengte en het Schmidt/Prandtl getal kunnen in dit geval worden vermenigvuldigd met dempingsfuncties, die afhankelijk zijn van het Richardson getal Ri , een getal dat gebaseerd is op de verhouding tussen potentiële en kinetische energie:

$$Ri = \frac{-\frac{g}{\rho} * \frac{\partial \rho}{\partial z}}{\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z}\right)^2}$$

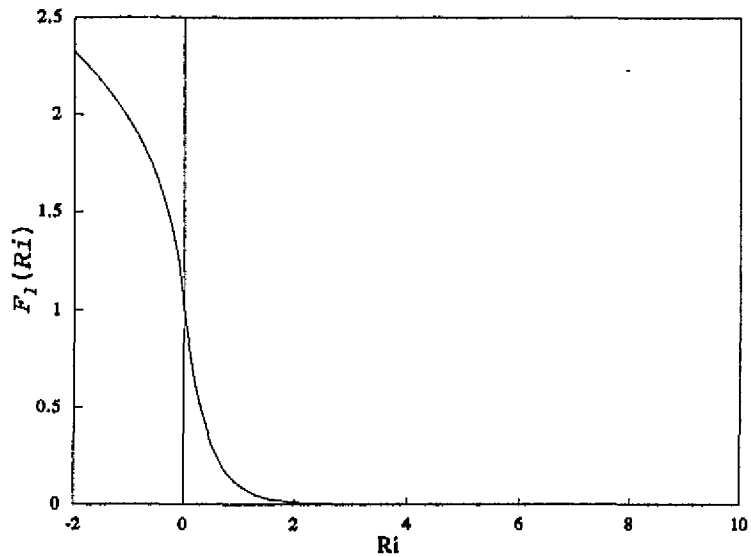
Het Richardson getal is in de TRIWAQ-in-SIMONA-programmatuur geïmplementeerd op de laag-interfaces Z_k .

Voor stabiele stratificaties neemt de dichtheid toe in de richting van de bodem, waardoor $Ri > 0$. De verticale beweging wordt onderdrukt doordat energie nodig is om een waterdeeltje naar boven te bewegen. Dit geldt in sterkere mate als het Richardson getal groter is. Opdrijvende krachten bewegen de waterdeeltjes terug naar de evenwichtpositie. Voor instabiele stratificatie is $Ri < 0$, en zijn de opdrijvende krachten zodanig dat de verticale beweging van de deeltjes versterkt wordt: Er vindt menging plaats. Hierdoor neemt de mengweglengte toe.

De dempingsfunctie op de mengweglengte L luidt als volgt:

$$F_L(Ri) = \begin{cases} \exp(-2.3Ri) & Ri \geq 0 \\ (1-14Ri)^{0.25} & Ri < 0 \end{cases}$$

.....
 figuur 5
 dempingsfunctie
 op de mengweglengte



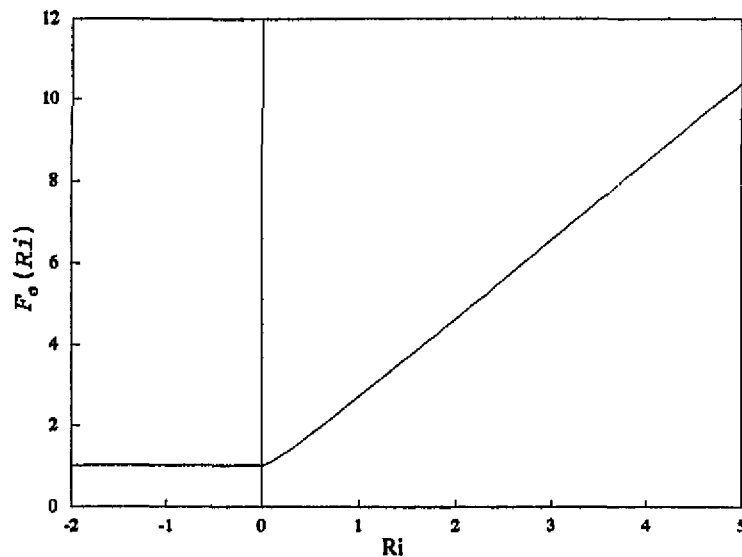
Het Schmidt/Prandtl getal relateert de eddy diffusiviteit aan de eddy viscositeit en kan groter dan één worden als er sprake is van stabiele stratificatie. Het verloop van eddy diffusiviteit ten opzichte van het Richardson getal is ongeveer gelijk aan het verloop van de eddy viscositeit ten opzichte van het Richardson getal. De verhouding die tussen beide krommen aanwezig is, is gelijk aan het Schmidt/Prandtl getal.

In een zwak gestratificeerde situatie kan het Schmidt/Prandtl getal worden vermenigvuldigd met de volgende dempingsfunctie, waarbij voor negatieve Richardson-getallen geen demping aanwezig is:

$$F_o(Ri) = \begin{cases} \frac{(1+3.33Ri)^{1.5}}{(1+10Ri)^{0.5}} & Ri \geq 0 \\ 1 & Ri < 0 \end{cases}$$

(Munk-Anderson benadering).

.....
 figuur 6
 dempingsfunctie
 op het Schmidt/Prandtl-getal



6 Opzet van het KUSTSTROOK-model

6.1 Begrenzing van het model

Noordelijk:	Loodrecht op de Friese kust tot het wantij bij Ameland
Westelijk:	70 km van de kustlijn
Zuidelijk:	Loodrecht op de Belgische kust ter hoogte van de Vlaamsche banken

6.2 Horizontaal rooster

Het horizontale rooster is een kromlijinig rooster.

De oorsprong van het rooster ligt op

$$(x,y) = (191000, 666821),$$

waarbij de coördinaten zijn gegeven in meters in Rijksdriehoek ten opzichte van Parijs.

Het totaal aantal roosterpunten is 55094 (actief en niet-actief in de berekeningen aanwezig), waarvan het aantal actieve (natte) punten 21426 is. De verhouding tussen de actieve en totaal aantal punten in het model is ongeveer 40%. Door het opnemen van de Scheides en de Wadden in het model, is een aantal gridlijnen geïntroduceerd die voor het grootste gedeelte over het land lopen. De ongunstige verhouding van 40% wordt voornamelijk door deze lijnen veroorzaakt.

De Hollandse Kustlijn wordt met één roosterlijn zo goed mogelijk gevolgd. Langs de kust zijn de roostercellen loodrecht op de kust 200m, en evenwijdig aan de kust 1000m. De maximale variatie in lengte en/of breedte van naast elkaar gelegen roostercellen is ongeveer 20%. In verband met de reproductie van de RIJN-uitstroming is in de omgeving van de Nieuwe Waterweg het rooster verfijnd.

Een beeld van het rooster met een overzicht van de grootte van de overige roostercellen is gegeven in bijlage 1.

6.3 Bodemschematisatie

De bodemschematisatie van het 3D-KUSTSTROOK-model is identiek aan die van het 2D(H)-KUSTSTROOK-model. Een uitgebreide beschrijving van de bodemschematisatie is te vinden in [Kuljper, juni 1993] en [Kuljper, maart 1994]. Een overzicht van de bodem is te vinden in bijlage 2.

6.4 Randvoorwaarden

Het KUSTSTROOK-model heeft vier randen, waarvoor de randvoorwaarden als volgt worden gedefinieerd:

- aan de drie open zeeranden (noordrand minus wantij bij Ameland, westrand, en zuidrand) worden in 27 steunpunten waterstanden voorgeschreven. Een overzicht van deze steunpunten is te vinden in bijlage 3.

- aan één rand (wantij bij Ameland op de noordrand) wordt een snelheid gelijk aan nul voorgeschreven, aannemende dat bij een gemiddelde getijsituatie geringe uitwisseling van water over het wantij plaatsvindt.

De randvoorwaarden kunnen in de volgende vorm worden opgelegd:

6.4.1 Tijdreeksen

Een eerste manier om randvoorwaarden op te leggen, is met behulp van tijdreeksen. Deze kunnen voor het KUSTSTROOK-model bepaald worden via het CSM,- en ZUNOWAK-model.

Het voordeel van tijdreeksen is dat meteo-effecten in deze tijdreeksen zijn verweven. Tijdreeksen kunnen afhankelijk van de simulatie-periode echter vrij lang zijn, verder geldt dat voor het simuleren van een andere periode telkens nieuwe tijdreeksen moeten worden gegenereerd.

6.4.2 Harmonische getijcomponenten

Indien er sprake is van harmonische getijcomponenten worden in ieder steunpunt fase en amplitude van een x-tal harmonische componenten opgedrukt. Aan de hand van deze componenten worden de waterstanden voor een gekozen periode bepaald volgens de volgende formule:

$$R_{N,M}(t) = A_0 + \sum_{i=1}^x A_i f_i \cos(w_i t - G_i + V_i + U_i)$$

met

$R_{N,M}$	randvoorwaarde in het randpunt met roostercoördinaten (N,M)
A_0	middenstand,
en voor $i = 1, \dots, x$:	
A_i	astronomische amplitude (plaatsafhankelijk)
f_i	knoopfactor voor amplitude (tijdsafhankelijk)
w_i	hoeksnelheid van de aarde
t	(lokale) tijd uitgaande van GMT
G_i	verbeterd havengetal (plaatsafhankelijk)
V_i	fase, astronomisch argument (tijdsafhankelijk)
U_i	knoopfactor voor fase (tijdsafhankelijk)

Het voordeel van harmonische componenten is dat deze relatief eenvoudig te bepalen en bij te sturen zijn, en te gebruiken voor ieder willekeurige periode met weinig of geen meteorologische invloeden.

Er is voor gekozen de rand van het KUSTSTROOK-model met 26 harmonische componenten aan te sturen. Een overzicht van deze harmonische componenten is te vinden in bijlage 3. De fase en amplitude van de 26 harmonische componenten zijn bepaald met een harmonische getijanalyse ([HATYAN]) van de waterstandsreeksen voor de desbetreffende steunpunten uit een simulatie van het ZUNOWAK-model van een half jaar. Hierbij is gekozen voor een periode met zo min mogelijk wind, zodat met de aldus bepaalde componenten het astronomische getij bepaald kan worden.

Een indruk van fase en amplitude van de verschillende componenten in de verschillende kuststations kan verkregen worden in [Kuijper, juni 1993] en [Kuijper, 1994].

6.5 Zoetwaterbronnen

In het KUSTSTROOK-model zijn de belangrijkste zoetwaterbronnen langs de Nederlandse kust opgenomen. Een overzicht van deze zoetwaterbronnen is te vinden in bijlage 4.

7 Gevoeligheidsonderzoek met een deelmodel van het KUSTSTROOK-model

Voor de 3D-berekeningen wordt gebruik gemaakt van de TRIWAQ-In-SIMONA-programmatuur. Deze programmatuur is ontworpen om optimaal te functioneren op vectormachines als de CRAY-YMP, waarop de simulaties met het KUSTSTROOK-model worden uitgevoerd. Hierdoor zullen simulaties met TRIWAQ op de CRAY sneller verlopen dan op een niet-gevectoriseerde machine. Het nadeel echter van de gevectoriseerde programmatuur is dat van de gehele roostermatrix gebruikt wordt gemaakt, dat wil zeggen dat niet met de slechts 21426 natte (actieve) roosterpunten wordt gerekend, maar met alle 55094 punten (natte en permanent droge punten).

Gezien de bezettingsgraad en de doorlooptijden konden op de CRAY met het 3D-KUSTSTROOK-model simulaties dan ook met maximaal 4 lagen in de verticaal worden uitgevoerd. Voor een gedetailleerde weergave van de in de verticaal verlopende processen is deze resolutie echter onvoldoende. Om deze reden is toen besloten een kleinere versie van het model te maken waarmee simulaties met meer dan vier lagen in de verticaal konden worden uitgevoerd. Dit zogenaamde deelmodel loopt van IJmuiden tot Schouwen Duiveland, zie bijlage 5. De pijp waarmee de Nieuwe Waterweg wordt gemodelleerd, is omgeklapt, om verdere reductie van het aantal actieve punten te bewerkstelligen. Het aantal natte (actieve) punten in dit model komt zo op 1541, het totaal aantal punten 1848. De verhouding tussen actieve en het totaal aantal punten is nu zodanig, dat tevens optimaal gebruik kan worden gemaakt van de snelheid van het rekenmedium. Ter controle zijn modelresultaten van het gehele KUSTSTROOK-model vergeleken met die van het deelmodel. Geconcludeerd kon worden dat de weergave van het deelmodel zeer veel gelijkenis vertoonde met die van het gehele KUSTSTROOK-model.

Het gevoeligheidsonderzoek dat wordt beschreven is dan ook met dit deelmodel uitgevoerd.

In de calibratie,- en verificatiefase van het 3D-KUSTSTROOK-model zal gebruik worden gemaakt van een HP 755 werkstation, waardoor het mogelijk wordt simulaties met het gehele model uit te voeren met meer dan vier lagen in de verticaal.

7.1 Modelparameters

De volgende parameters zijn niet gewijzigd bij de overstap van het 2D(H)-KUSTSTROOK-model naar het 3D-deelmodel:

Droogvalprocedure:	Gemiddeld (nummer 1)
Droogval-criterium (Var):	30 cm
Tijdstap:	5 minuten
Courant getal:	Op de buitenrand van het model 9, Op de kustlijn 13.5
Wind drag coëfficiënt	0.028 (constant)

Een beschrijving van de bepaling van bovenstaande parameters wordt gegeven in [Kuijper, juni 1993].

Wel is een aanpassing gepleegd op de waarden van de horizontale diffusie en viscositeit, als volgt:

horizontale diffusie 1 m²/s (was 20 m²/s)

horizontale viscositeit 1 m²/s (was 8 m²/s)

De reden hiervoor is, dat in de 2D-simulaties de horizontale diffusie en viscositeits ook de verticale aspecten van deze parameters vertegenwoordigen. In de 3D-simulaties worden de verticale diffusie en viscositeit echter apart bepaald in het turbulentiemodel.

7.2 Simulatie-periode en meetgegevens

Voor het gevoeligheidsonderzoek met het 3D-KUSTSTROOK-model is gekozen voor de periode 10 tot 20 oktober 1990, zie bijlage 6. In deze periode is een uitgebreide meting geweest op de Scheveningen-raai, waarbij van 16 tot en met 21 oktober 1990 snelheden op verschillende plaatsen in de verticaal zijn gemeten, zie bijlage 7 en [Bos e.a., 1992].

Voor het model zijn de windgegevens van meetpost Noordwijk gebruikt.

Een overzicht van de in het 3D-KUSTSTROOK-model opgenomen controlestations is te vinden in bijlage 4.

7.3 Verticaal rooster

De gevolgen van twee verschillende verticale roosterverdelingen in sigma-lagen zijn in beschouwing genomen.

de eerste: een equidistante verdeling van 10 lagen
 elk 10% van de instantane waterdiepte

de tweede: een niet-equidistante verdeling van 20 lagen
 1-1-2-3-4-5-6-8-10-10-10-10-8-6-5-4-3-2-1-1%
 van de instantane waterdiepte

In bijlage 8 zijn voor twee stations in de Scheveningen-raai voor hetzelfde tijdstip profielen gegeven bij gebruik van 10 en 20 sigma-lagen in de verticaal. Op basis van deze resultaten kon worden geconcludeerd dat met beide verdelingen de logaritmische verticale profielen goed worden gereproduceerd. Indien voor een bepaald proces voornamelijk interesse is in het gedrag van de stroming bij de bodem, kan echter beter gebruik worden gemaakt van 20 sigma-lagen, omdat hierbij het profiel aan de bodem iets scherper aanwezig is. Tevens mag worden verwacht dat met 20 sigma-lagen in de verticaal de zich in de verticaal afspelende fysische processen (met name zoutgradiënten) beter kunnen worden weergegeven. Voor het deelmodel was het geoorloofd in het vervolg de berekeningen met 20 sigma-lagen uit te voeren.

7.4 Initieel saliniteitsveld

In het 3D-KUSTSTROOK-model worden de transportvergelijkingen voor zout gekoppeld aan de waterbewegingsvergelijkingen. Een initieel saliniteitsveld is verkregen uit een aantal simulaties met het 2D(H)-KUSTSTROOK-model. Dit initieel saliniteitsveld is vervolgens gelijk genomen voor alle lagen in de verticaal.

7.5 Bodemschuifspanning

Tussen bodemschuifspanning en Manning-coëfficiënt geldt de volgende relatie:

$$C_{2D} = \frac{H^{\frac{1}{6}}}{n}$$

met n de opgegeven Manning-coëfficiënt in $s/m^{0.33}$

In de 2D(H)-afregeling van het KUSTSTROOK-model zijn voor de bodemschuifspanning Manning-coëfficiënten van $0.026 s/m^{0.33}$ gebruikt, die in het 3D-deelmodel zijn overgenomen. Het Noorderhavenhoofd bij Hoek van Holland is met schotjes gemodelleerd, waardoor deze ondoordringbaar is voor water en geen diffusie mogelijk is.

Zoals eerder genoemd (par. 5.6) zijn in de TRIWAQ-in-SIMONA programmatuur, indien gekozen is voor een turbulentiemodel met parabolische verticale viscositeit, twee mogelijkheden opgenomen om de bodemruwheid voor de driedimensionale berekeningen te bepalen. Bij de eerste mogelijkheid worden de in de 2D-berekeningen gevonden waarden voor de bodemruwheid aangehouden, bij de tweede mogelijkheid worden de 2D-bodemruwheden op beschreven wijze naar 3D-bodemruwheden omgerekend.

In dit gevoeligheidsonderzoek zijn beide mogelijkheden onderzocht. Het blijkt dat bij gebruik van de tweede methode de resultaten uit de 2D-verificatiefase het beste worden benaderd. In de volgende berekeningen wordt dan ook telkens gebruik gemaakt van de tweede methode.

7.6 Zoetwaterbronnen

TRIWAQ-in-SIMONA kent twee mogelijkheden voor de verdeling van een debiet ter plaatse van een zoetwaterbron.

Bij de eerste mogelijkheid wordt het debiet uniform over alle lagen verdeeld, bij de tweede mogelijkheid wordt het debiet in een bepaalde (zelf te kiezen) laag geplaatst.

In de simulatieresultaten in het gevoeligheidsonderzoek kwam bij gebruik van de eerste mogelijkheid in vergelijking met de meetgegevens niet voldoende stratificatie voor. Hierop zijn de debieten in de bovenste laag gelegd, zodat de bovenste lagen bij aanvang al wat zoeter zijn dan de onderlagen. Dit had tot gevolg dat de simulatieresultaten een betere benadering van de werkelijkheid gaven. In de volgende simulaties worden de debieten dan ook telkens in de bovenste laag geplaatst.

7.7 Turbulentiemodel

Om de zich in de verticaal afspelende fysische processen (zoals bijvoorbeeld menging) zo goed mogelijk te benaderen, is in eerste instantie gekozen voor een turbulentiemodel waarbij eddy viscosity en eddy diffusivity een parabolisch profiel hadden, en de mengweglengte op de beschreven wijze (par. 5.6) werd gedempt.

Het resultaat hiervan was dat volledige menging van zout over de verticaal plaatsvond, hetgeen niet in overeenstemming met de meetgegevens was. Bovendien waren in het verticale verloop van de eddy viscosity en eddy diffusivity ongewenste trapjeslijnen ([van Kester, 1993]) waar te nemen. Op korte termijn was het echter niet mogelijk hier een aanpassing op aan te brengen. Als oplossing is gekozen voor een turbulentiemodel waarbij de eddy viscosity een parabolisch profiel heeft, de mengweglengte wordt gedempt, en de eddy diffusivity een constante waarde heeft. De redelijk

gestratificeerde meetresultaten werden het beste gereproduceerd als voor de eddy diffusivity de waarde $0.0005 \text{ m}^2/\text{s}$ wordt gebruikt (de kleinste mogelijke waarde voor deze parameter in de TRIWAQ-in-SIMONA-programmatuur). De eddy diffusivity staat in de volgende simulaties in het gevoeligheidsonderzoek dan ook op $0.0005 \text{ m}^2/\text{s}$.

7.8 Tijdsintegratie in de verticaal

In TRIWAQ-in-SIMONA is het met de parameter θ ($0 \leq \theta \leq 1$) mogelijk aan te geven op welke wijze de tijdsintegratie in de verticaal moet verlopen. Voor $\theta = \frac{1}{2}$ is de afbrekfout $O(\Delta t^2)$, voor alle overige waarden is deze $O(\Delta t)$, waardoor in deze gevallen numerieke diffusie wordt gegenereerd.

Voor $\theta < \frac{1}{2}$ is de integratie voorwaardelijk stabiel en wordt de integratie expliciet berekend aan het systeem wordt diffusie onttrokken
 voor $\theta \geq \frac{1}{2}$ is de integratie onvoorwaardelijk stabiel en wordt de integratie impliciet bepaald aan het systeem wordt diffusie toegevoegd.

(Voor details zie [Lander e.a., 1994]).

In het gevoeligheidsonderzoek is gebleken dat voor simulaties waarbij de waarde van θ in het waterbewegingsgedeelte gelijk is aan $\frac{1}{2}$, zodanige instabiliteiten optraden, dat ze voortijdig werden afgebroken. Hierop is besloten in het vervolg van het gevoeligheidsonderzoek gebruik te maken van $\theta = 1$.

7.9 Rekentijden (CPU)

De rekestijd is voor een berekening met het deelmodel op de CRAY-YMP ongeveer 30 minuten per gesimuleerde dag. Het deelmodel heeft 1848 punten, waarvan 1541 actief in de berekening aanwezig zijn. Het gaat hierbij om simulaties met 20 sigma-lagen in de verticaal en met één constituent (zout).

Ter vergelijking: De rekestijd voor een berekening met het gehele 3D-KUSTSTROOK-model op de CRAY-YMP is ongeveer 50 minuten per gesimuleerde dag. Het gehele KUSTSTROOK-model heeft 55094 punten, waarvan 21426 actief in de berekening aanwezig zijn. Het gaat hierbij om simulaties met 4 sigma-lagen in de verticaal en met één constituent (zout).

7.10 Resultaten

Op basis van het gevoeligheidsonderzoek zijn voor de uiteindelijke berekeningen de volgende keuzes gemaakt:

Droogvalprocedure:	Gemiddeld (nummer 1)
Var-parameter:	30 cm
Tijdstap:	5 minuten
Courant getal:	Op de buitenrand van het model 9, Op de kustlijn 13.5
Wind drag coëfficiënt	0.028
Horizontale diffusiecoëfficiënt	$1 \text{ m}^2/\text{s}$
Horizontale viscositeitscoëfficiënt	$1 \text{ m}^2/\text{s}$
Verdeling sigma-lagen	niet-equidistante verdeling van 20 lagen 1-1-2-3-4-5-6-8-10-10 10-10-8-6-5-4-3-2-1-1%
Bodemschuifspanning	omrekening 2D naar 3D via z_0
Verticale positie opdrukken debiet	bovenste sigma-laag
Turbulentiemodel	eddy viscosity parabolisch mengweglengte gedempt eddy diffusivity constant $0.0005 \text{ m}^2/\text{s}$

7.10.1 Bijlagen

In de bijlagen 9.1 tot en met 14.4 worden de resultaten gerepresenteerd van de 3D-simulatie in de periode 18 tot 20 oktober 1990 in vergelijking met de meetgegevens.

In de bijlagen 9.1 tot en met 9.3 zijn in ieder figuur berekende en gemeten waterstanden gerepresenteerd. De reproductie van de waterstanden door het model is voldoende acceptabel. Alleen in Hoek van Holland is een iets grotere afwijking waar te nemen. Dit is waarschijnlijk te wijten aan:

- de complexe geometrie in dit gebied, waarvoor het aantal harmonische componenten waarmee de rand van het model wordt aangedreven, niet voldoende is,
- de grove opzet van het rooster waardoor de Nieuwe Waterweg niet voldoende nauwkeurig kan worden weergegeven.

In de bijlagen 10.1 tot en met 10.11 zijn voor alle meetpunten op de Scheveningen-raai het verloop in de tijd voor de periode 18 oktober 1990 15:00 tot 19 oktober 1990 15:00 van gemeten en berekende waarde van absolute snelheid en richting opgenomen. Gelet op het feit dat in TRIWAQ-In-SIMONA in de verticaal met sigma-lagen wordt gewerkt, geldt dat de ligging van de verschillende sigma-lagen varieert in de tijd, terwijl de meetpunten zich op een vaste diepte bevinden. In de bijlagen is informatie uit die verticale laag die zo dicht mogelijk bij de meetpositie in de verticaal lag, gepresenteerd. Berekende absolute snelheid en richting komen in het algemeen goed overeen met die van de meetgegevens. Op het tijdstip van kentering is in sommige gevallen echter een faseverschuiving van een half uur waar te nemen. Ook zijn in een aantal stations in de gemeten absolute snelheden lokale maxima waar te nemen, die niet uit de modelresultaten naar voren komen (de bovenste figuur in bijlage 10.3).

In bijlage 11.1 is voor Scheveningen-3km op twee verschillende punten in de verticaal (5.5m en 9.5m onder NAP) berekende en gemeten saliniteten weergegeven. Uit deze figuren blijkt, dat ook in de modelresultaten de korte fluctuaties die in de meetgegevens voorkomen aanwezig zijn. Dat deze echter niet geheel overeenstemmen met de meetgegevens is waarschijnlijk te wijten aan het feit dat de meetgegevens op een vaste diepte worden gepresenteerd, terwijl in de simulaties met bewegende sigma-lagen wordt gewerkt. Momenteel wordt de naverwerkings-programmatuur aangepast, zodat ook de simulatieresultaten in de toekomst op een vaste diepte kunnen worden gepresenteerd.

In de bijlagen 11.2 tot en met 11.4 zijn voor alle punten op de Scheveningen-raai het verloop in de tijd voor de periode 10 tot 20 oktober 1990 van saliniteit van de bovenste, middelste, en onderste laag gepresenteerd. Uit het gevoeligheidsonderzoek Noordwijkraai (Ivan Kester, 1994) is gebleken dat voor de simulatie-periode van 10 tot 20 oktober 1990 voor dit het model rekening gehouden dient te worden met een inspeeltijd voor saliniteit van vier à vijf dagen. Dit blijkt ook uit deze bijlagen.

In bijlage 12 is opgenomen de waterstand van Scheveningen en de absolute snelheid van het station Scheveningen-3km, op laag 10. Voor de weergave van een aantal profielen is op basis van deze gegevens een keuze gemaakt voor een aantal karakteristieke tijdstippen van het getij, te weten:

18 oktober 20:30 (maximale eb)
19 oktober 00:30 (kentering)
19 oktober 02:30 (maximale vloed)

In bijlage 13.1 tot en met 13.6 zijn voor de gekozen tijdstippen voor de stations op de Scheveningen-raal het verticale verloop van absolute snelheid en richting van meting en berekening weergegeven. Uit deze figuren blijkt dat in het algemeen tussen meting en berekening een goede overeenkomst is. Alleen de resultaten voor het station Scheveningen-8km 4m onder NAP wijken duidelijk af van de meting. Uit navraag (Bos) is echter gebleken dat de meetdata van dit station niet betrouwbaar zijn.

De reproductie van de kentering is in vergelijking met de tijdstippen van maximale eb en vloed minder nauwkeurig. Dit is waarschijnlijk te wijten aan het feit dat de kentering zeer kort is en dat de keuze van weergave van dit tijdstip zeer gevoelig is (dit blijkt ook duidelijk uit bijlage 11).

In het algemeen kan worden geconcludeerd dat de reproductie van de stroomsnelheden de werkelijkheid goed benadert.

In bijlage 14.1 is het verloop van de berekende saliniteit over de verticaal dwars op de kust ter hoogte van de Scheveningen-raal voor de drie karakteristieke tijdstippen van het getij gegeven. In bijlage 14.2 is hetzelfde gedaan voor een langsdoorsnede door de Nieuwe Waterweg.

In bijlage 14.3 is voor de bovenste sigma-laag van het deelmodel de berekende saliniteitsverdeling op 18 oktober 1990 om 22:30 gegeven.

In bijlage 14.4 is hetzelfde gedaan voor de berekende snelheidsverdeling. De figuren in de bijlagen 14.1 tot en met 14.4 zijn afkomstig van de animaties die in de volgende paragraaf worden besproken.

7.10.2 Animaties

Op bijgeleverde diskette staan animaties van saliniteiten, absolute snelheid en richting voor de bovenste laag van het deelmodel, en dwarsdoorsneden van de Scheveningen-raal en de Nieuwe Waterweg.

Voor de animatie van de saliniteiten, conc.ani, is tussen 18 oktober 1990 20:30 en 19 oktober 1990 8:30 informatie weggeschreven met een frequentie van twee uur. In deze periode vindt uitstroom van een hoeveelheid zoet water uit de Nieuwe Waterweg en de verplaatsing hiervan langs de Nederlandse kust plaats. Duidelijk is een zogenaamde zoetwaterbel waar te nemen, zoals die ook in de meting heeft plaatsgevonden, zie [Bos e.a., 1992]. De berekende zoetwaterbel is echter minder geprononceerd aanwezig dan het gemeten verschijnsel. Dit heeft waarschijnlijk te maken met het feit dat het rooster in de horizontaal te grof is om dergelijke processen te kunnen reproduceren.

Hoewel geen volledige set meetdata betreffende de saliniteitsverdeling in de monding van de Nieuwe Waterweg en omgeving beschikbaar was, kan op basis van het verkregen beeld worden geconcludeerd dat het saliniteitsverloop consistent is met de algemene saliniteitsverdeling behorend bij een gemiddelde Rijnafvoer.

De snelheidsanimatie snel.ani geeft het verloop van de snelheid en richting voor de periode 18 oktober 1990 20:30 tot 19 oktober 1990 8:30 met een frequentie van twee uur. Op de buitenrand van het model verschijnen voor iedere tijdstap richtingen voor de snelheden die niet overeenkomen met de rest van het veld. Dit heeft te maken met de afhandeling van randpunten binnen Animate. Het effect is niet in de feitelijke berekeningsresultaten terug te vinden.

In de animatie dwsch.ani is het verloop van de saliniteit in een doorsnede dwars op de kust ter hoogte van de Scheveningen-raal gegeven voor de periode 18 oktober 1990 20:30 tot 19 oktober 1990 8:30 met een frequentie van twee uur. Op deze lokatie is de zoetwaterbel die in de animatie van de bovenste laag waar is genomen, nauwelijks nog aanwezig.

en is er ook over de verticaal weinig variatie in het zoutgehalte. In de animatie dwnww.ani is het verloop van de saliniteit in een langsdoorsnede van de Nieuwe Waterweg gegeven voor de periode 18 oktober 1990 20:30 tot 19 oktober 1990 8:30 met een frequentie van twee uur. Hier is duidelijk uit-, en instroom van zoet water waar te nemen. Over de verticaal is behoorlijke stratificatie aanwezig, die overeenkomt met de algemeen geldende kennis over de stratificatie in dit gebied.

8 Conclusies

Het gevoeligheidsonderzoek met een deelmodel van het 3D-KUSTSTROOK-model, dat loopt van IJmuiden tot Schouwen Duiveland, is met deze rapportage afgerond. Vastgesteld kan worden dat de weergave van het deelmodel van waterstanden en snelheden in vergelijking met meetgegevens, vertrouwen geeft in de mate waarin het volledige 3D-KUSTSTROOK-model waterstanden en snelheden zal reproduceren. Het algemene beeld van zowel horizontale als verticale saliniteitsverdelingen zoals die door het deelmodel worden gegeven, is tevens zodanig, dat ook over de reproductie hiervan door het gehele 3D-KUSTSTROOK-model de verwachtingen positief zijn.

Op dit moment geeft het turbulentiemodel waarbij voor zowel eddy viscosity als eddy diffusivity een parabolisch profiel wordt aangehouden, volledige menging over de verticaal. Om toch enige stratificatie in de simulatieresultaten te verkrijgen, is gekozen voor een turbulentiemodel waarbij de eddy viscosity een parabolisch profiel heeft, en de eddy diffusivity een constante waarde.

Voor de simulatie-periode van 10 tot 20 oktober 1990 dient voor dit model rekening gehouden te worden met een inspeeltijd voor saliniteit van vier à vijf dagen.

In de TRIWAQ-in-SIMONA programmatuur zijn, indien gekozen is voor een turbulentiemodel met parabolische verticale viscositeit, twee mogelijkheden opgenomen om de bodemruwheid voor de driedimensionale berekeningen te bepalen.

Bij de eerste mogelijkheid worden de in de 2D-berekeningen gevonden waarden voor de bodemruwheid aangehouden, bij de tweede mogelijkheid worden de 2D-bodemruwheden naar 3D-bodemruwheden omgerekend. Met deze laatste mogelijkheid worden de beste resultaten bereikt.

In de verticaal is gebruik gemaakt van een equidistante verdeling van 10 sigma-lagen, en een niet-equidistante verdeling van 20 sigma-lagen. In beide gevallen werden de meetgegevens goed gereproduceerd. Bij het gebruik van 20 sigma-lagen is echter vooral aan de bodem een scherper logaritmisches profiel aanwezig.

Om stratificatie in het model te brengen, zijn de debieten in de bovenste laag ter plaatse van de bronnen gelegd.

Rijkswaterstaat/RIKZ heeft met het afronden van dit gevoeligheidsonderzoek een driedimensionaal model opgeleverd, dat als eerste aanzet een behoorlijke reproductie van meetgegevens levert. Een grote vooruitgang ten opzichte van tweedimensionale modellen is de mogelijkheid tot bestudering van stratificatie en veranderingen over de verticaal van snelheden. Ook kunnen processen die zich aan de bodem voordoen, in driedimensionale modellen op realistische wijze worden weergegeven.

9 Aanbevelingen

In januari 1994 zal een uitgebreide set meetgegevens van de meting uitgevoerd in mei 1993 in verband met de calibratie en verificatie van het RIJMAMO-model beschikbaar komen, waarmee ook het 3D-KUSTSTROOK-model zal worden gecallibreerd. Een periode voor verificatie moet nog nader worden bepaald.

In verband met capaciteitsproblemen van het huidige rekenmedium de CRAY-YMP was het tot op heden nog niet mogelijk simulaties met het volledige 3D-KUSTSTROOK-model met meerdere lagen in de verticaal uit te voeren. Door gebruik te maken van een recentelijk bij RIKZ aangeschaft HP 755 werkstation zal dit wel mogelijk zijn in de calibratie,- en verificatiefase van het 3D-KUSTSTROOK-model.

De inzet van een HP 755 werkstation maakt het naast het uitvoeren van simulaties met meerdere lagen in de verticaal tevens mogelijk in de calibratie,- en verificatiefase harmonische componenten van de snelheden te bestuderen.

Verder zullen in deze fasen Eulerse reststromingsberekeningen worden uitgevoerd, waarbij gebruik zal worden gemaakt van de door [Salden, 1994] ontworpen optie voor TRIWAQ-in-SIMONA.

Ook zal nog gekeken worden naar de weergave van het model tijdens perioden met extreme condities (meteo en afvoer).

Tenslotte zal, wanneer de naverwerkingsprogrammatuur zodanig is aangepast dat de simulatieresultaten op een vaste diepte kunnen worden weergegeven, worden gekeken of het model de korte fluctuaties in de gemeten saliniteitstijdreeksen beter reproduceert.

10 Literatuurlijst

W.G. Bos, A.W. Visser, C. Heins, G.J. Kollé, P.C. Beukenkamp
Rhine Plume experiment, Data report HOLLAND surveys, october 1990
Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, DGW-92.020
1992

R. Booij
Turbulentie in de waterloopkunde
TU Delft, collegedictaat b82
december 1992

R.P. van Dijk, R. Plieger
Het RIJMAMO-model
Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, RIKZ/OS-94.112X
maart 1994

C. Eckart
Properties of water, Part II, The equation of state of water and sea water at
low temperatures and pressures.
American Journal of Science, 256, p 225-240
1958

F.C. Groenendijk
CTD, -zuurstof, -en troebelheidsmetingen in drie dimensies in de
Nederlandse kustzone
RUU, Instituut voor meteorologie en oceanografie, R90-4
1989

H.W.J. Kernkamp, Th. van der Kaaij
Opzet en afregeling TRISULA model RIJMAMO, 2Dh-fase
Waterloopkundig Laboratorium, Z590
mei 1993

J.A.Th.M van Kester, R.E. Uittenbogaard, G.S. Stelling
Gevoelighedsonderzoek 3D-Noordwijkstraai-model
Waterloopkundig Laboratorium, Z691
maart 1994

J.A.Th.M. van Kester, R.E. Uittenbogaard, G.S. Stelling
Some verifications of TRISULA-3D with three turbulence models
Delft Hydraulics, draft report Z81
June 1993

J.M. de Kok
Een twee-lagen model voor de Hollandse kustzone
Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, GWAO 87.218
1987

J.M. de Kok
Testcase TRISULA
Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, GWAO 87.420
november 1987

E.V.L. Kuijper
Bouw en afregeling van het 2D(H) KUSTSTROOK-model
Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, GWAO-93.123X
juni 1993

E.V.L. Kuijper
Uitbreiding bodemschematisatie KUSTSTROOK-model
Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, RIKZ/OS-94.102X
maart 1994

J.W.M. Lander, P.A. Blokland, J.M. de Kok
The three-dimensional shallow water model TRIWAQ with a flexible vertical
grid definition
Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee
nog te publiceren in 1994

Jan J. Leendertse
A New Approach to Three-Dimensional Free-surface Flow Modelling
The Rand Corporation R-3712-NETH/RC
March 1989

N.A. Phillips
A coordinate system having some special advantages for numerical
forecasting
Journal of Meteorology, deel 14, pg. 185 - 187
1957

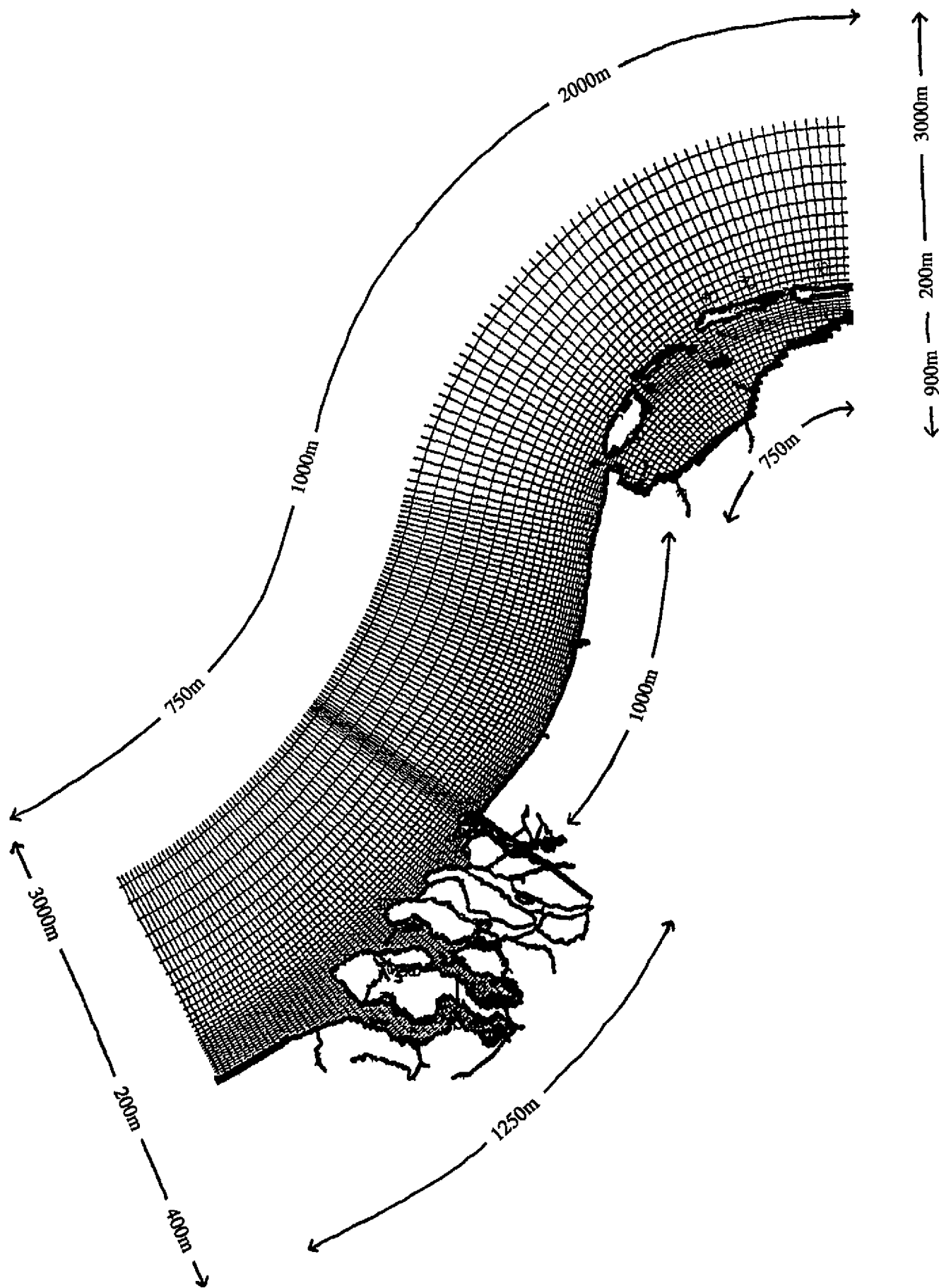
R. Salden en J. de Kok
Afregeling van het KUSTSTROOK-model ten behoeve van slibtransport
Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee
nog te publiceren in 1994

G.S. Stelling
On the construction of computational methods for shallow water problems
Delft University of Technology, Ph.D. Thesis
1983

R.E. Uittenbogaard, J.A.Th.M. van Kester, G.S. Stelling
Implementation of three turbulence models in TRISULA for rectangular
horizontal grids
Delft Hydraulics, Z162
May 1992

contract 1993
Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, DGW-92.039

Gebruikershandleiding HATYAN
Hoofdstuk 30
Rijkswaterstaat, Dienst Informatieverwerking
april 1983



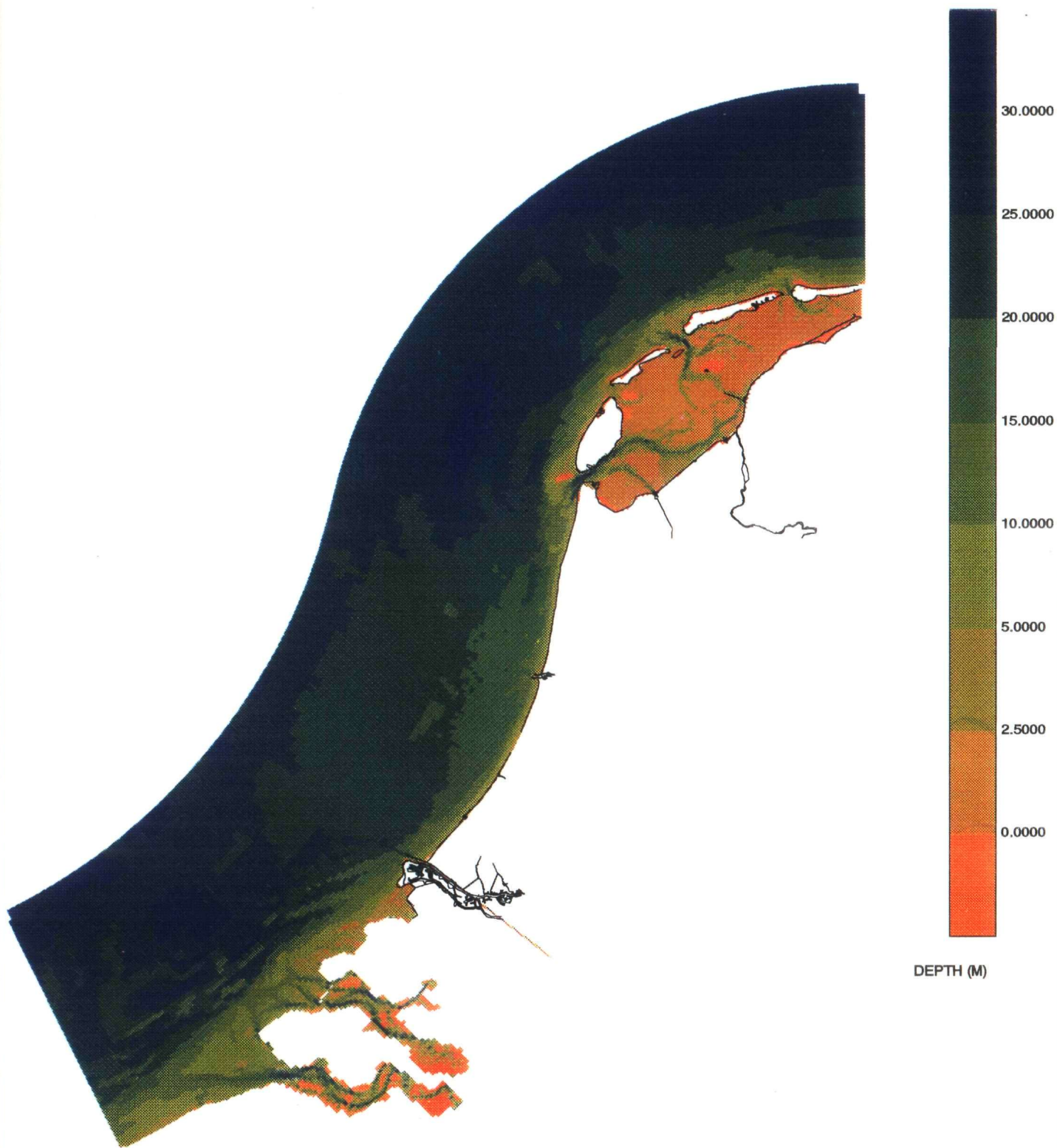
Omvang van het rooster voor het KUSTSTROOK-model
met een indicatie van de grootte van de roostercellen

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
DGW/Rijksinstituut voor Kust en Zee

Rapport DGW 93.044

Bijlage 1





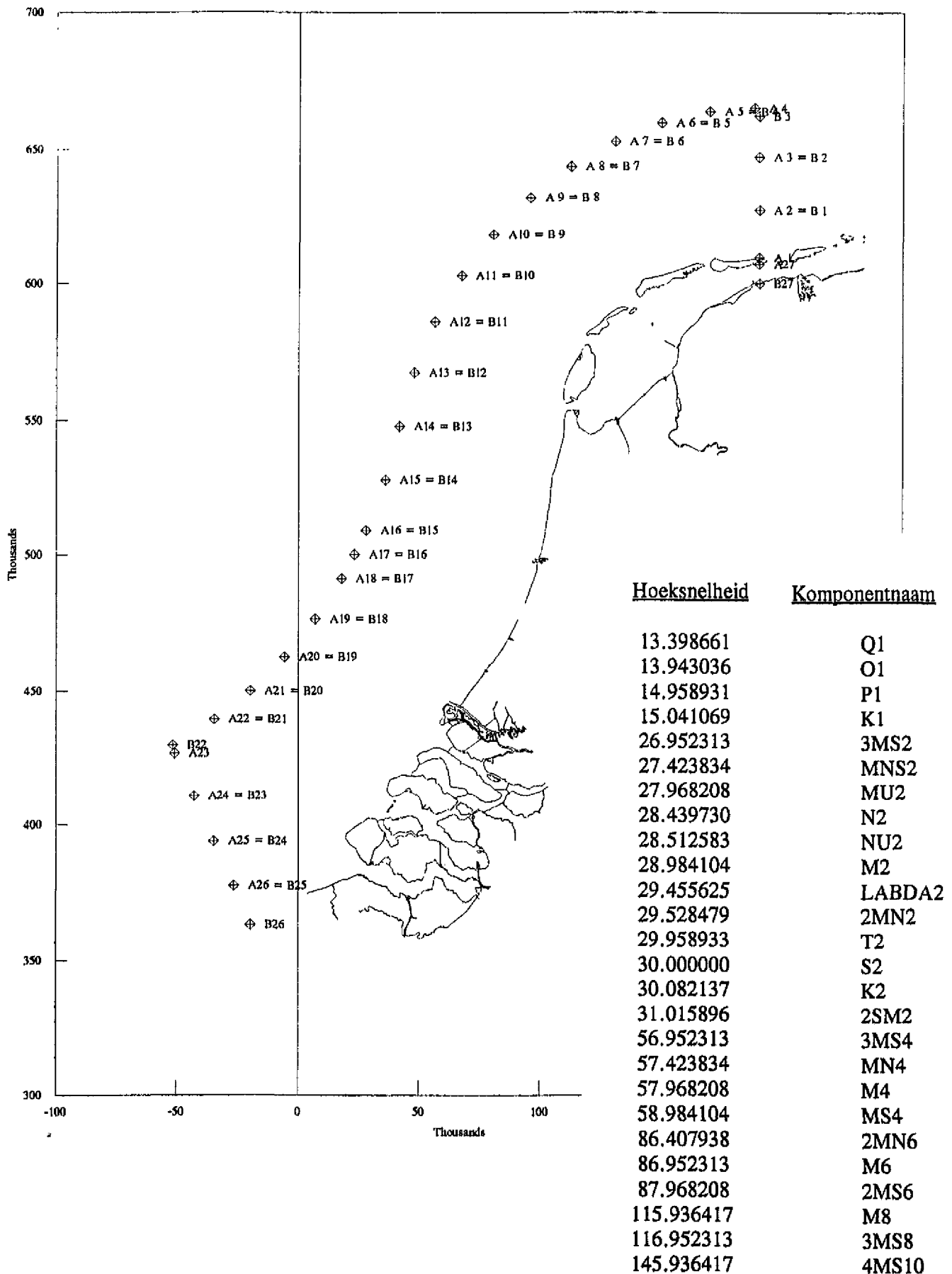
Bodem KUSTSTROOK-model

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
 Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
 DGW/Rijksinstituut voor Kust en Zee

Rapport DGW 93.044

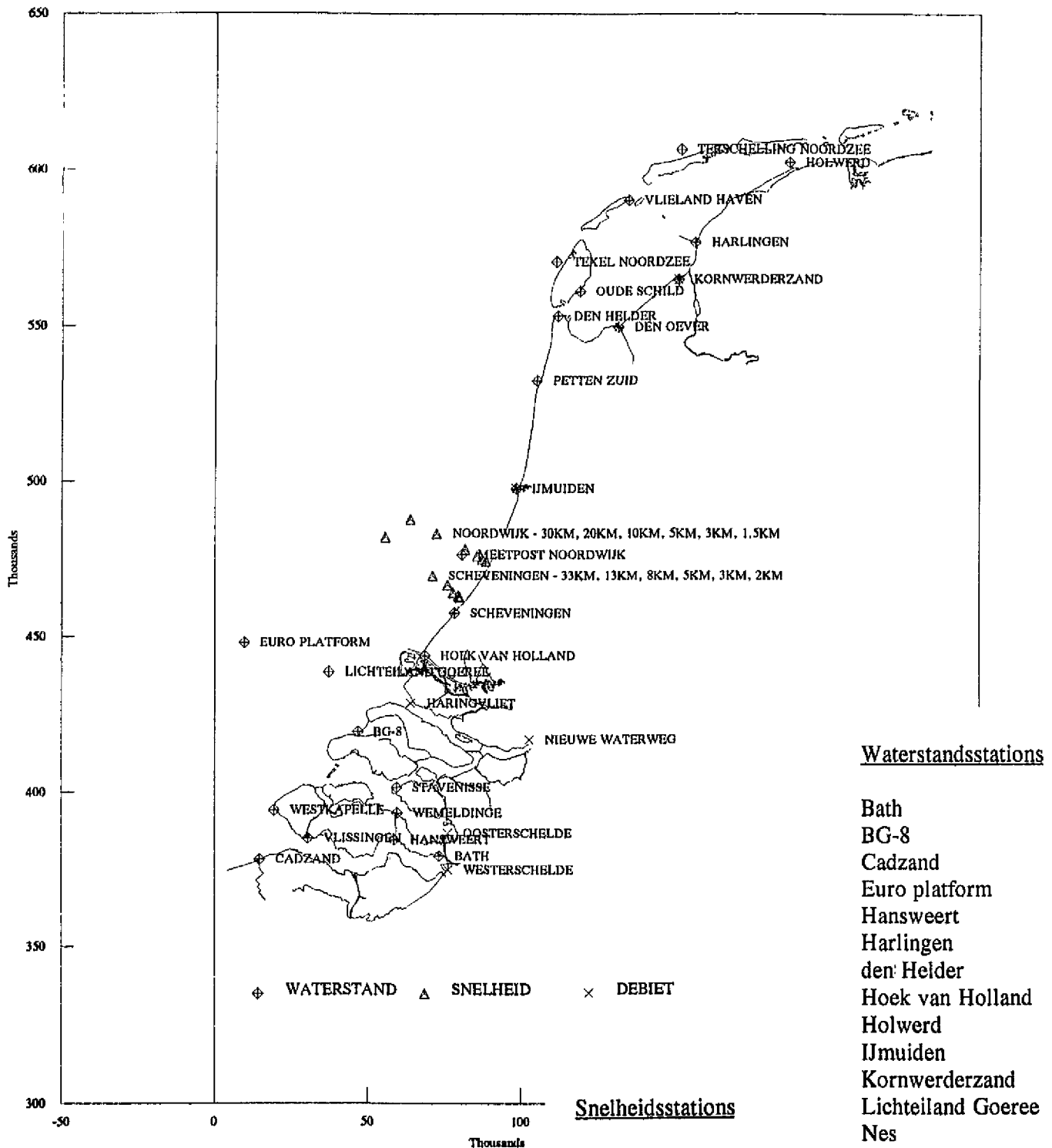
Bijlage 2





Verdeling van de steunpunten op de rand van het model en een overzicht van de harmonische componenten waarmee de randen worden aangestuurd





Waterstandsstations

- Bath
- BG-8
- Cadzand
- Euro platform
- Hansweert
- Harlingen
- den Heider
- Hoek van Holland
- Holwerd
- IJmuiden
- Kornwerderzand
- Lichteiland Goeree
- Nes

Snelheidsstations

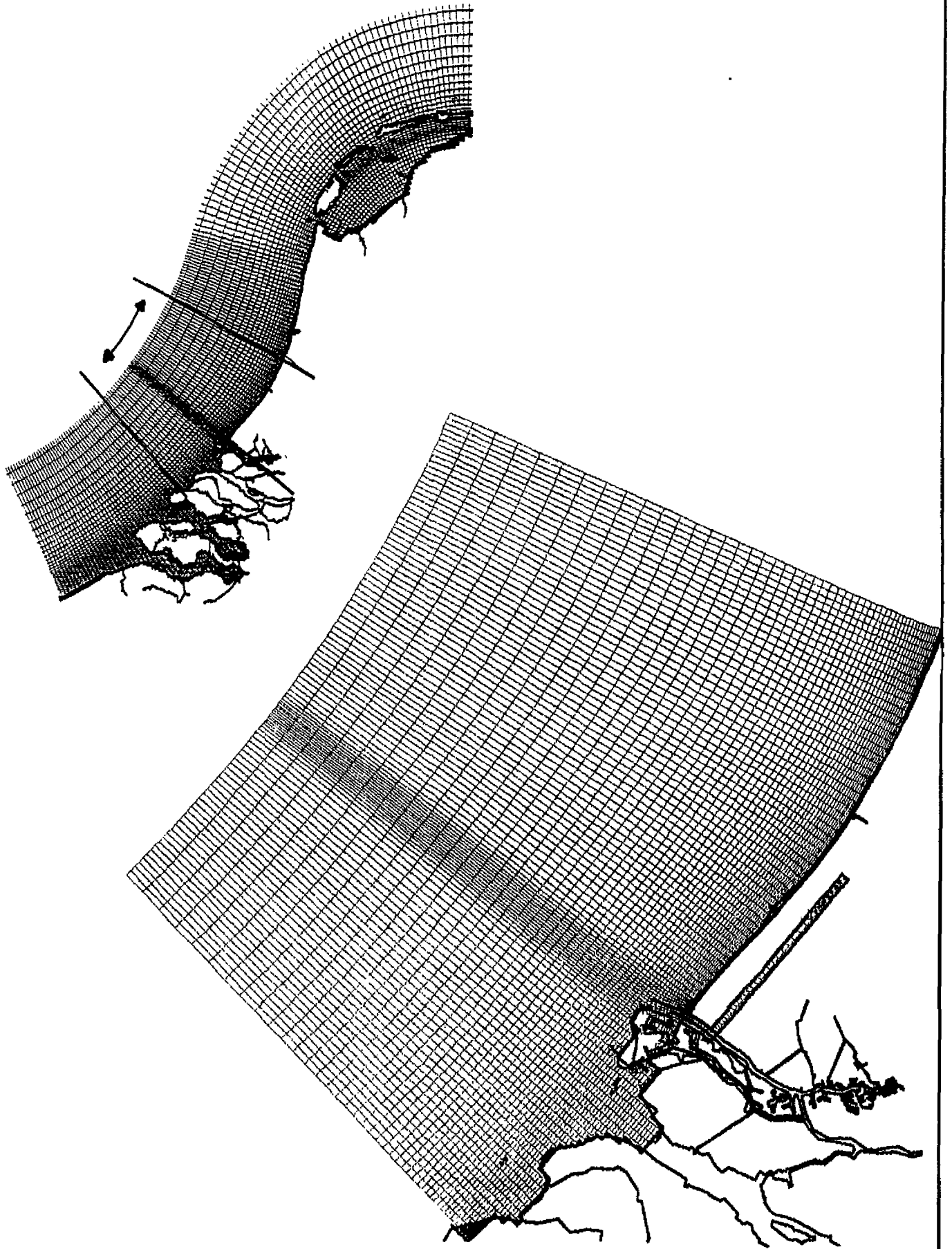
- Noordwijk - 1.5km
- Noordwijk - 3km
- Noordwijk - 5km
- Noordwijk - 10km
- Noordwijk - 20km
- Noordwijk - 30km
- Scheveningen - 2km (S2)
- Scheveningen - 3km (S3)
- Scheveningen - 5km (S5)
- Scheveningen - 8km (S8)
- Scheveningen - 13km (S13)
- Scheveningen - 33km (S33)
- Terschelling Noordzee
- Texel Noordzee
- Vlieland haven
- Vlissingen
- Wemeldinge
- Westkapelle

Zoetwaterbronnen

- Haringvliet
- IJmuiden
- Kornwerderzand
- Nieuwe Waterweg
- den Oever buiten
- Oosterschelde

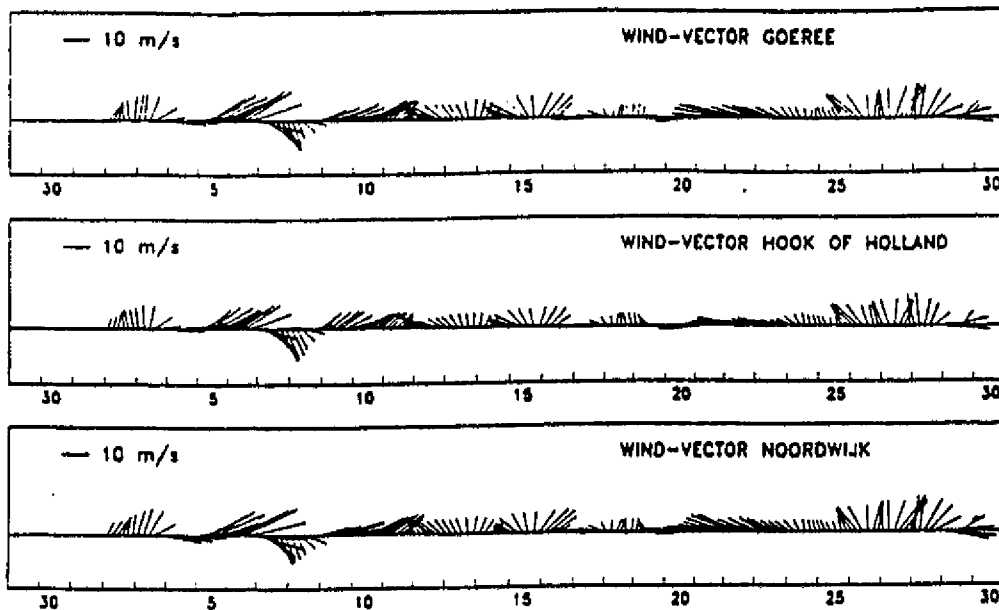
Zoetwaterbronnen en controlestations zoals opgenomen in het KUSTSTROOK-model





Rooster van het deelmodel IJmuiden - Schouwen Duiveland





SCHEVENINGEN

oktober 1990

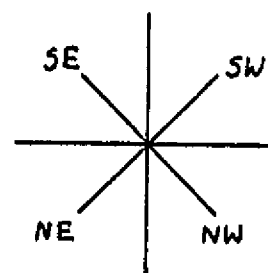
september 1990

oktober 1990

datum	hoogwater		laagwater	
	h min MET	NAP +cm	h min MET	NAP -cm
1 za	0.05	70	7.00	44
2 zo	12.55	65	19.10	58
	1.15	90	8.45	49
3 ma	13.46	81	21.14	66
	1.55	108	10.00	55
4 di	14.14	94	22.16	71
	2.30	122	10.44	52
5 wo	14.55	104	22.45	72
VM	2.59	133	11.20	46
2.45	15.26	112	23.20	72
6 do	3.35	141	11.30	43
	15.39	118	23.43	73
7 vr	4.09	145	12.06	44
	16.25	131	12.06	44
8 za	4.47	143	0.24	76
	17.15	123	12.35	47
9 zo	5.27	137	1.03	78
	17.49	125	13.20	50
10 ma	6.09	128	1.34	77
	18.32	124	13.54	51
11 di	6.56	113	2.15	75
LK	19.15	117	14.45	52
21.33	7.49	94	3.35	70
12 wo	20.15	102	15.27	51
	9.10	72	3.20	61
13 do	21.45	86	16.40	50
	10.45	60	3.40	52
14 vr	23.30	88	17.37	51
	12.19	69	7.27	54
15 za	-	-	19.44	61
16 zo	0.16	104	8.54	63
	13.19	85	20.35	74
17 ma	1.34	119	10.00	63
	14.05	98	22.05	79
18 di	2.15	127	11.45	57
	14.50	107	22.35	77
19 wo	2.55	130	10.55	46
NM	15.25	117	23.04	78
1.46	3.29	131	11.25	44
20 do	15.56	118	23.50	73
21 vr	4.06	130	12.05	48
	16.27	124	0.24	75
22 za	4.39	127	0.24	75
	17.06	126	12.54	53
23 zo	5.12	122	1.16	72
	17.31	126	13.35	57
24 ma	5.45	114	1.40	67
	18.06	121	14.06	57
25 di	6.19	106	1.55	59
	18.36	114	14.25	57
26 wo	6.45	98	2.15	53
	19.04	102	14.55	58
27 do	7.25	85	3.10	48
EK	19.34	83	15.34	58
3.05	8.34	65	4.10	43
28 vr	21.45	67	16.35	58
	10.16	51	5.04	40
29 za	23.24	73	17.24	57
	12.00	58	6.34	41
30 zo	-	-	18.50	57

datum	hoogwater		laagwater	
	h min MET	NAP +cm	h min MET	NAP -cm
1 ma	0.36	94	8.14	49
	13.00	77	20.25	65
2 di	13.34	93	9.36	56
	1.56	129	10.26	54
3 wo	14.16	107	22.26	71
4 do	2.26	140	10.43	47
VM	14.51	119	23.00	69
13.02	3.06	147	11.05	42
5 vr	15.27	128	23.24	67
6 za	3.42	149	11.45	43
	16.06	135	-	-
7 zo	4.25	144	0.04	67
	16.45	139	12.15	46
8 ma	5.07	135	0.45	68
	17.27	139	13.16	50
9 di	5.48	121	1.15	66
	18.07	135	13.56	34
10 wo	6.39	104	2.00	63
	18.55	123	14.45	56
11 do	7.34	83	2.40	57
LK	19.34	105	15.35	57
4.31	8.55	65	4.14	50
12 vr	21.45	93	16.25	56
	10.46	60	5.30	48
13 za	23.14	98	17.54	58
14 zo	12.00	71	7.15	34
15 ma	-	-	19.24	68
	0.36	111	8.34	63
	12.56	86	20.35	78
16 di	1.08	122	9.25	63
	13.45	99	21.35	79
17 wo	1.55	126	10.05	55
	14.19	108	22.05	71
18 do	2.36	126	10.25	47
NM	14.55	114	22.45	64
16.37	3.05	125	10.54	46
19 vr	13.29	120	23.19	61
	3.38	124	11.24	51
20 za	13.59	126	23.44	61
21 zo	4.16	121	12.25	58
	16.35	129	-	-
22 ma	4.45	117	0.24	60
	17.01	129	12.35	63
23 di	5.20	112	0.54	56
	17.35	125	13.35	64
24 wo	5.45	106	1.25	51
	18.05	119	14.05	64
25 do	6.14	100	1.57	45
	18.40	111	14.41	64
26 vr	6.55	90	2.50	41
EK	19.25	98	15.21	63
21.26	7.45	73	3.45	39
27 za	20.50	82	16.16	61
	9.36	61	4.44	38
28 zo	23.36	84	17.14	60
	10.56	62	6.15	40
29 ma	23.40	100	18.27	60
	12.06	76	7.45	48
30 di	-	-	20.07	67
31 wo	0.24	117	8.56	55
	12.55	94	21.00	75

LEWS 1993 D - NAP -93 cm ; IAT - NAP -110 cm



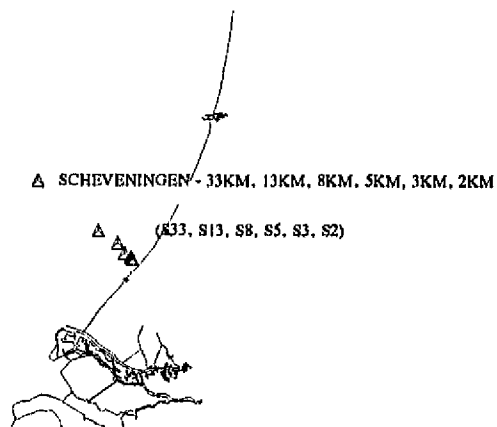
Gegevens betreffende de meetperiode oktober 1990

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
 Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
 DGW/Rijksinstituut voor Kust en Zee

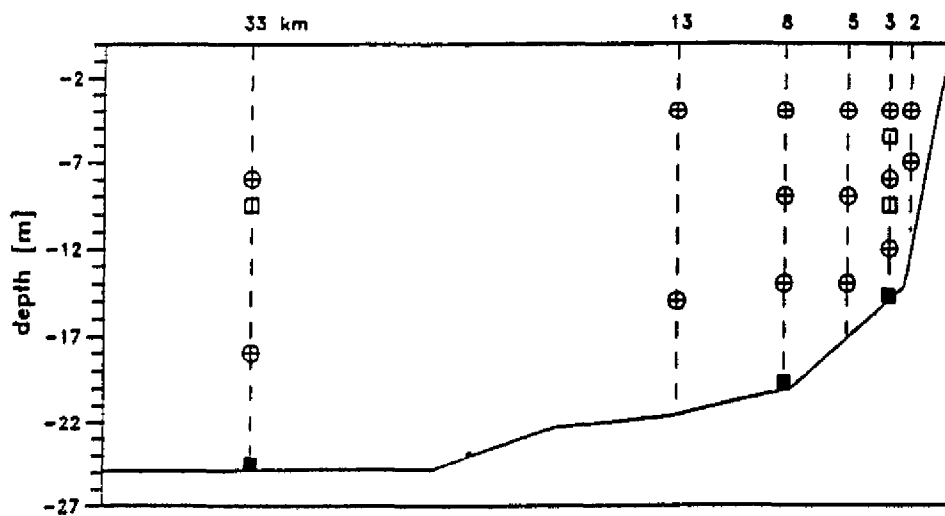
Rapport DGW 93.044

Bijlage 6





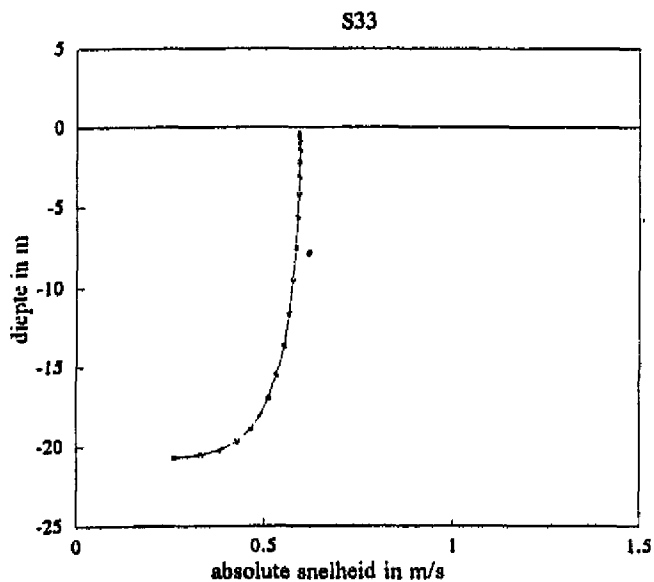
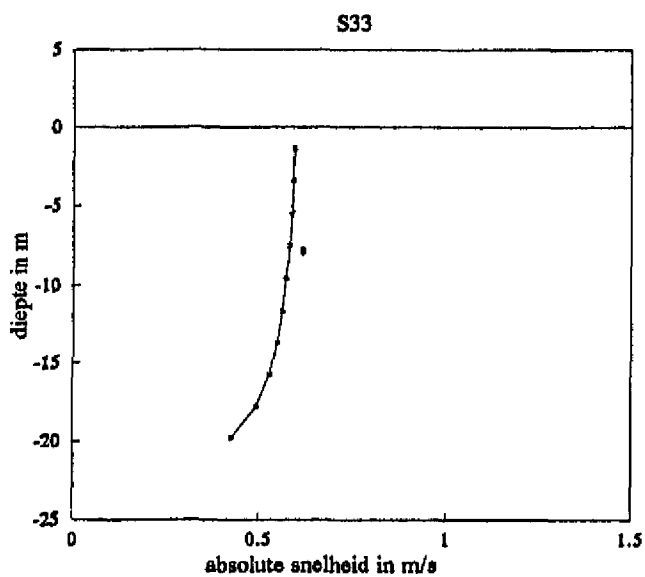
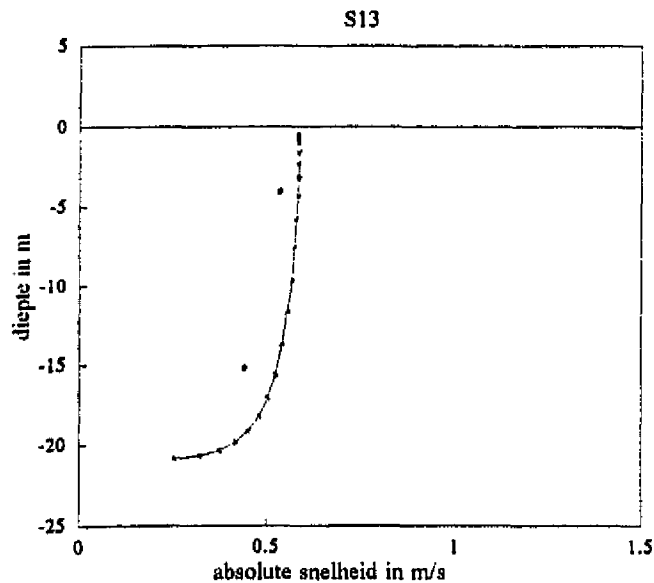
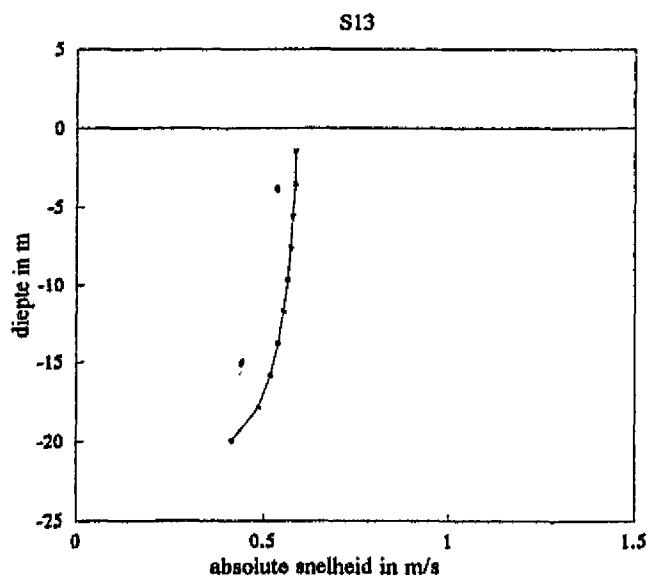
Stations in de Scheveningen-raai



- aanwezige instrumentatie:
- ⊕ OSM snelheidsmeters
 - Hydrolab waterkwaliteitssensoren
 - DAG600 drukdoos

Gegevens betreffende de metingen op de Scheveningen-raai



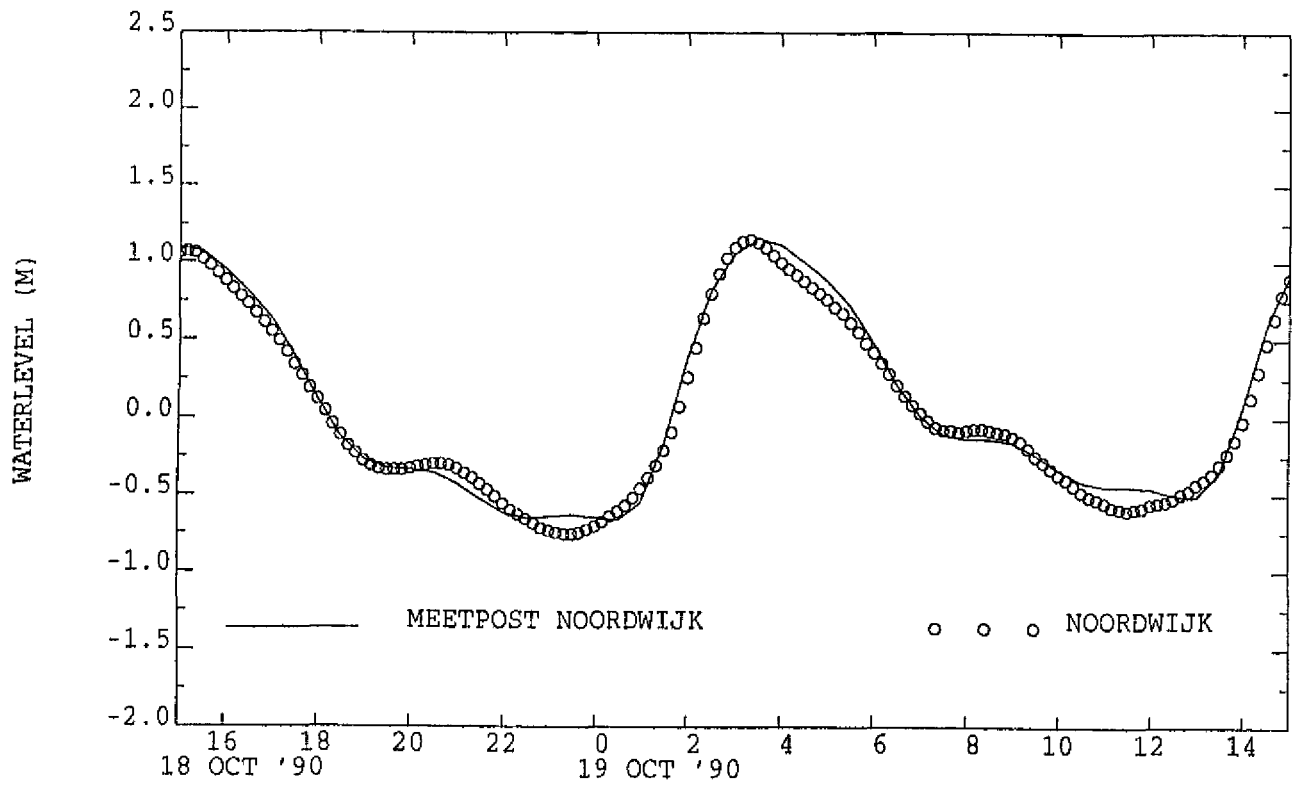


10 sigma-lagen
in de verticaal

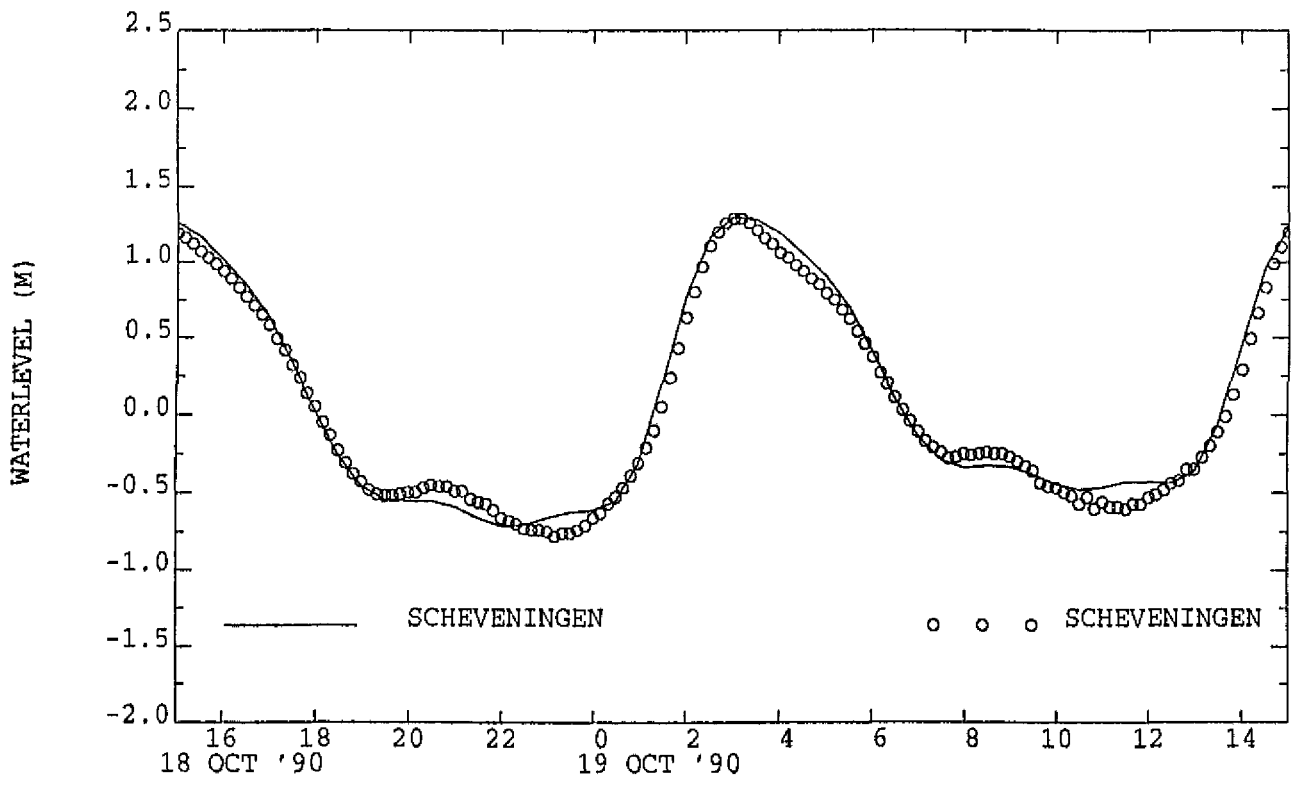
20 sigma-lagen
in de verticaal

Vergelijking weergave profielen met 10 en 20 sigma-lagen in de verticaal





— COMPUTED WATERLEVEL AT STATION
 ○ ○ ○ OBSERVED WATERLEVEL AT STATION



— COMPUTED WATERLEVEL AT STATION
 ○ ○ ○ OBSERVED WATERLEVEL AT STATION

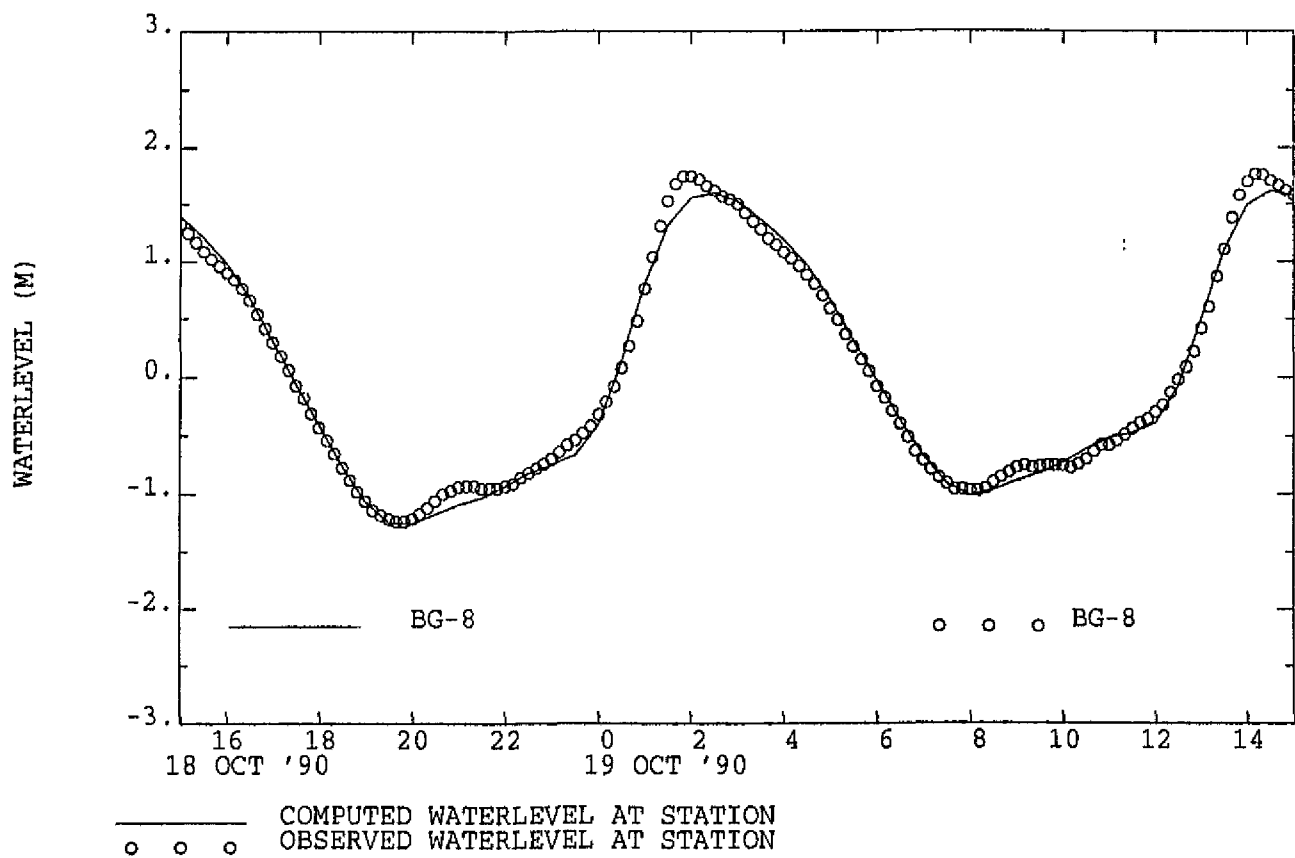
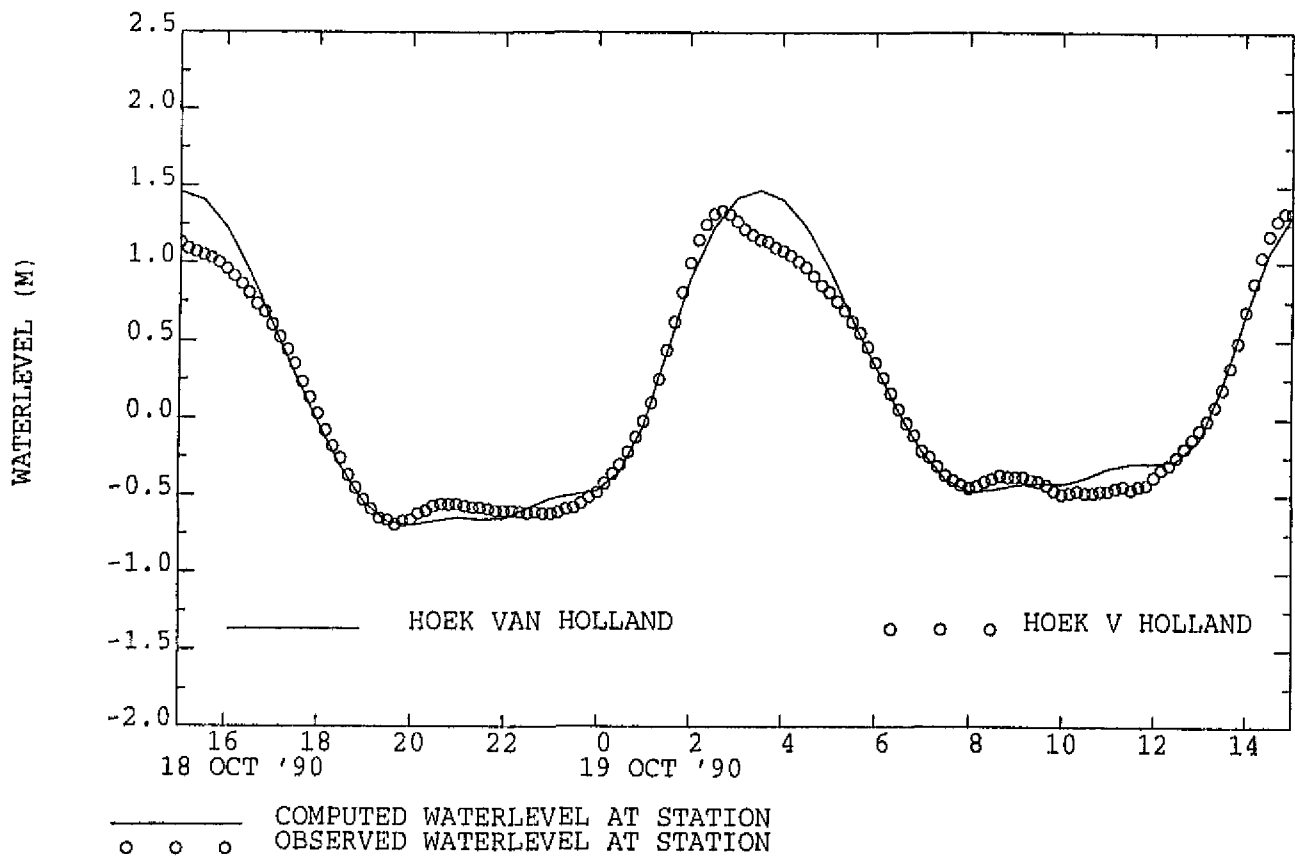
Waterstandsverloop berekend versus gemeten
 voor meetpost Noordwijk en Scheveningen

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
 Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
 DGW/Rijksinstituut voor Kust en Zee

Rapport DGW 93.044

Bijlage 9.1





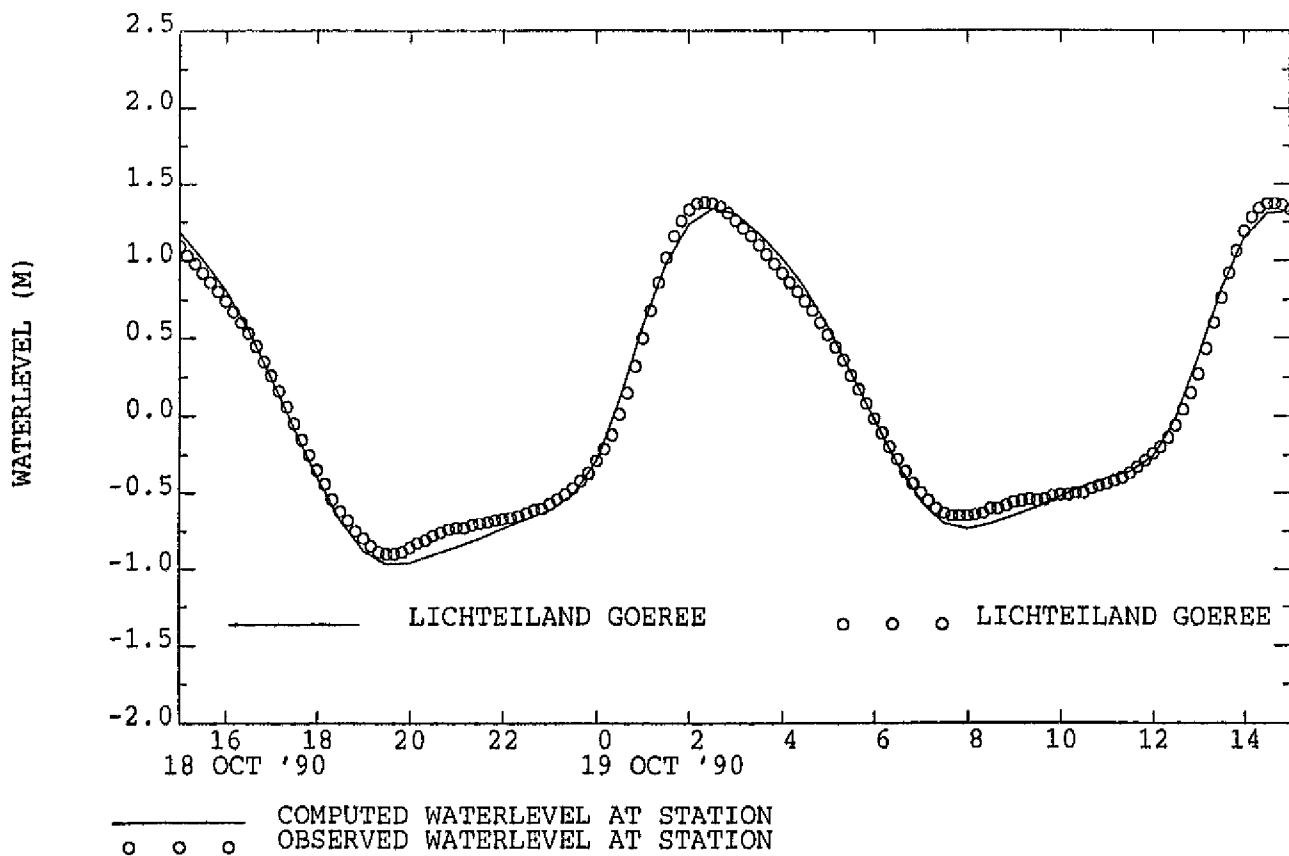
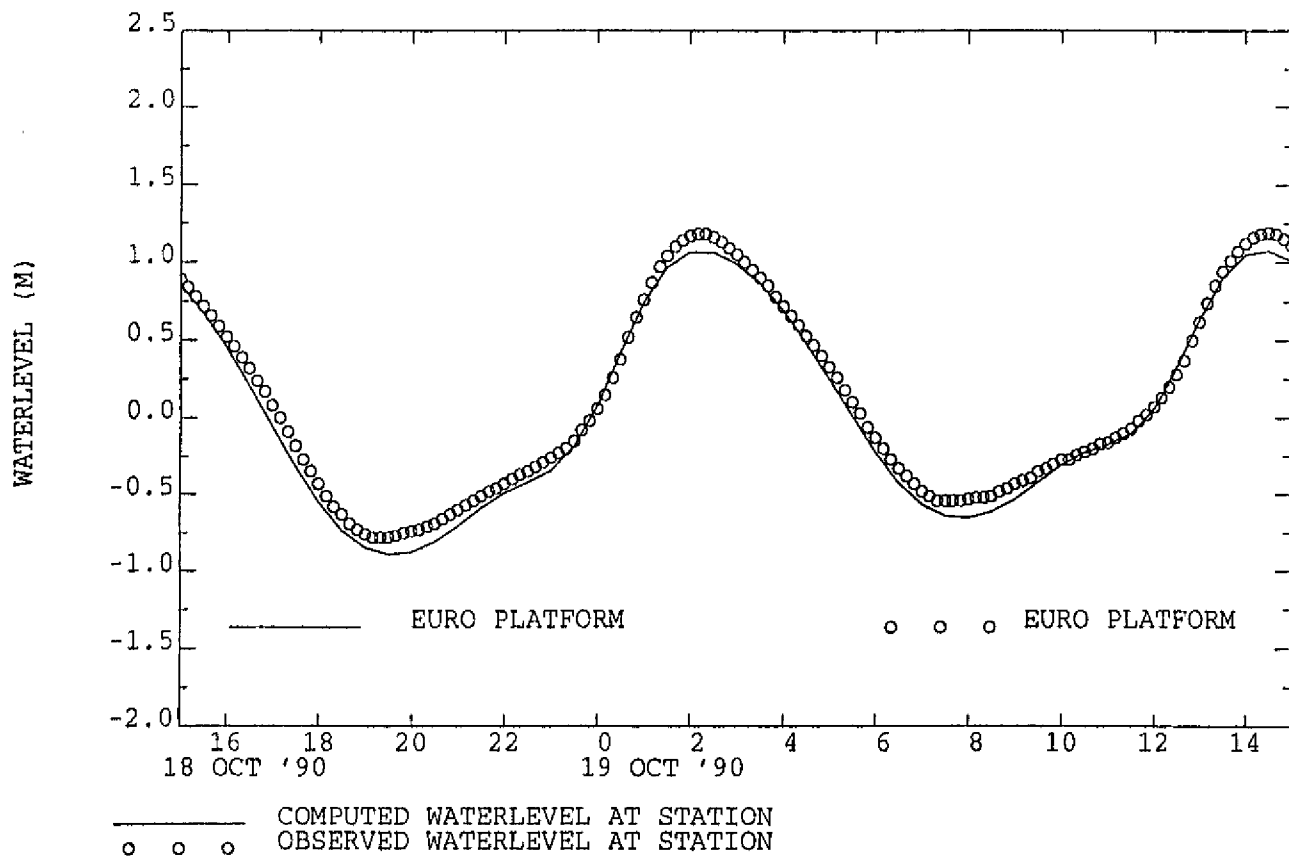
Waterstandsverloop berekend versus gemeten
voor Hoek van Holland en BG-8

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
DGW/Rijksinstituut voor Kust en Zee

Rapport DGW 93.044

Bijlage 9.2





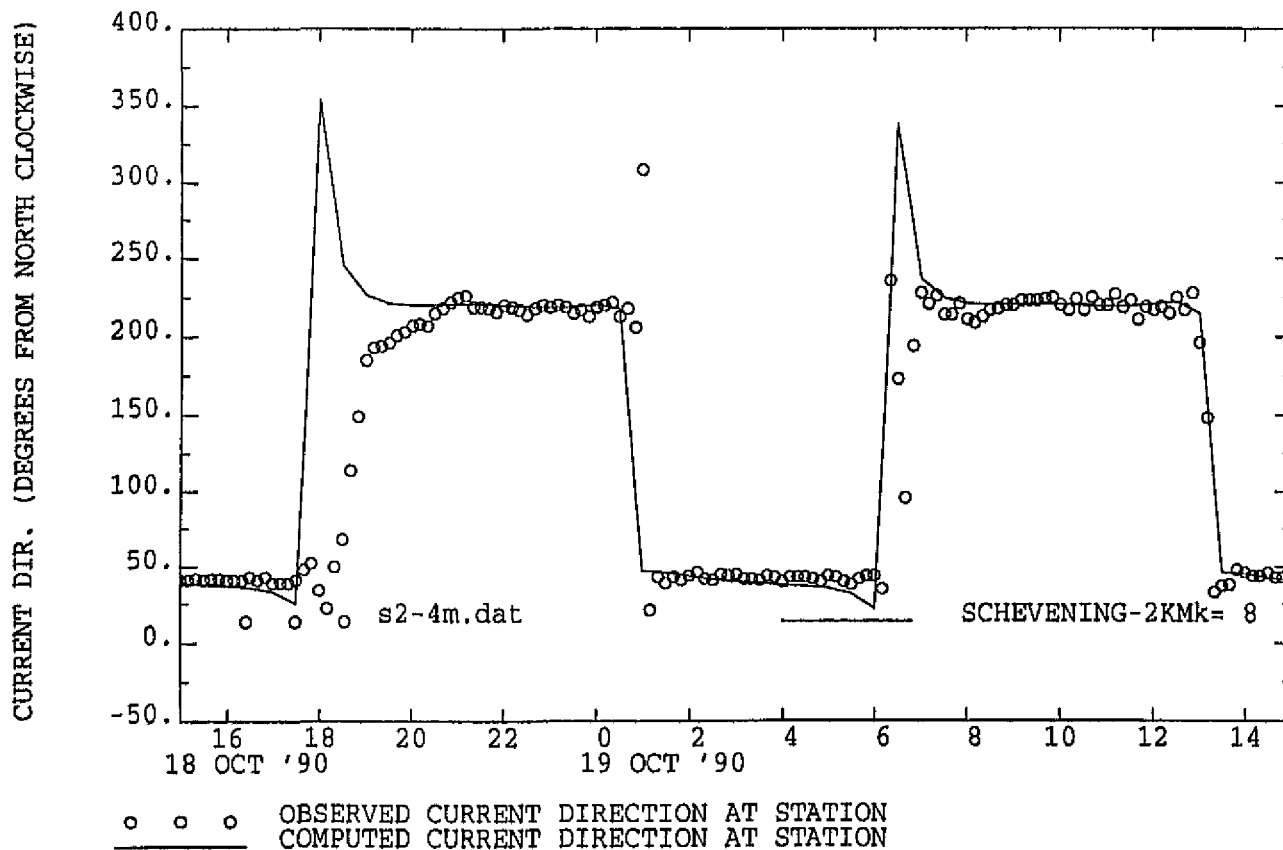
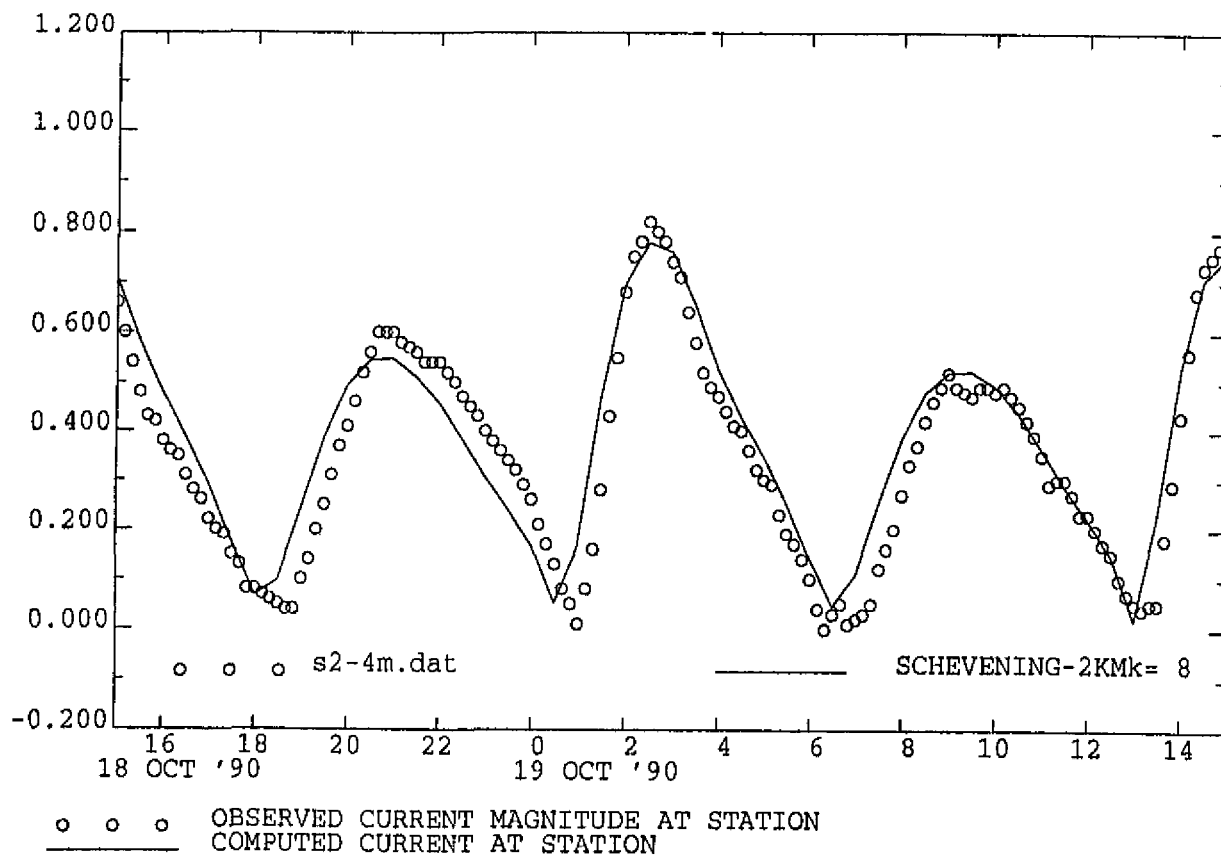
Waterstandsverloop berekend versus gemeten
voor Euro Platform en Lichteiland Goeree

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
DGW/Rijksinstituut voor Kust en Zee

Rapport DGW 93.044

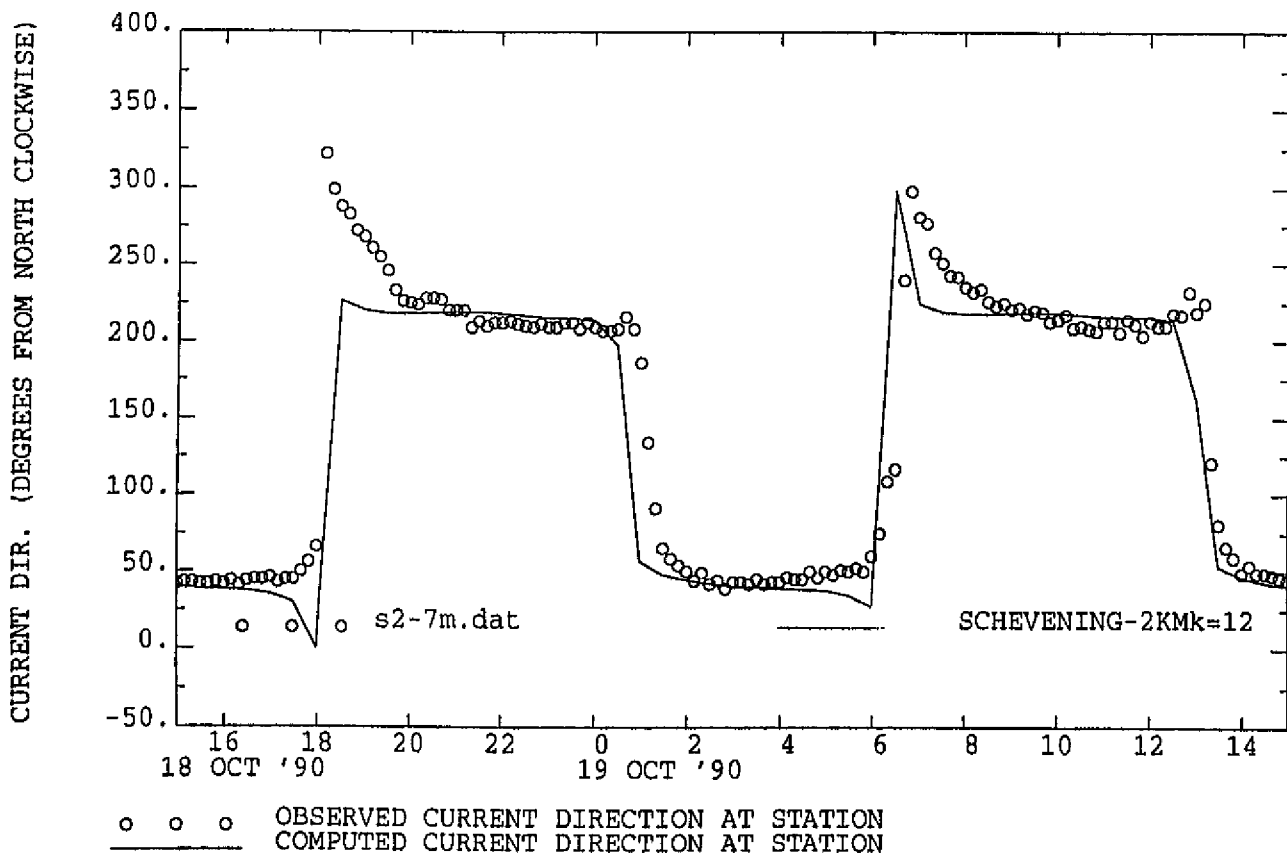
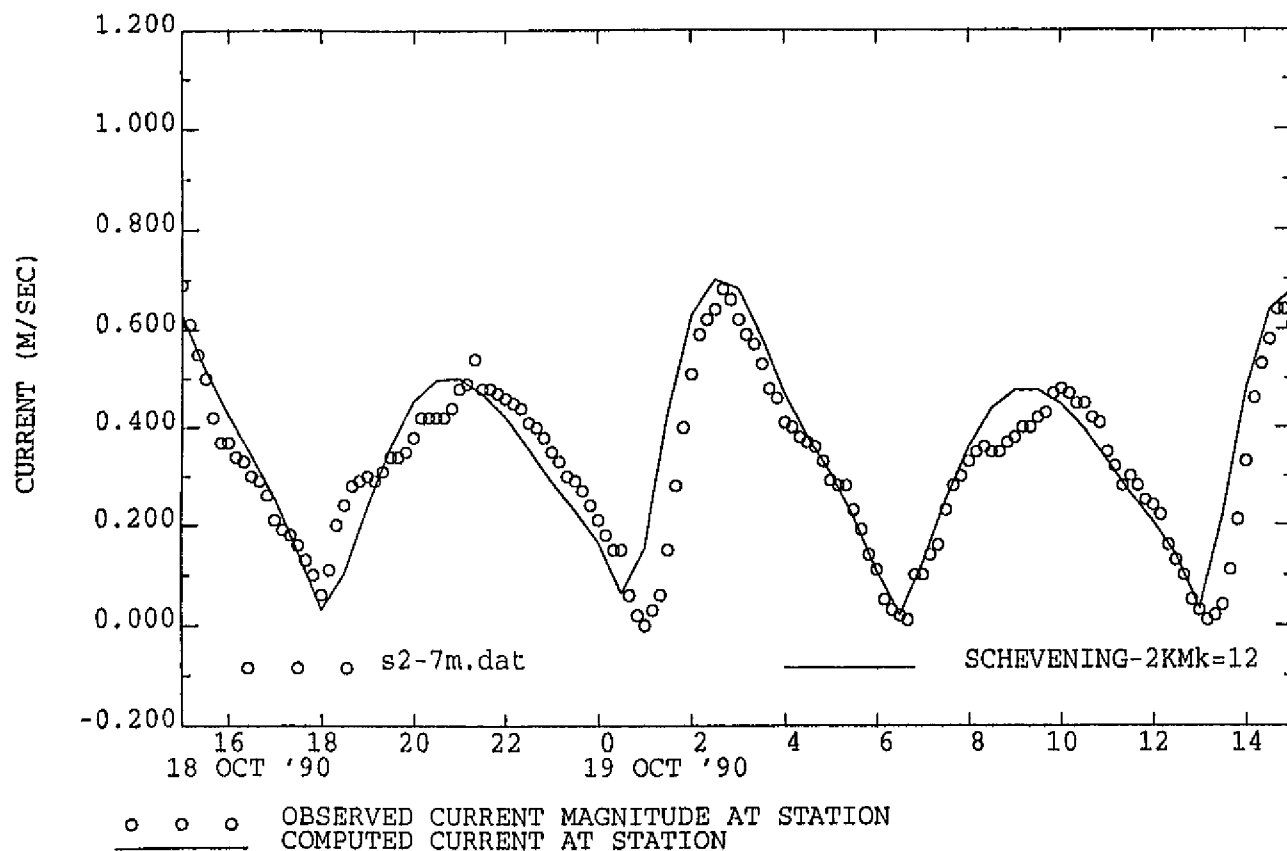
Bijlage 9.3





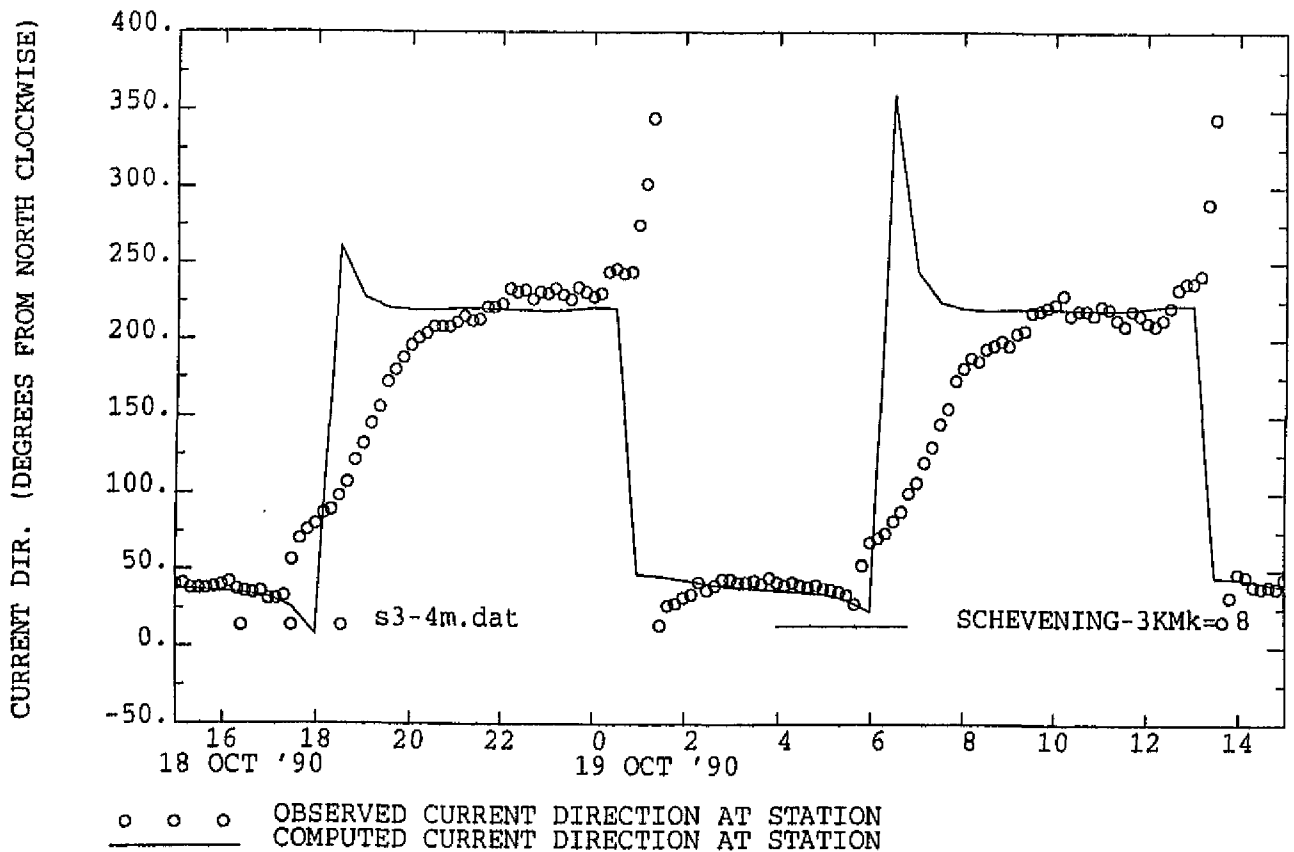
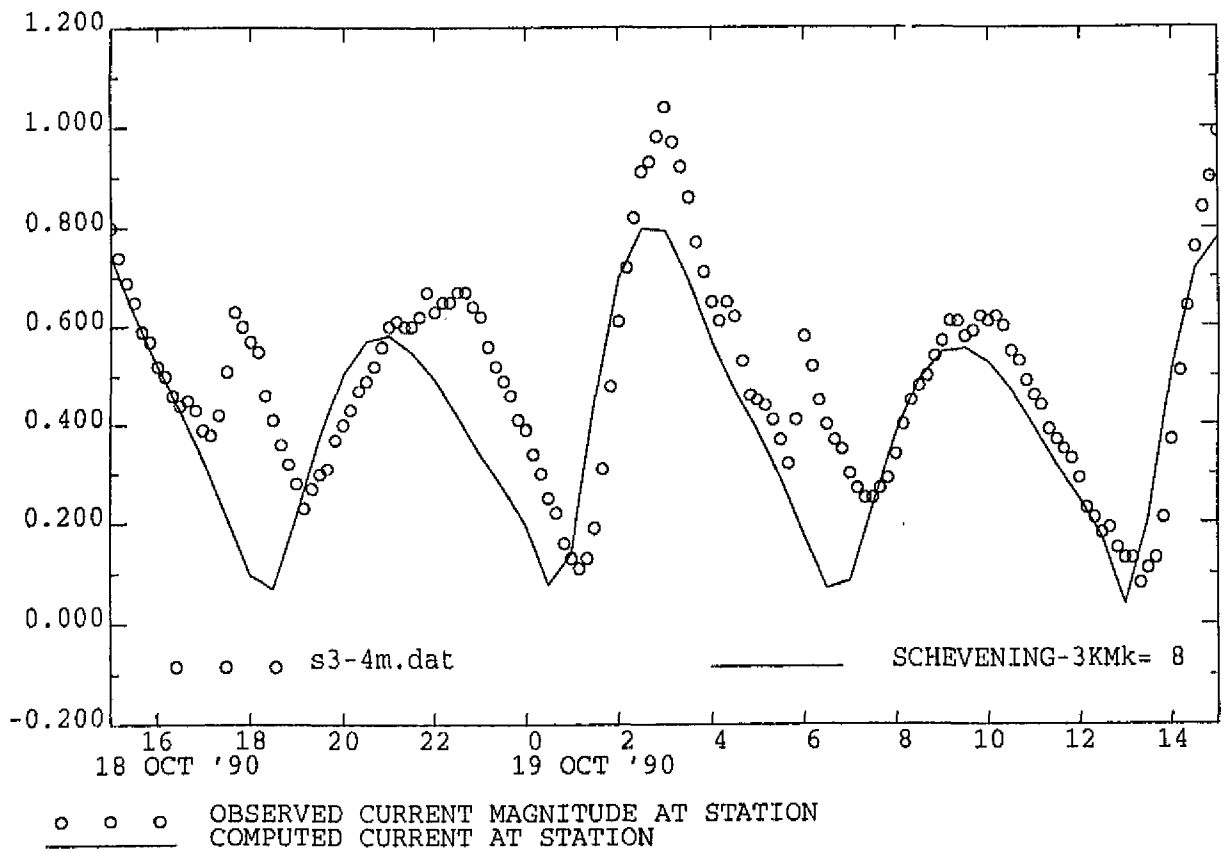
Verloop absolute snelheid en richting berekend (sigma-laag 8) versus gemeten (4m onder NAP) voor Scheveningen-2km voor 18 okt '90 15:00 tot 19 okt '90 15:00





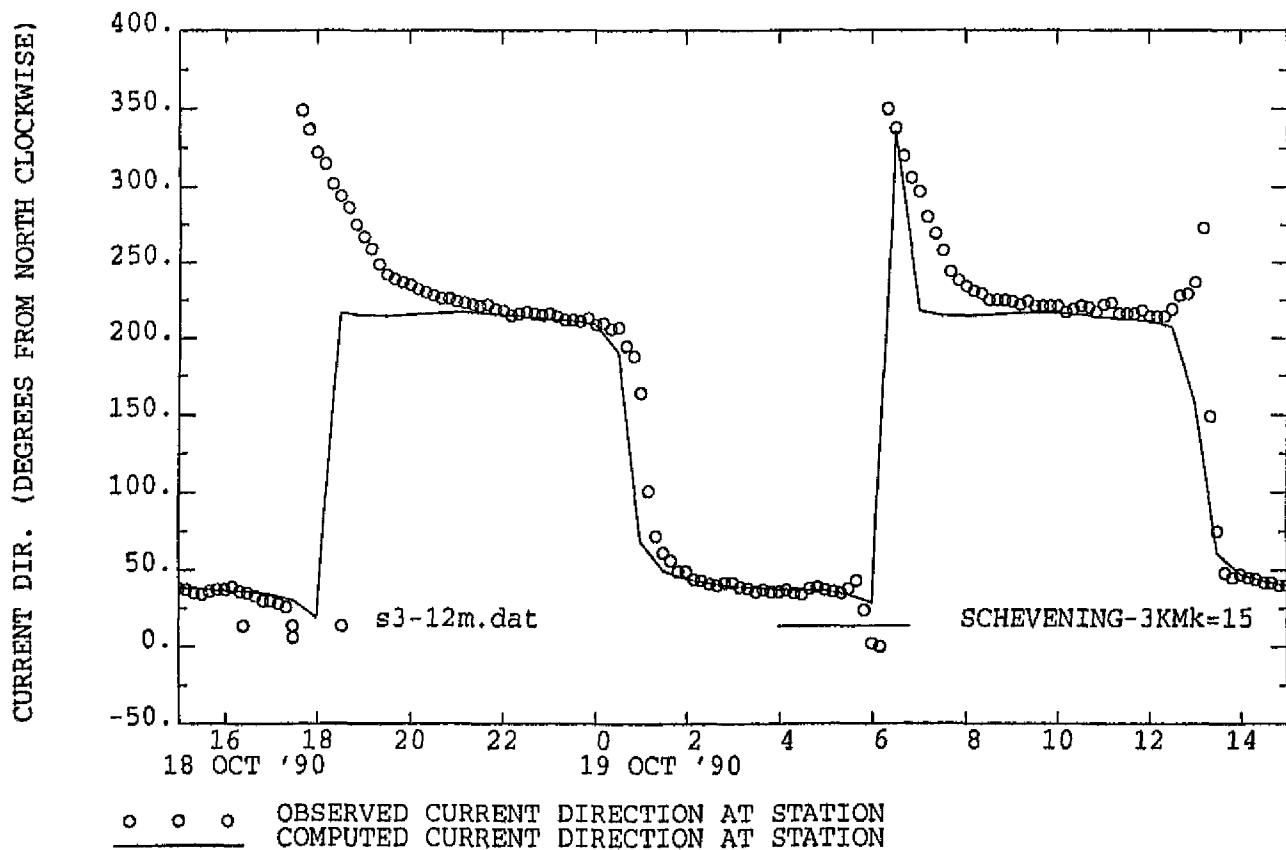
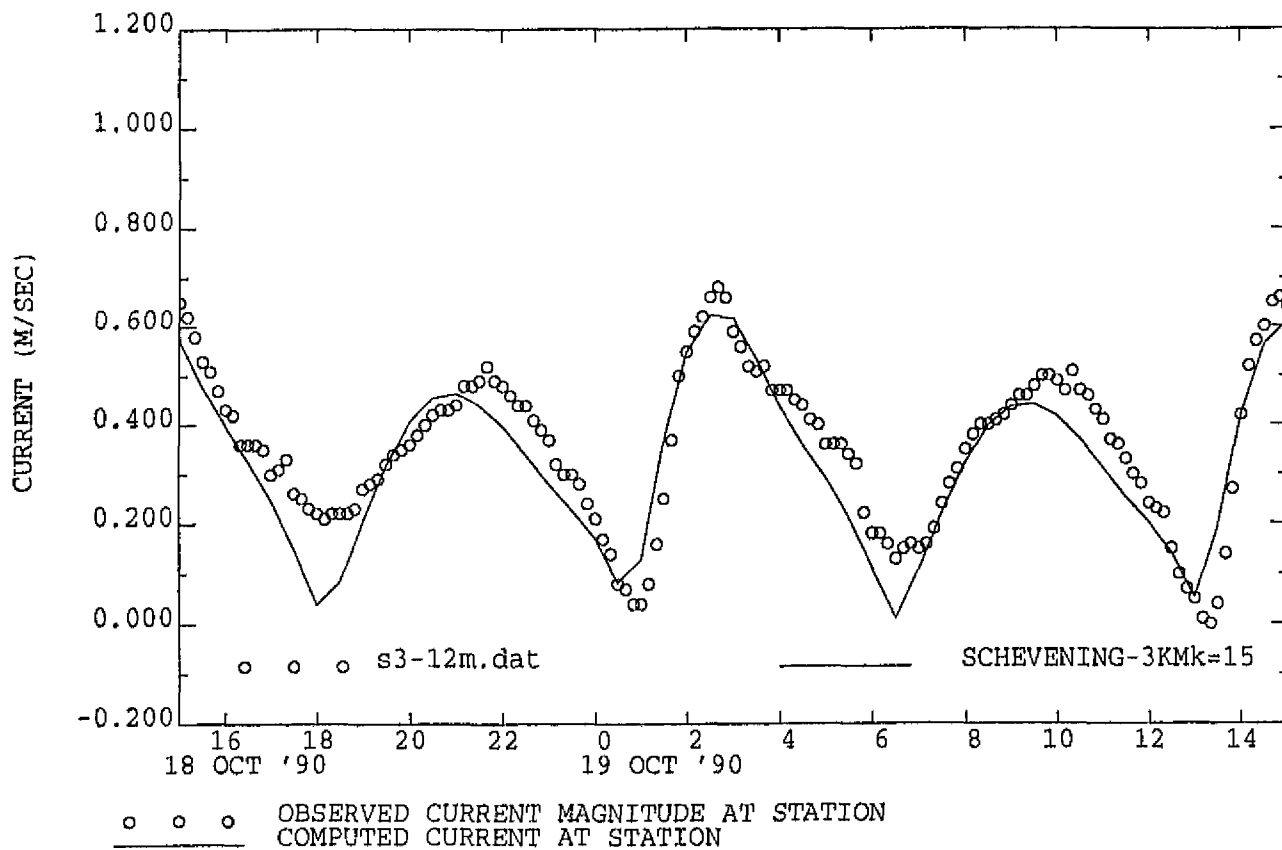
Verloop absolute snelheid en richting berekend (sigma-laag 12) versus gemeten (7m onder NAP) voor Scheveningen-2km voor 18 okt '90 15:00 tot 19 okt '90 15:00





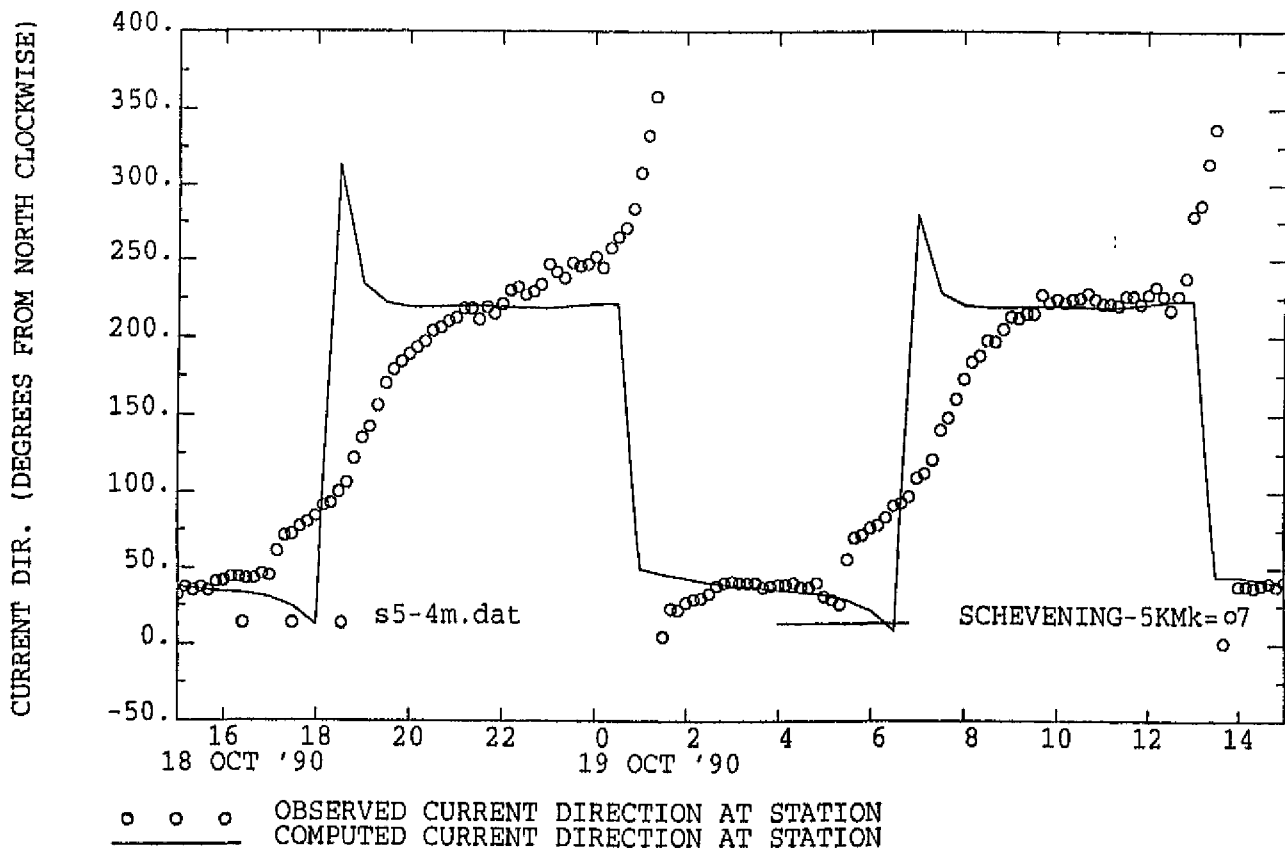
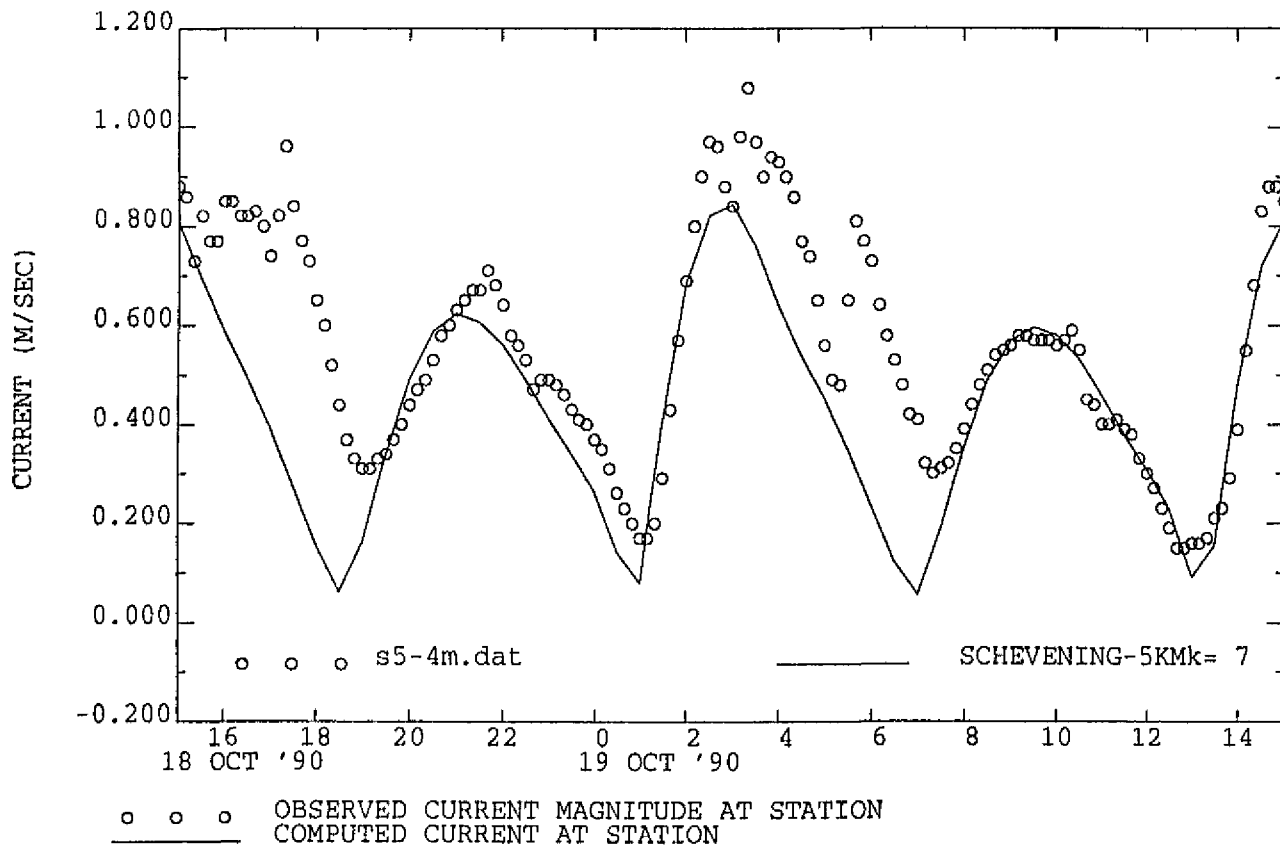
Verloop absolute snelheid en richting berekend (sigma-laag 8) versus gemeten (4m onder NAP) voor Scheveningen-3km voor 18 okt '90 15:00 tot 19 okt '90 15:00





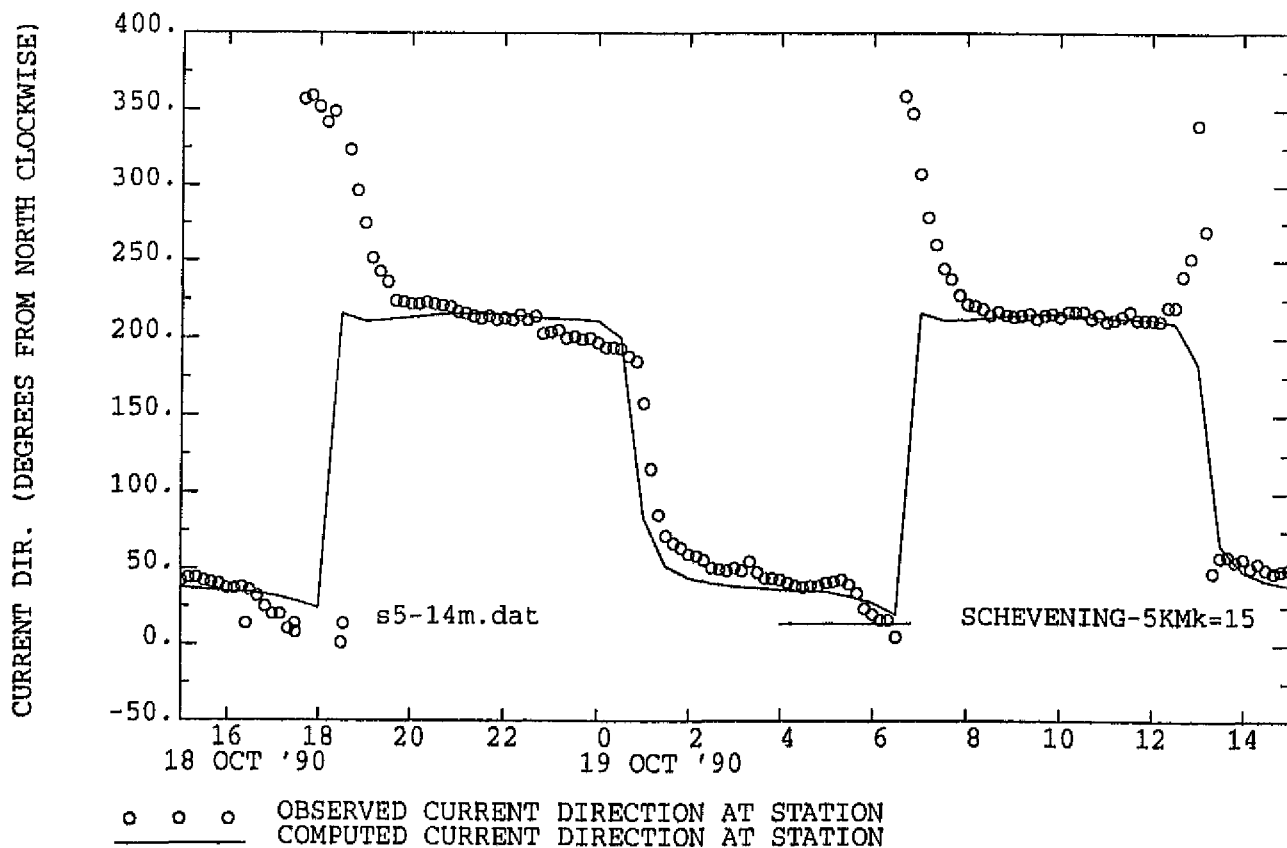
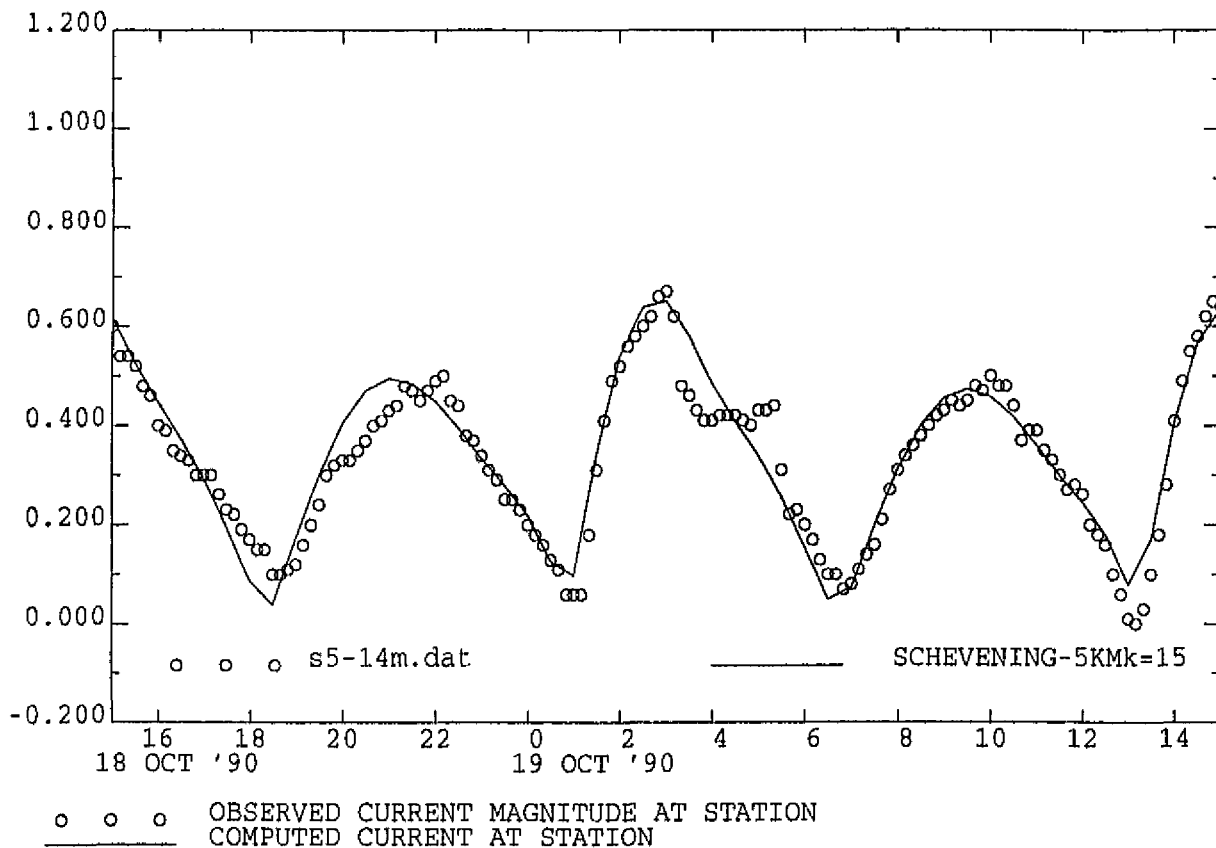
Verloop absolute snelheid en richting berekend (sigma-laag 15) versus gemeten (12m onder NAP) voor Scheveningen-3km voor 18 okt '90 15:00 tot 19 okt '90 15:00





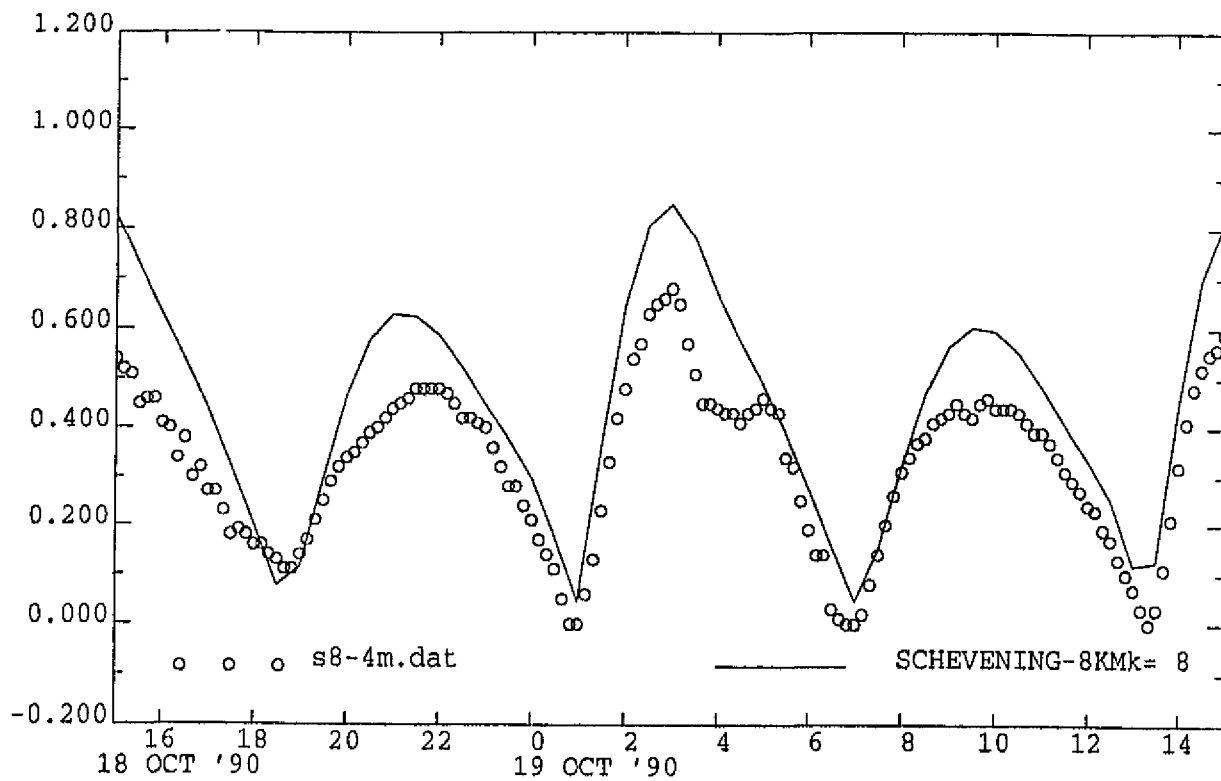
Verloop absolute snelheid en richting berekend (sigma-laag 7) versus gemeten (4m onder NAP) voor Scheveningen-5km voor 18 okt '90 15:00 tot 19 okt '90 15:00



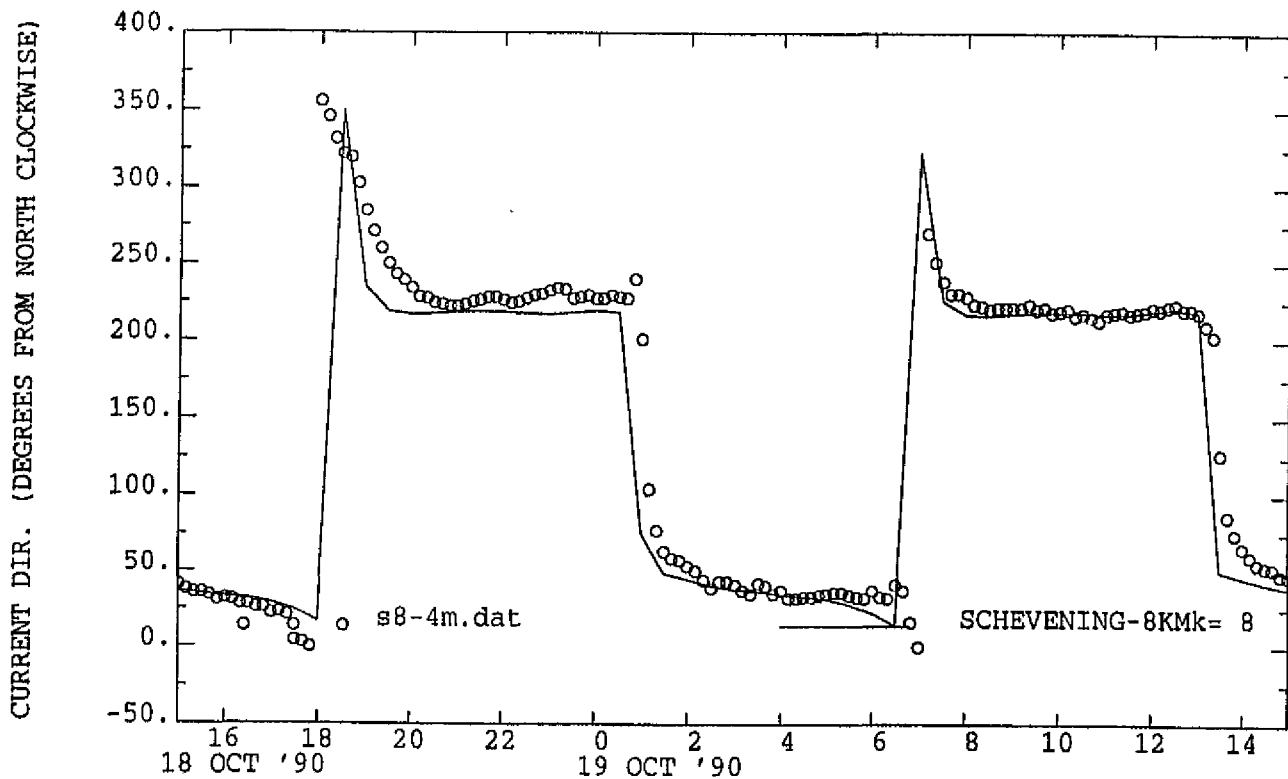


Verloop absolute snelheid en richting berekend (sigma-laag 15) versus gemeten (14m onder NAP) voor Scheveningen-5km voor 18 okt '90 15:00 tot 19 okt '90 15:00





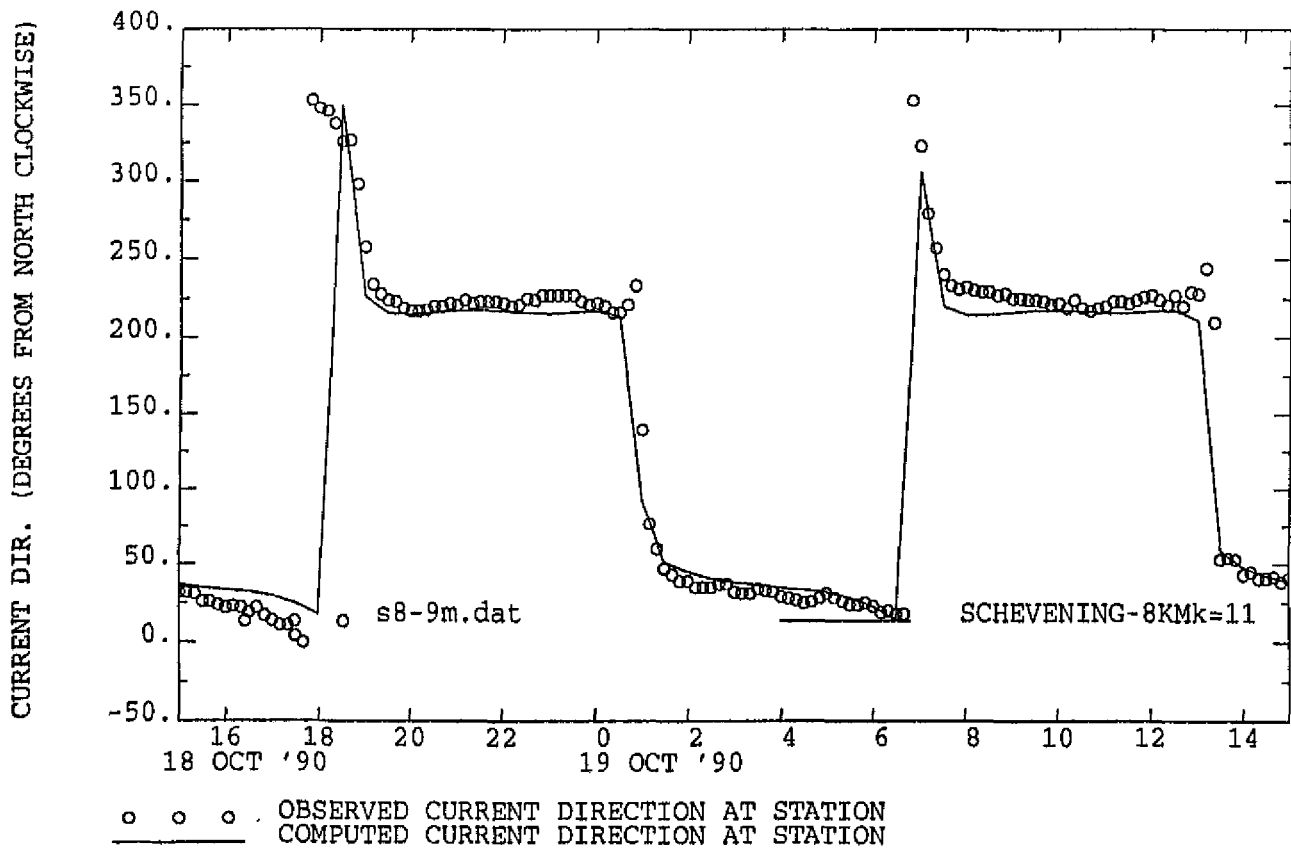
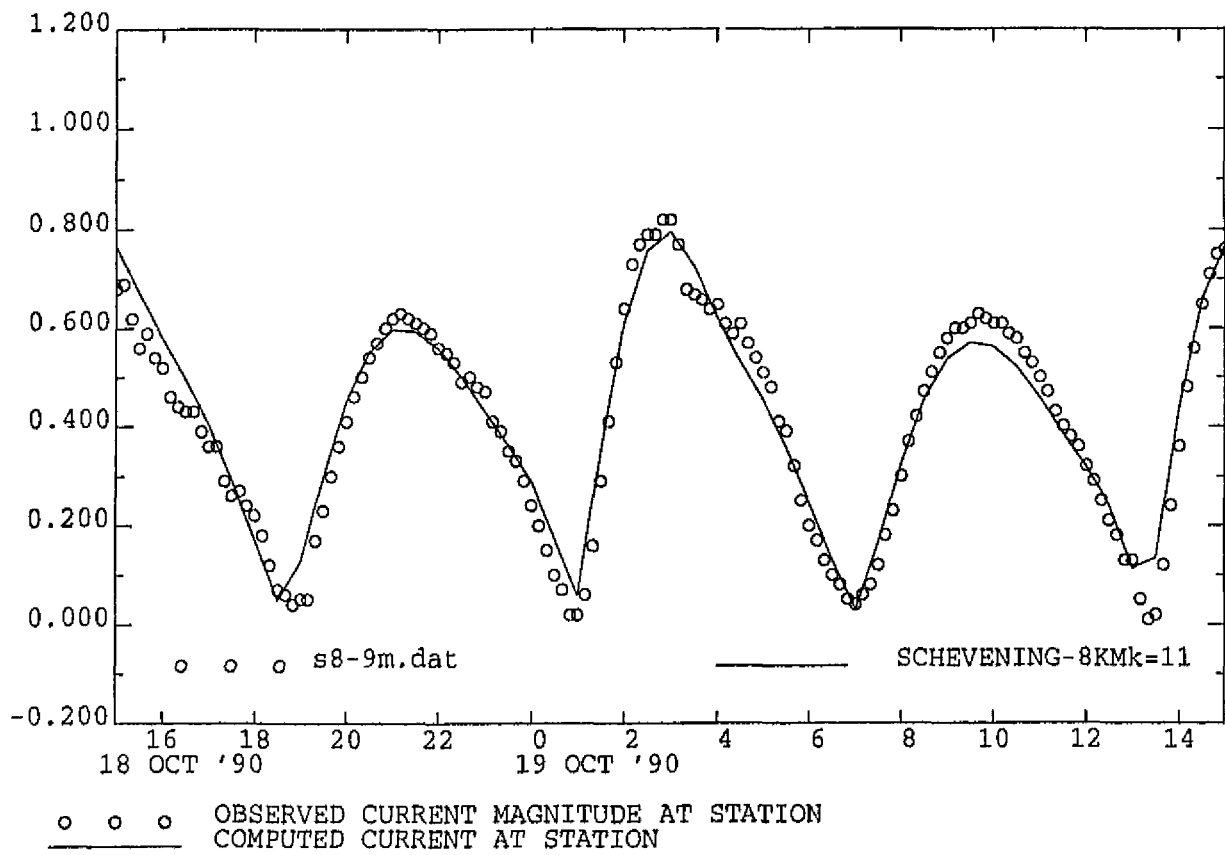
○ ○ ○ OBSERVED CURRENT MAGNITUDE AT STATION
 _____ COMPUTED CURRENT AT STATION



○ ○ ○ OBSERVED CURRENT DIRECTION AT STATION
 _____ COMPUTED CURRENT DIRECTION AT STATION

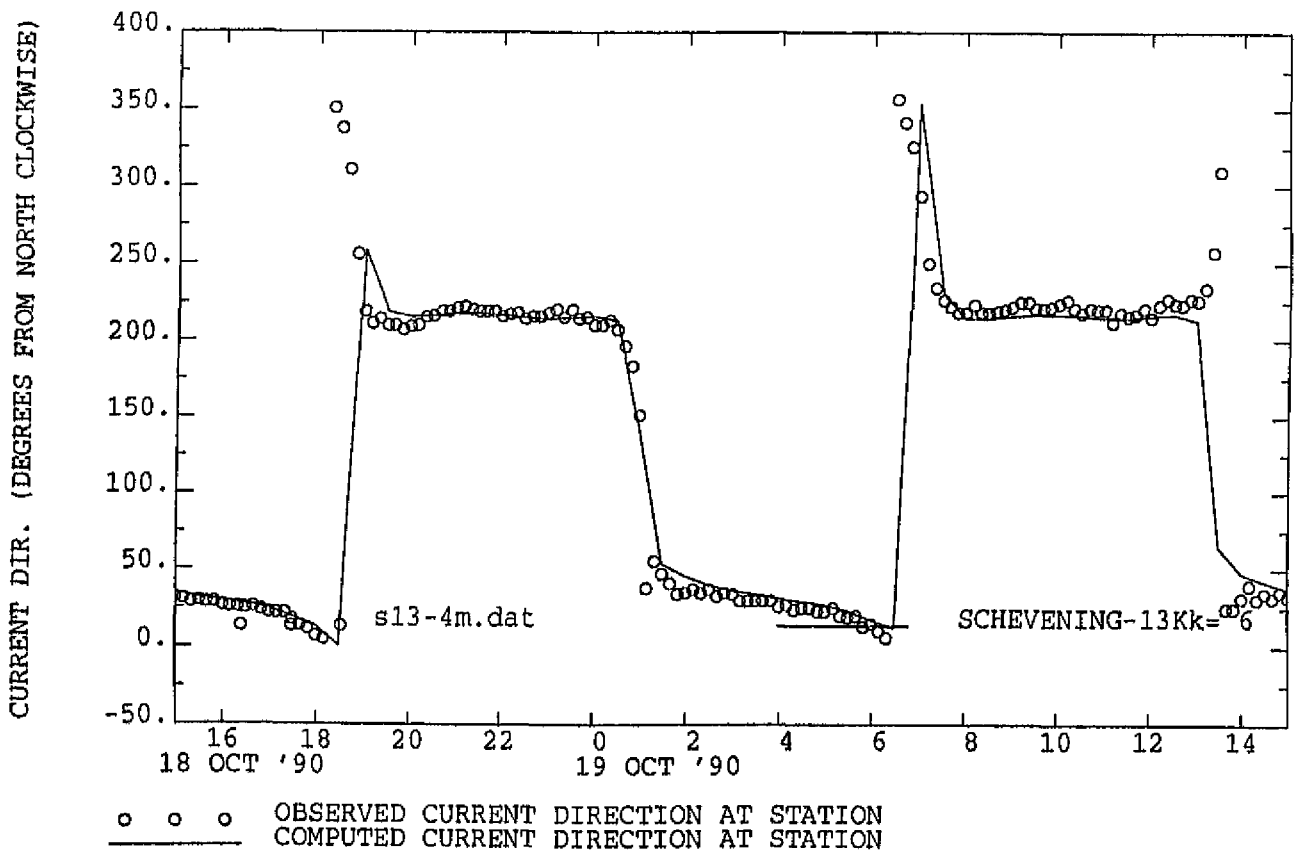
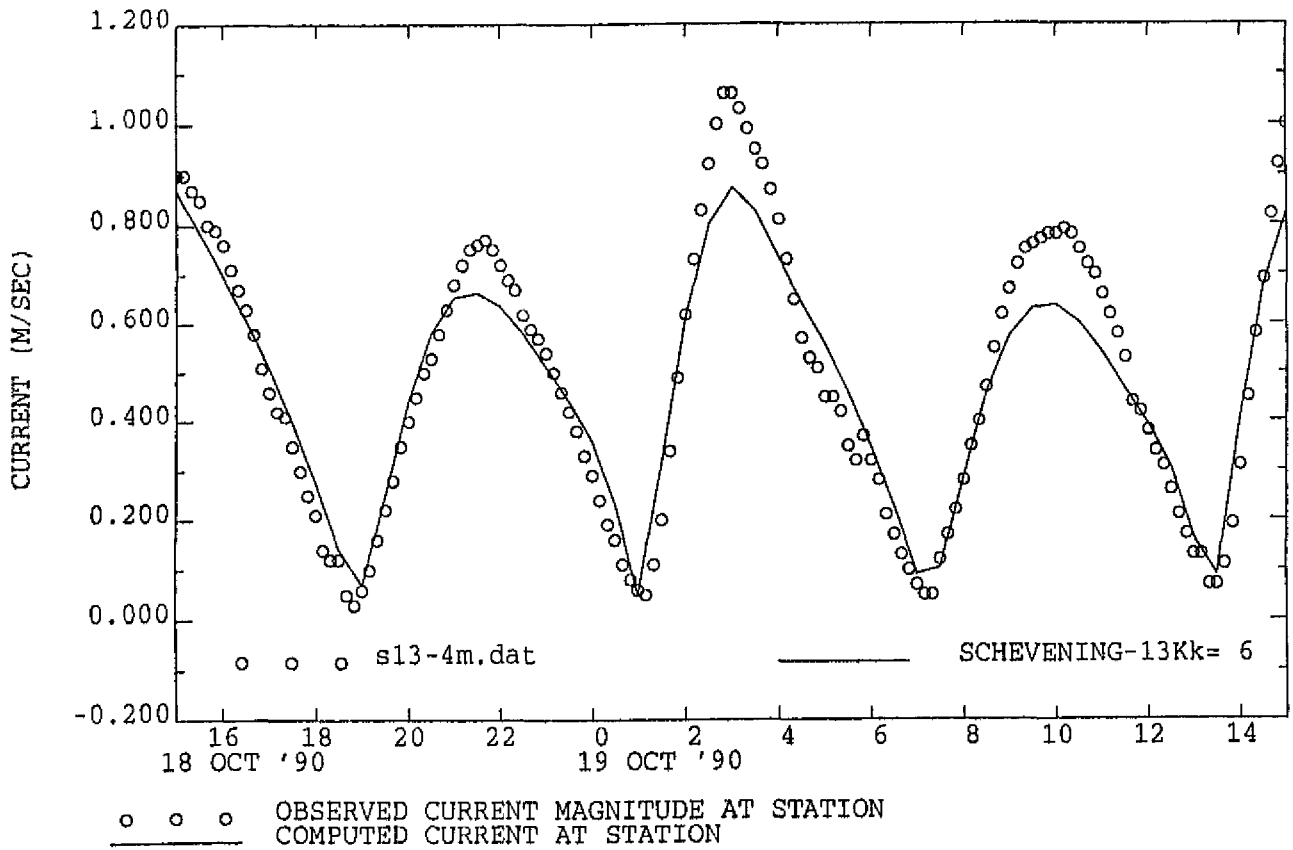
Verloop absolute snelheid en richting berekend (sigma-laag 8) versus gemeten (4m onder NAP) voor Scheveningen-8km voor 18 okt '90 15:00 tot 19 okt '90 15:00





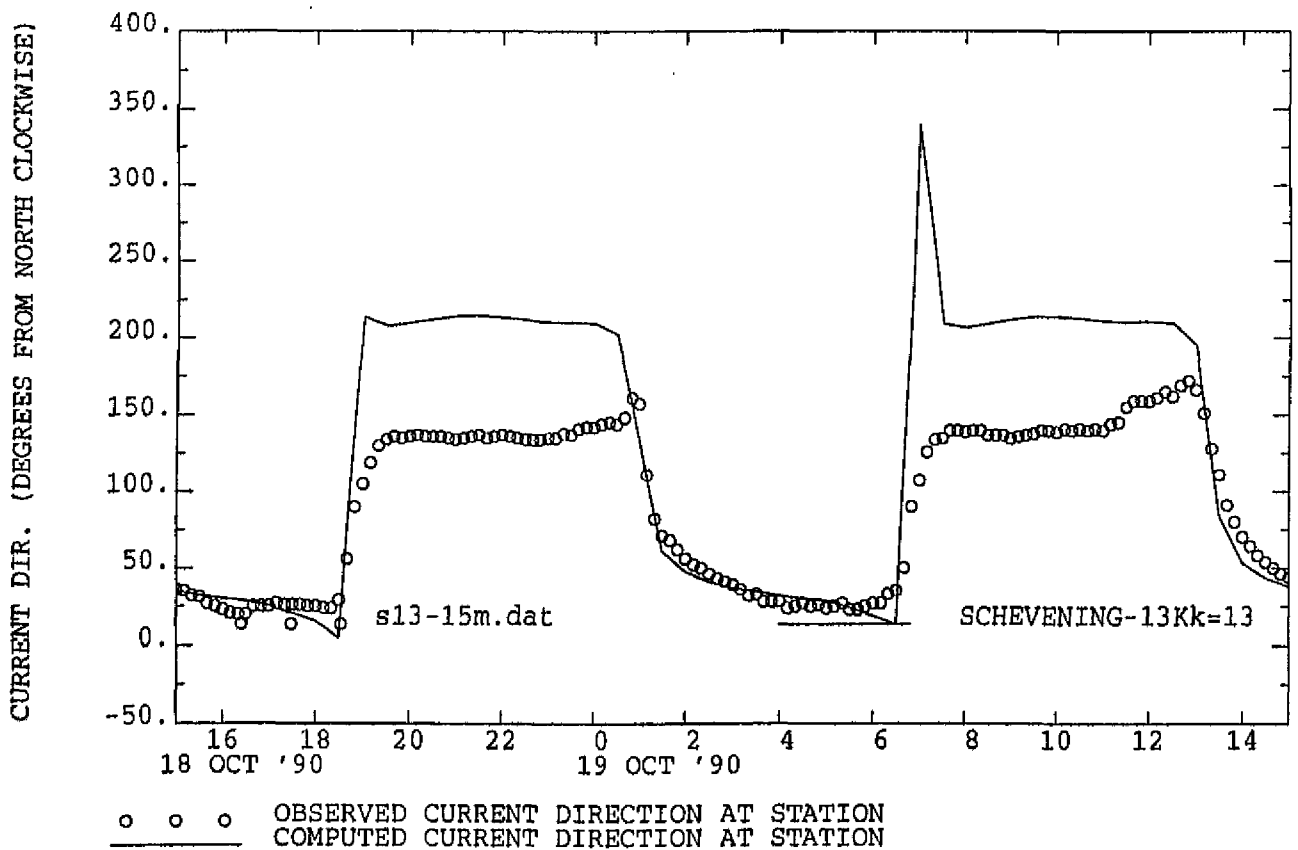
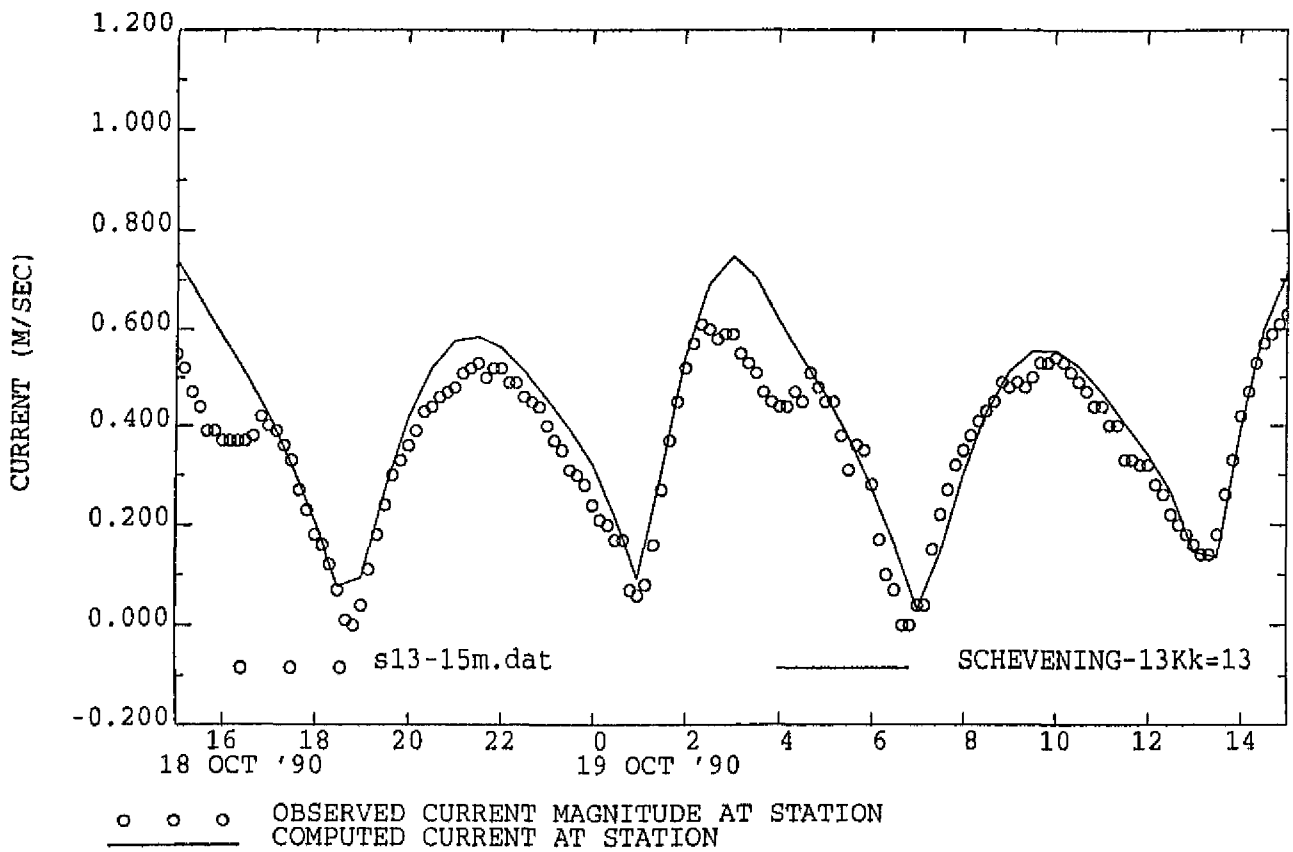
Verloop absolute snelheid en richting berekend (sigma-laag 11) versus gemeten (9m onder NAP) voor Scheveningen-8km voor 18 okt '90 15:00 tot 19 okt '90 15:00





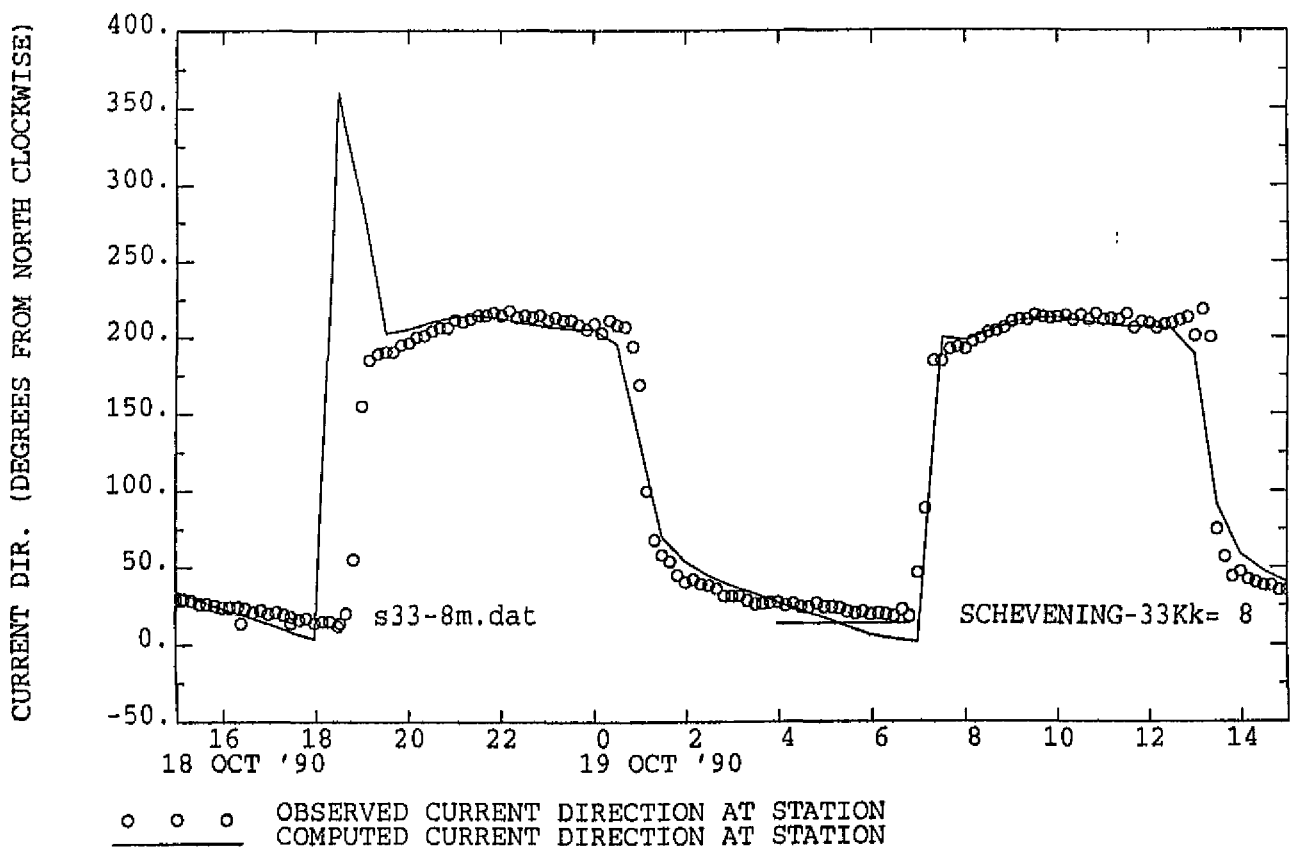
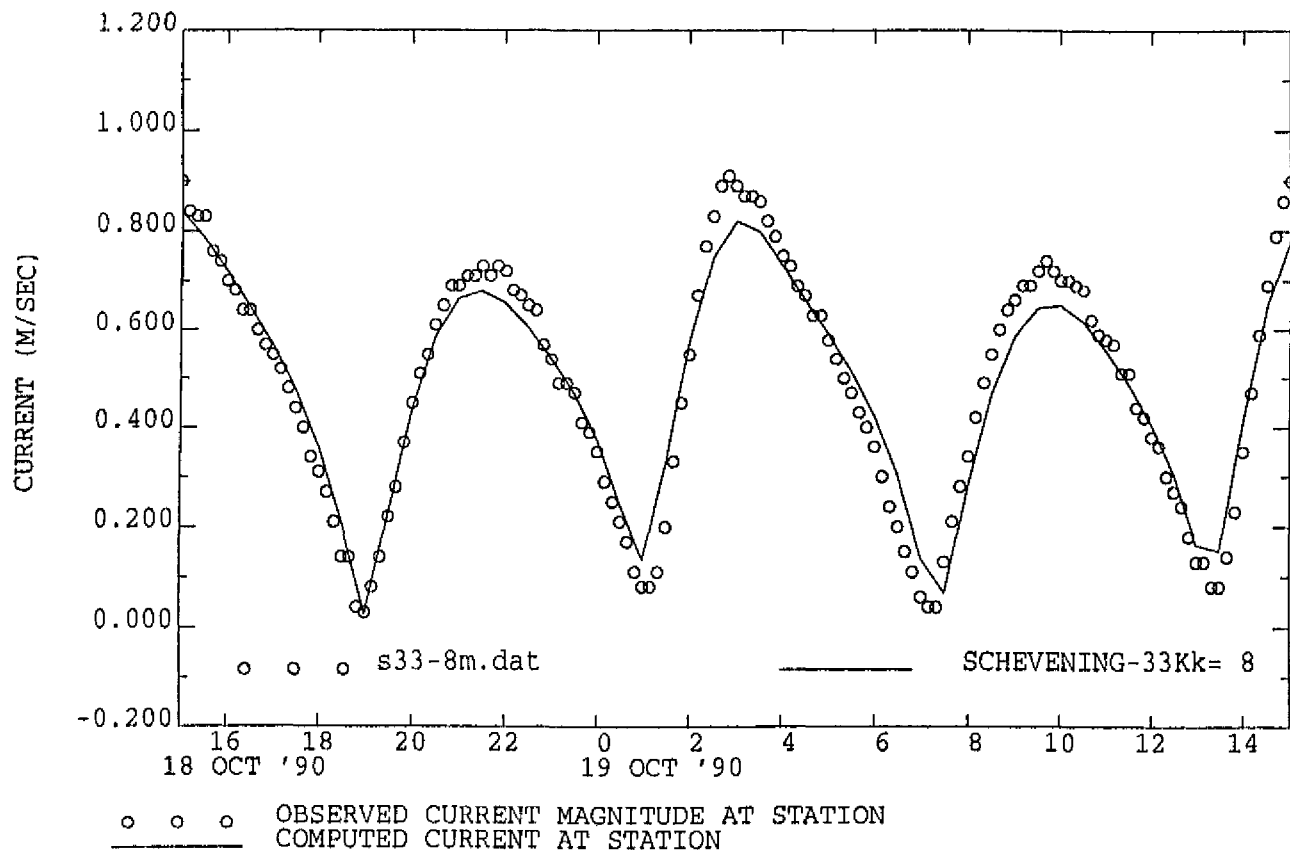
Verloop absolute snelheid en richting berekend (sigma-laag 6) versus gemeten (4m onder NAP) voor Scheveningen-13km voor 18 okt '90 15:00 tot 19 okt '90 15:00





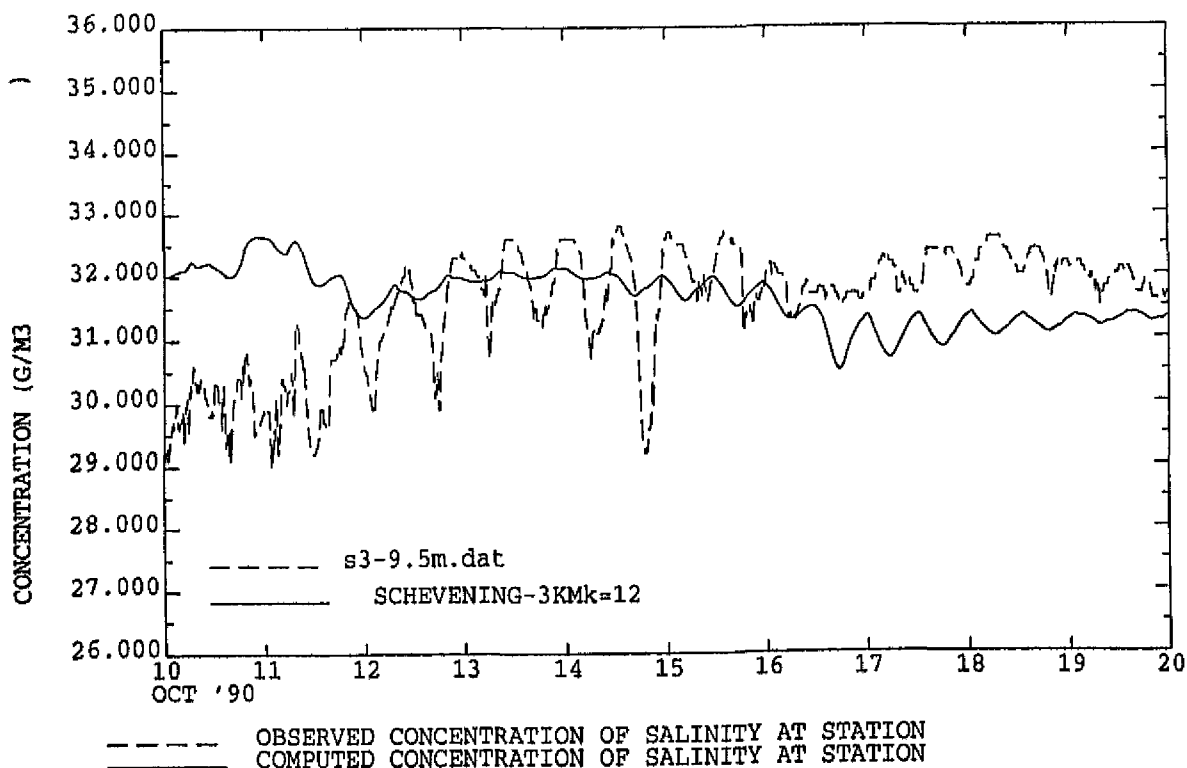
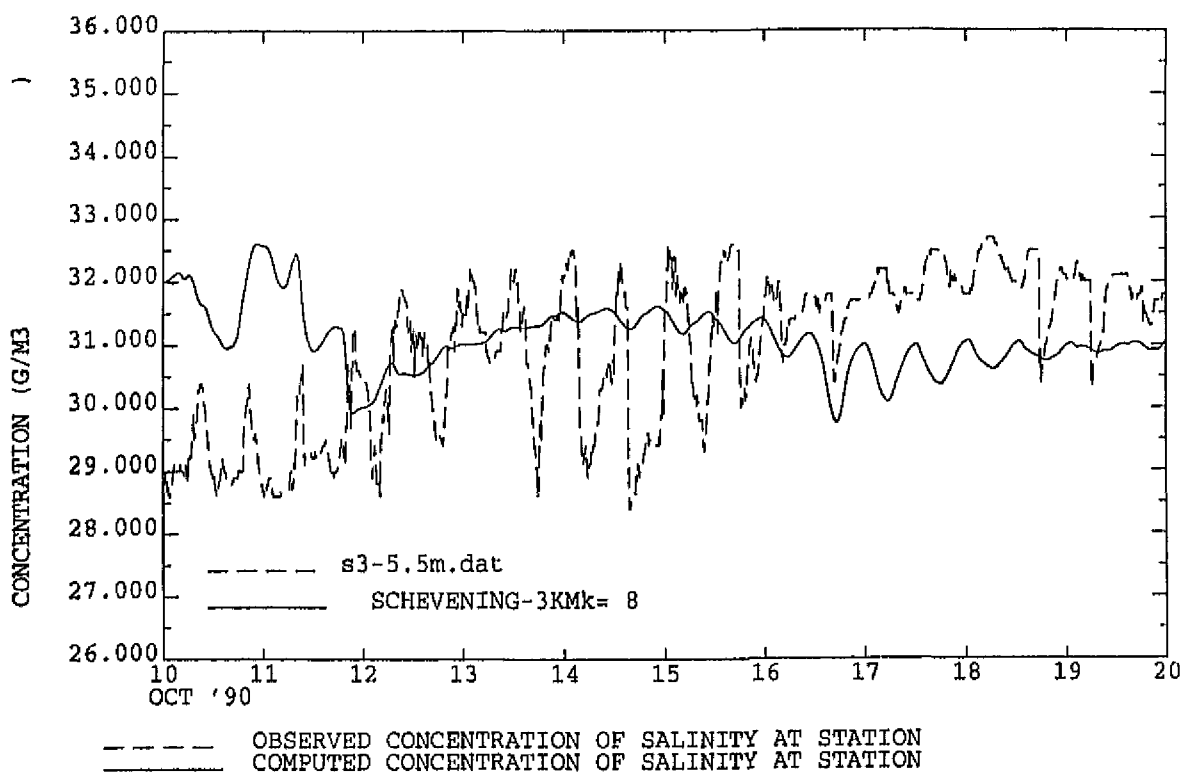
Verloop absolute snelheid en richting berekend (sigma-laag 13) versus gemeten (15m onder NAP) voor Scheveningen-13km voor 18 okt '90 15:00 tot 19 okt '90 15:00





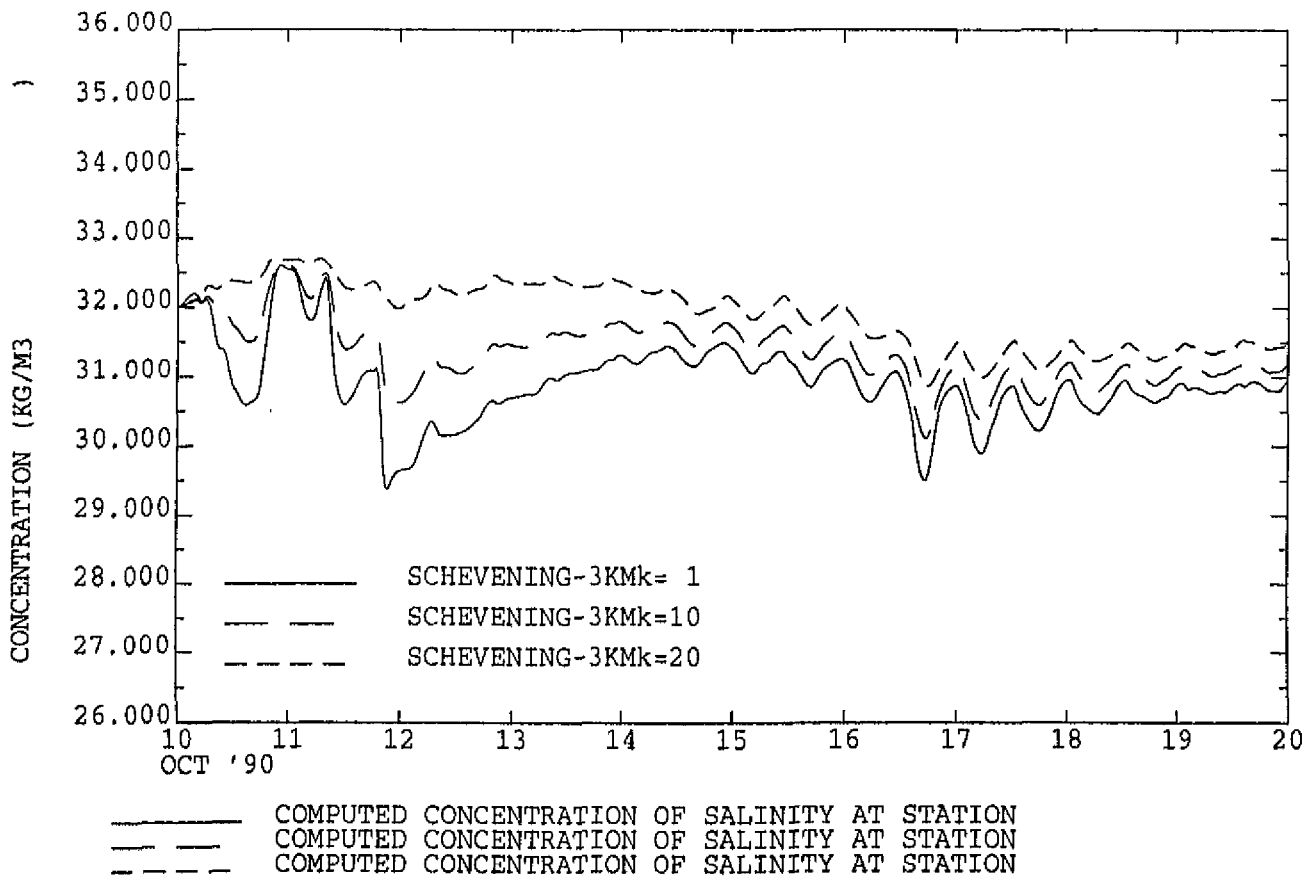
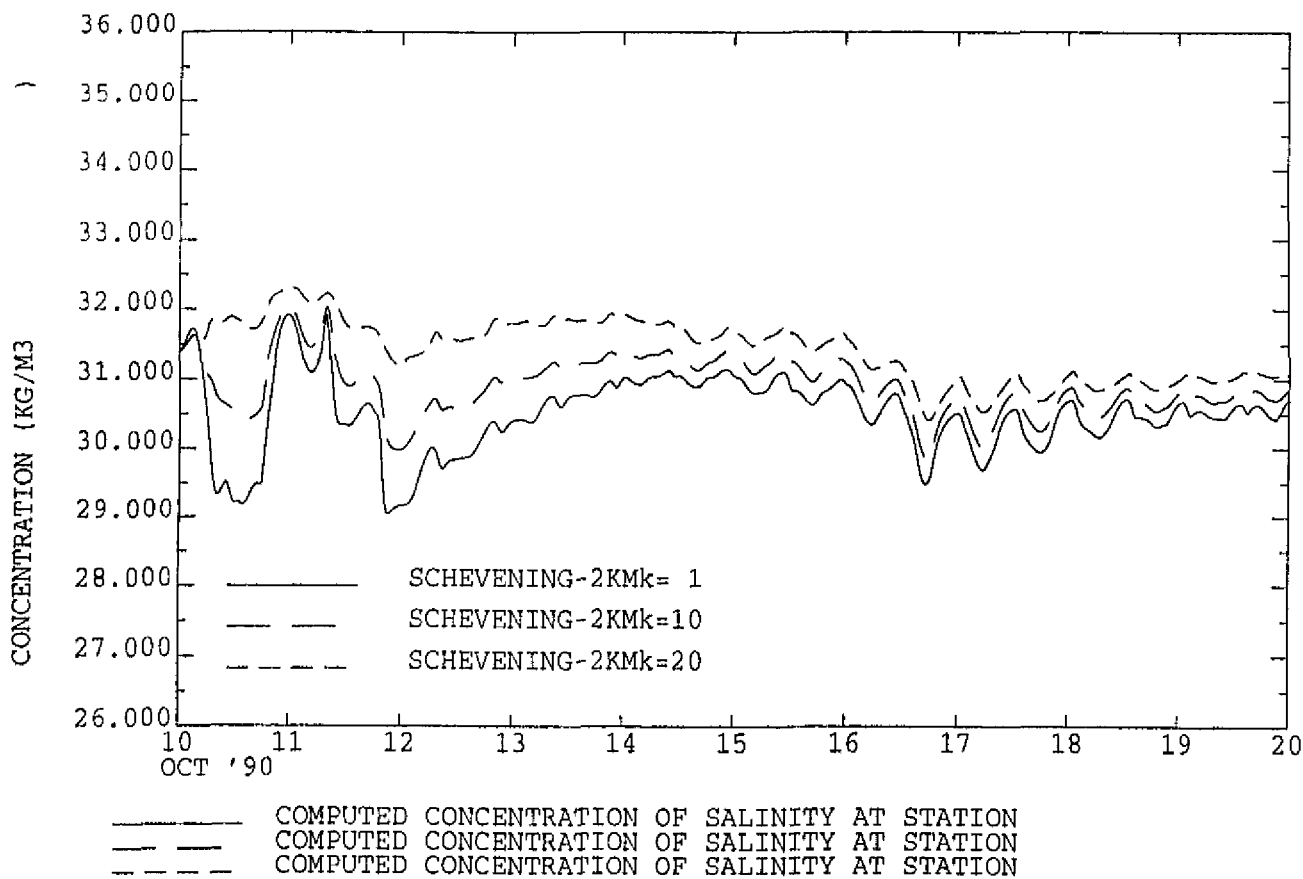
Verloop absolute snelheid en richting berekend (sigma-laag 8) versus gemeten (8m onder NAP) voor Scheveningen-33km voor 18 okt '90 15:00 tot 19 okt '90 15:00





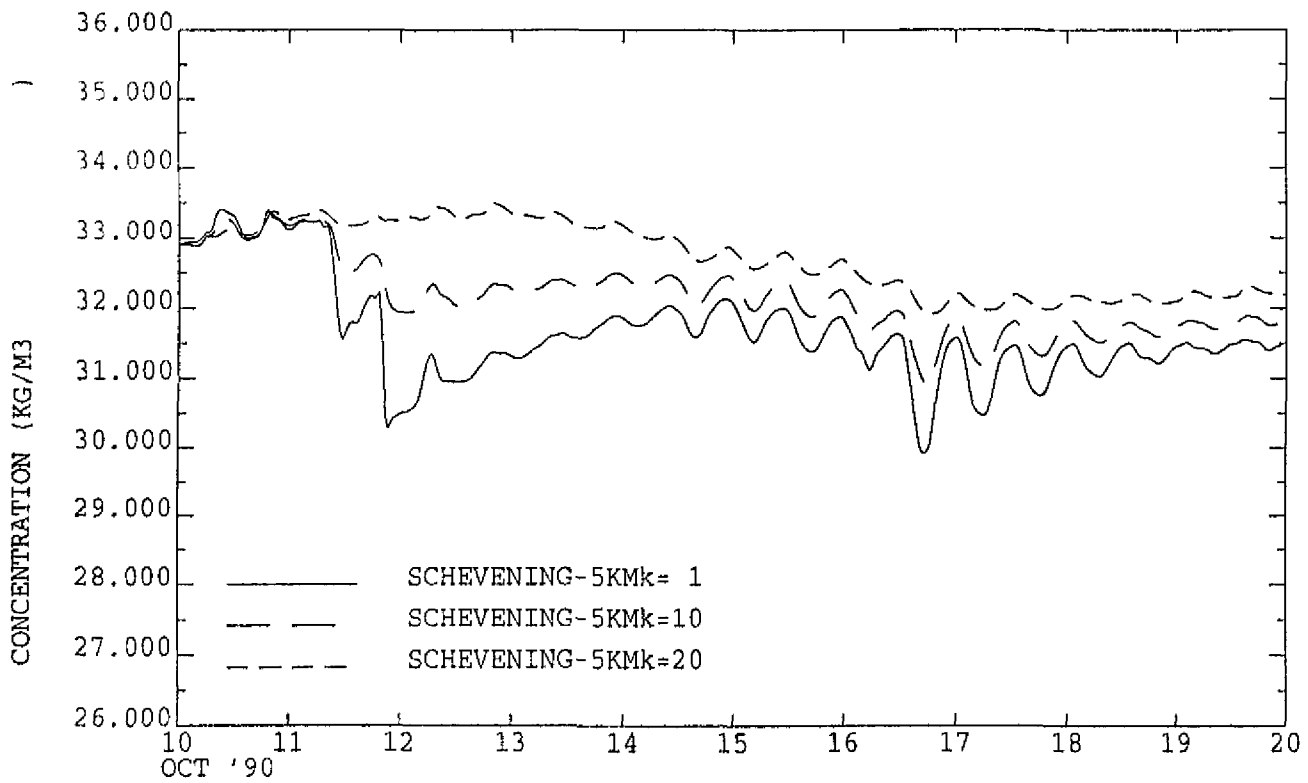
Verloop saliniteit Scheveningen-3km berekend (sigma-laag 8 en 12) en gemeten (5.5m en 9.5m onder NAP) voor 10 tot 20 oktober 1990



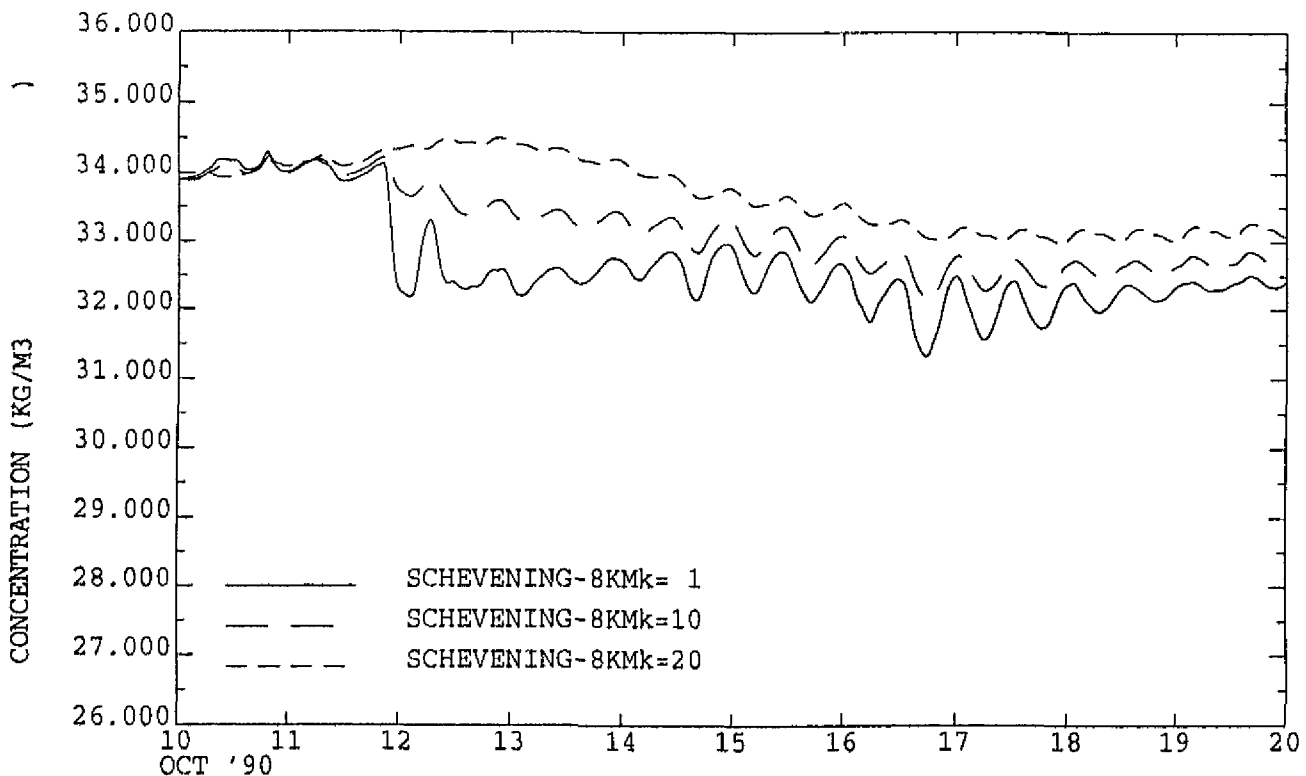


Verloop berekende saliniteit voor Scheveningen-2km en 3km van sigma-laag 1, 10 en 20, voor 10 tot 20 oktober 1990





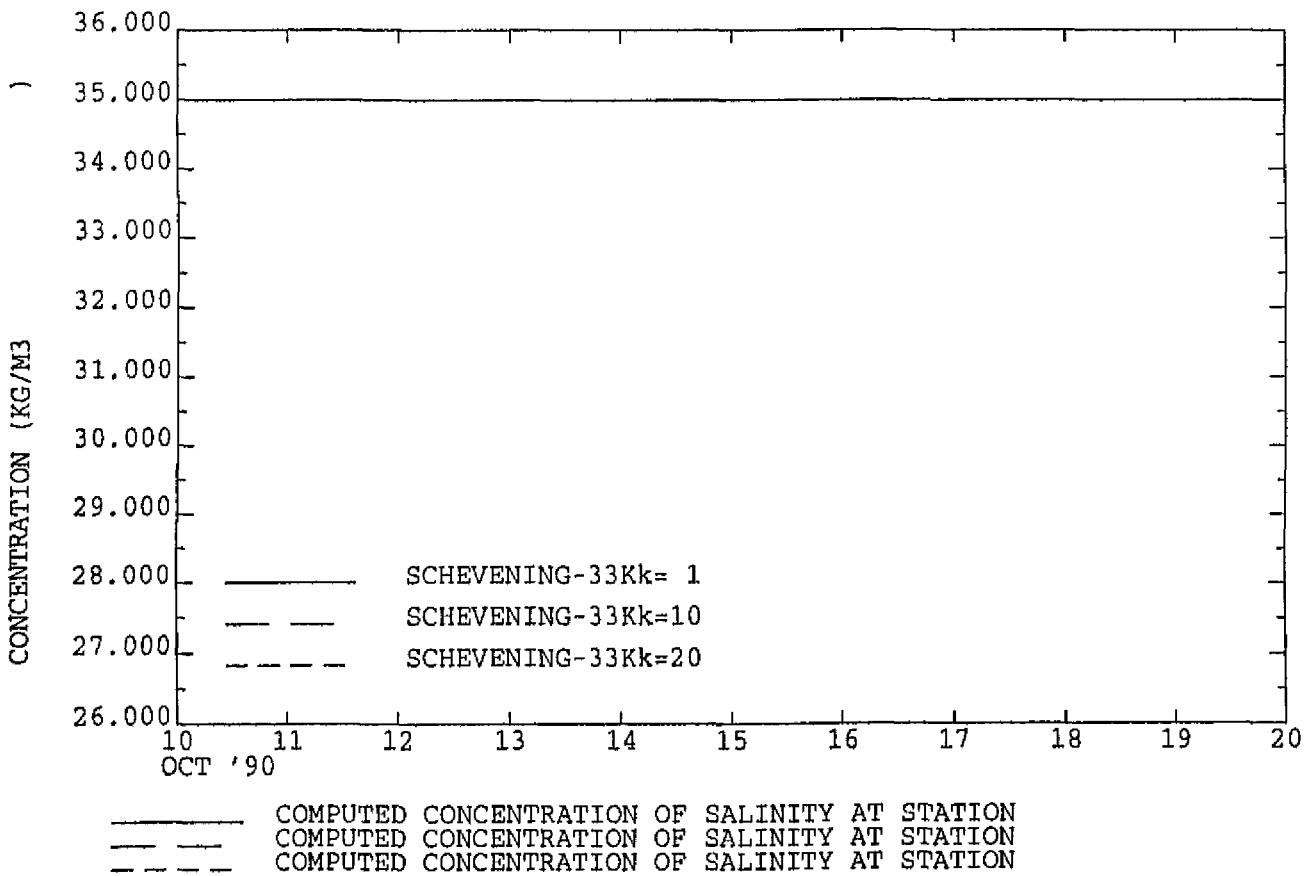
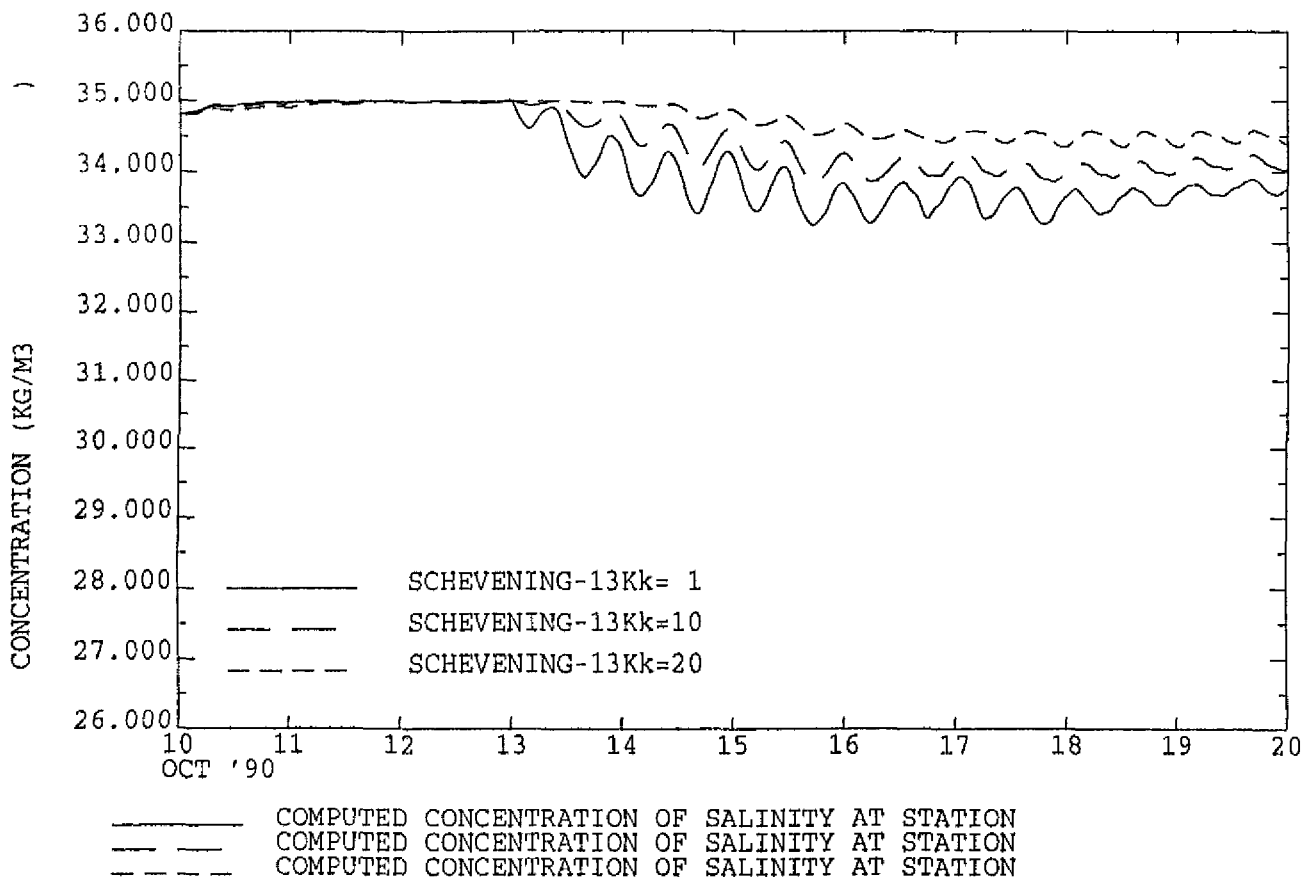
— COMPUTED CONCENTRATION OF SALINITY AT STATION
 - - - COMPUTED CONCENTRATION OF SALINITY AT STATION
 - . - COMPUTED CONCENTRATION OF SALINITY AT STATION



— COMPUTED CONCENTRATION OF SALINITY AT STATION
 - - - COMPUTED CONCENTRATION OF SALINITY AT STATION
 - . - COMPUTED CONCENTRATION OF SALINITY AT STATION

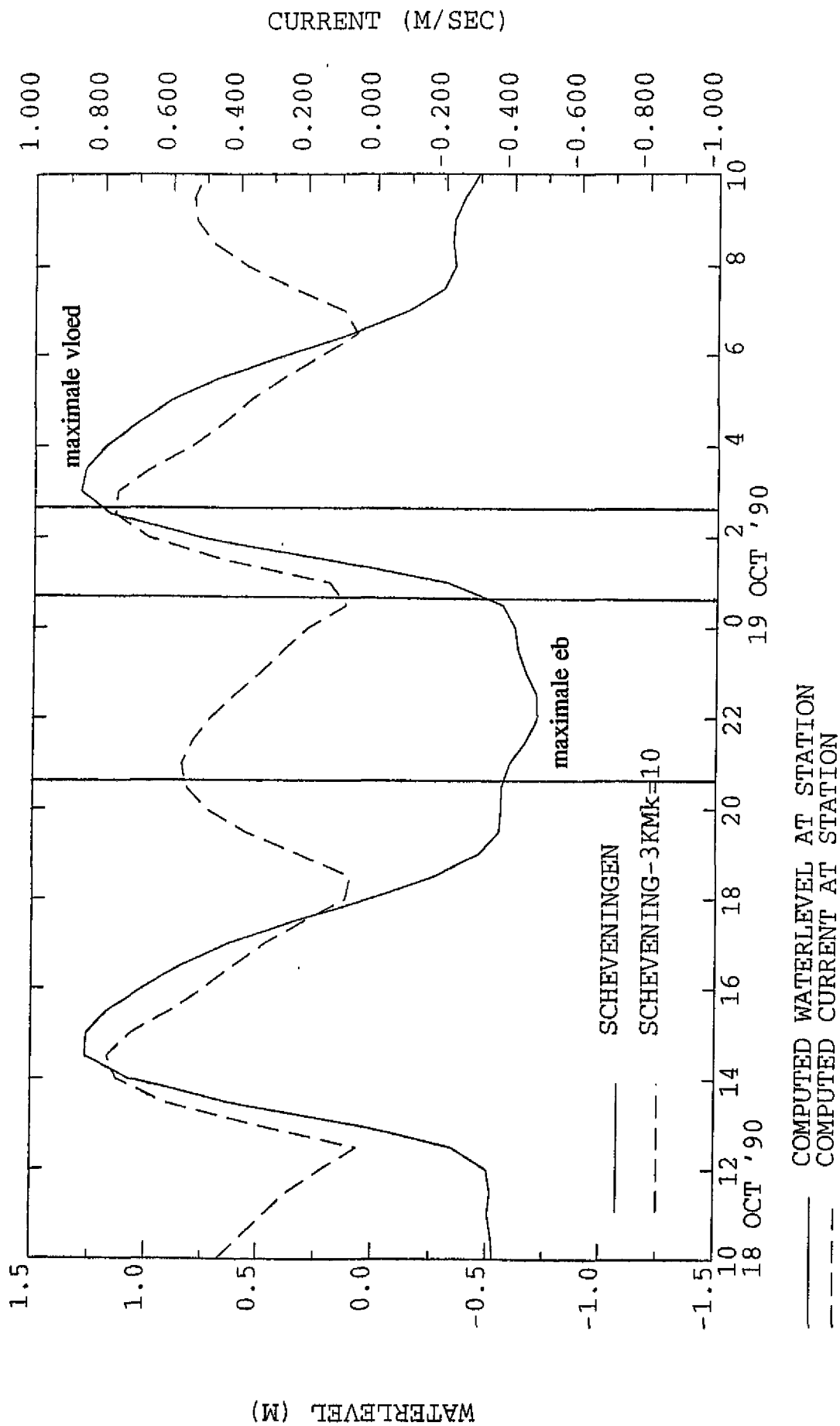
Verloop berekende saliniteit voor Scheveningen-5km en 8km
 van sigma-laag 1, 10 en 20, voor 10 tot 20 oktober 1990





Verloop berekende saliniteit voor Scheveningen-13km en 33km
 van sigma-laag 1, 10 en 20, voor 10 tot 20 oktober 1990





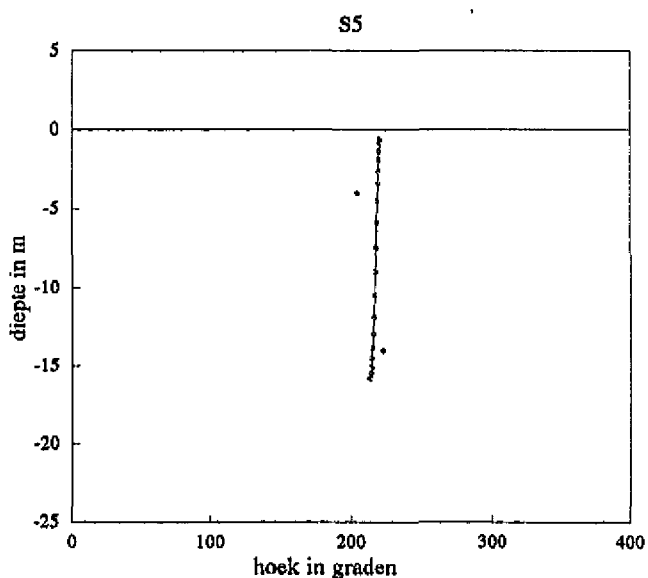
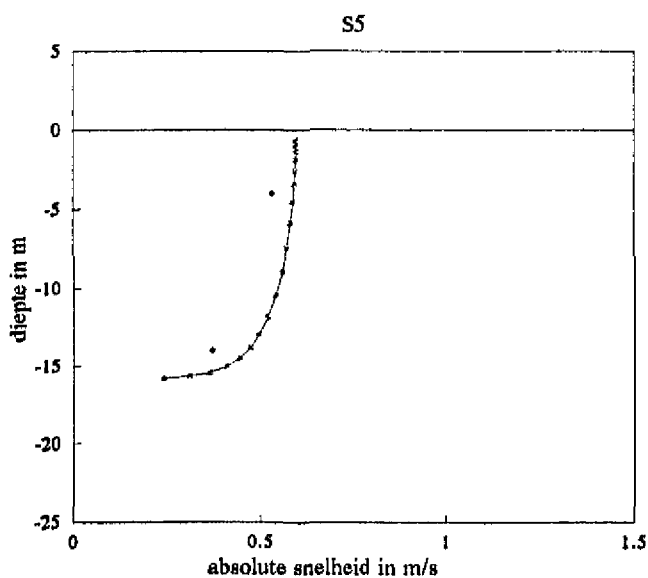
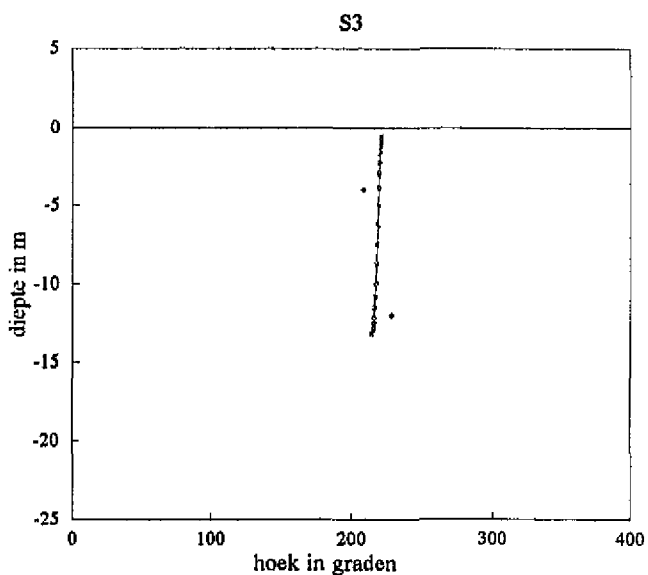
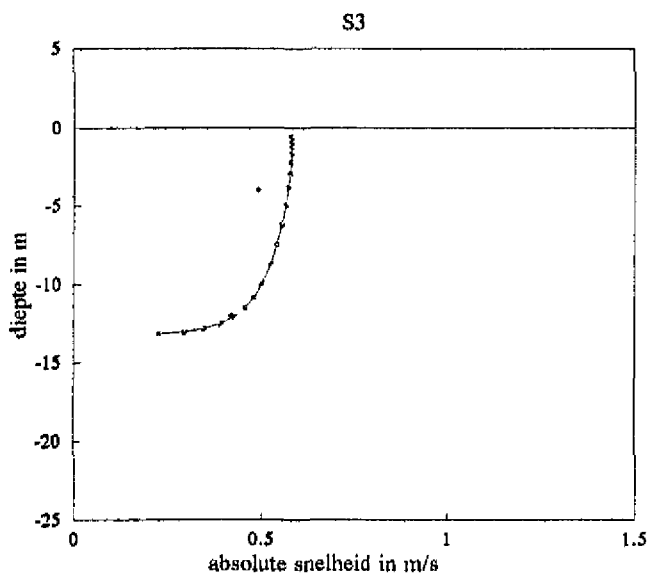
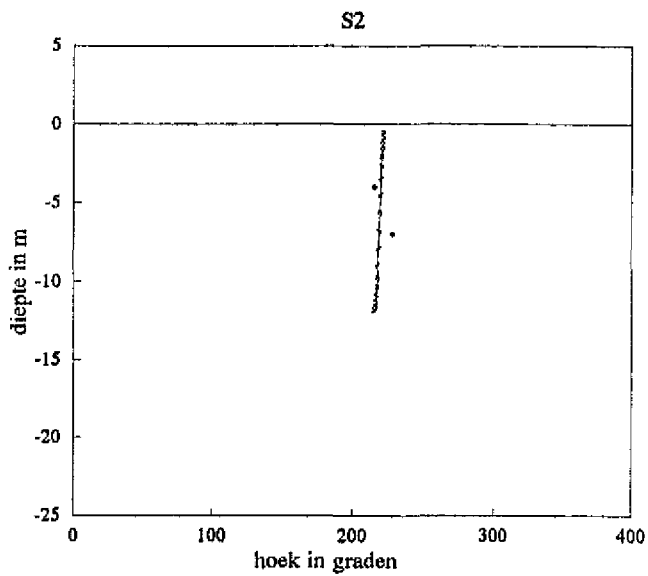
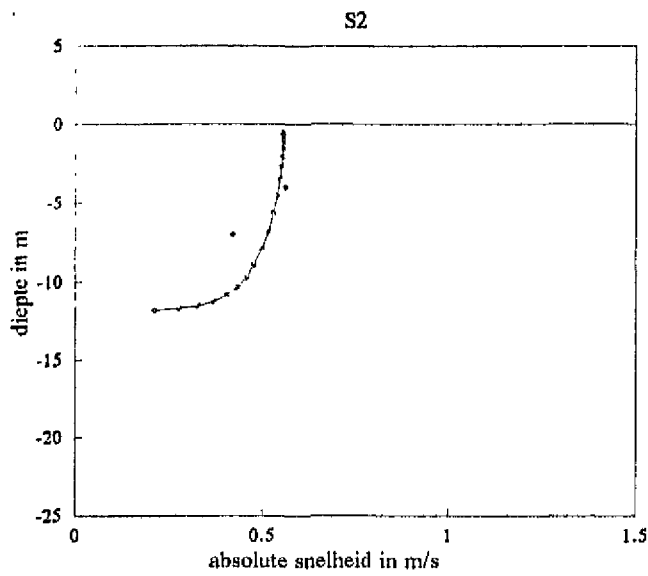
Waterstand Scheveningen berekend en snelheidsverloop
Scheveningen-3km sigma-laag 10 berekend

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
DGW/Rijksinstituut voor Kust en Zee

Rapport DGW 93.044

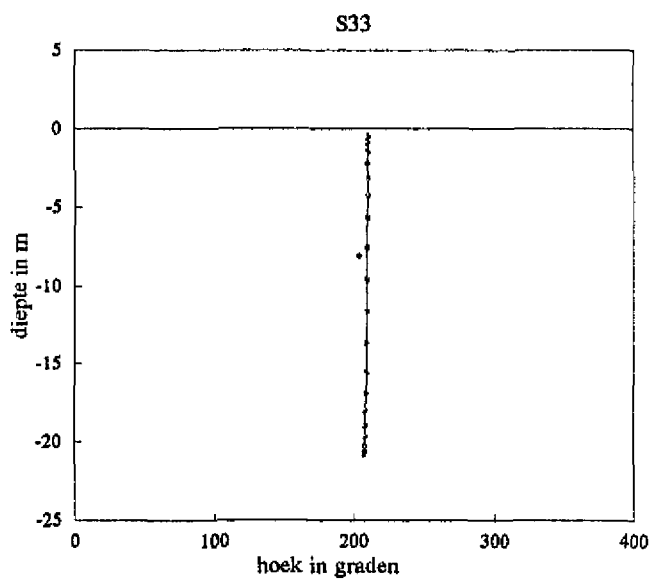
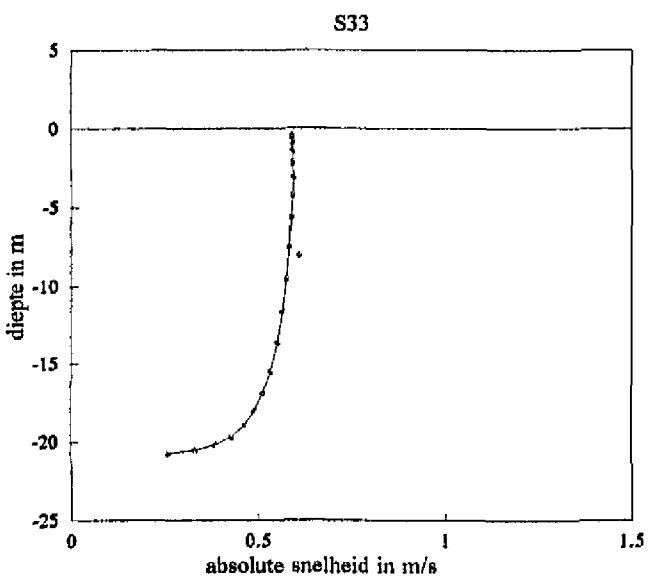
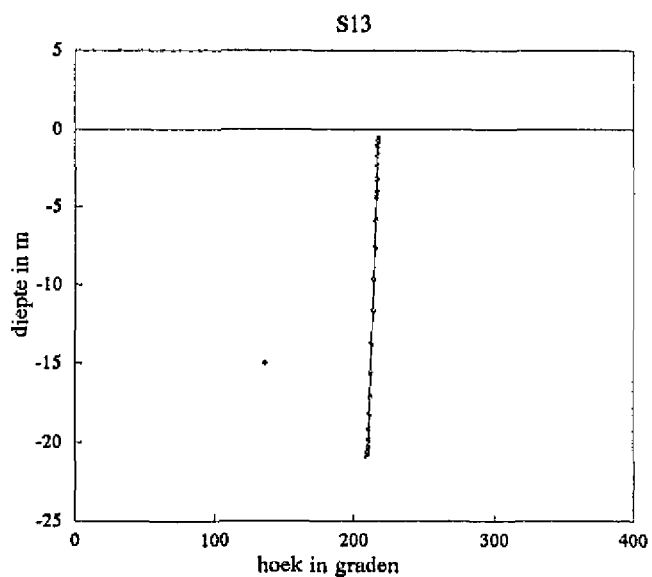
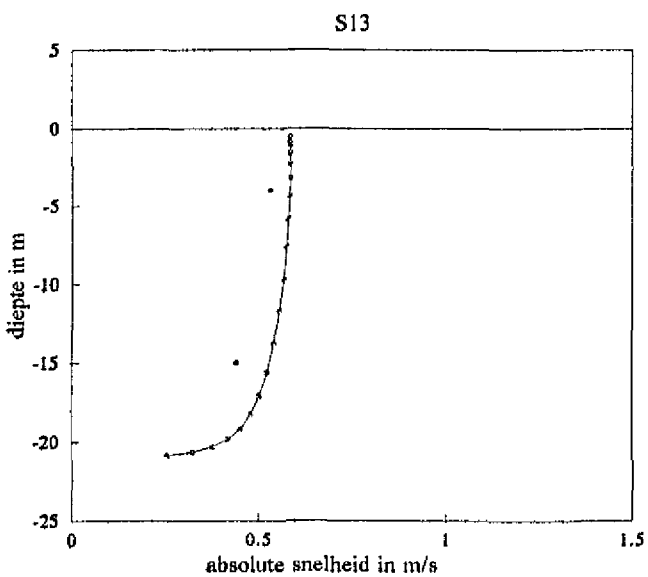
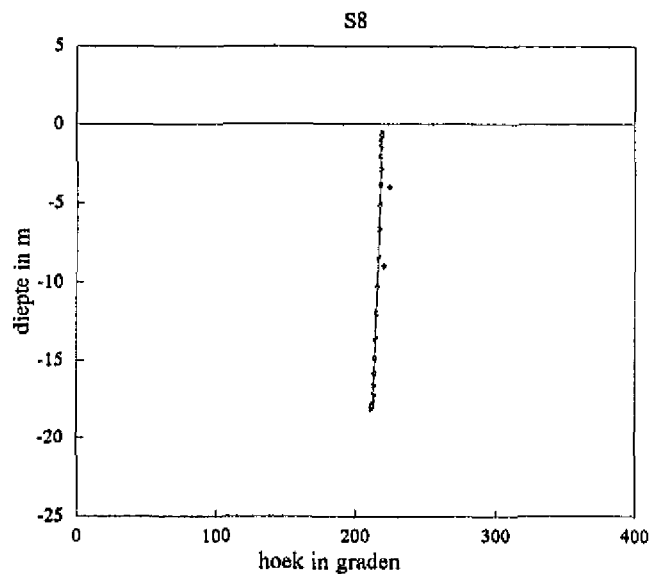
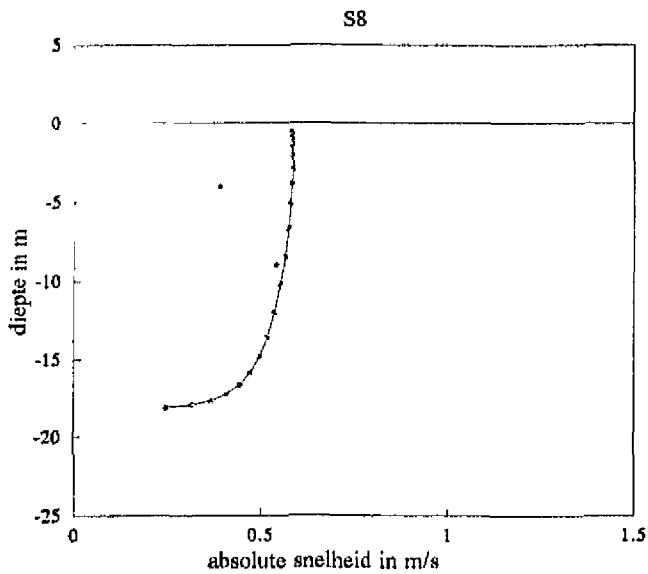
Bijlage 12





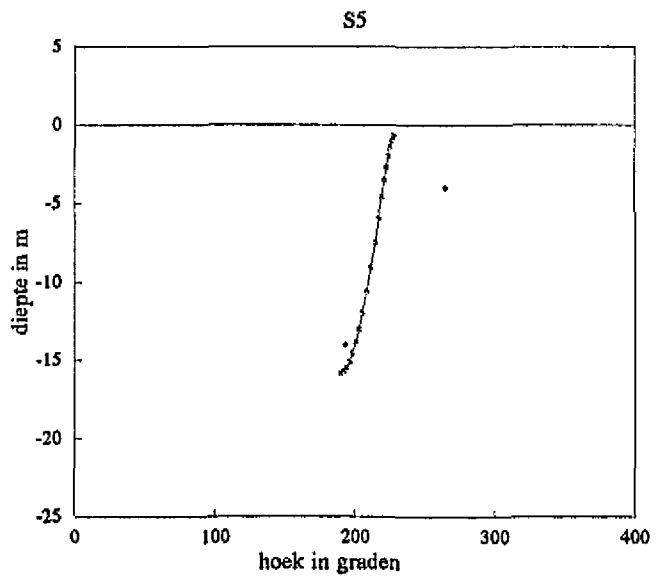
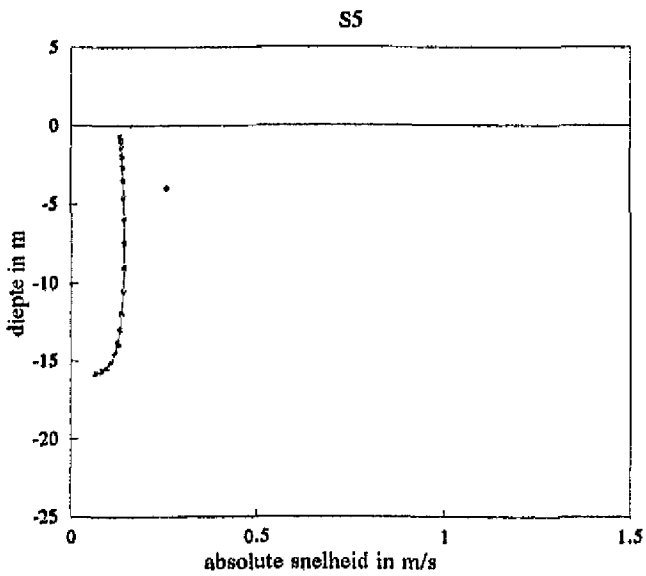
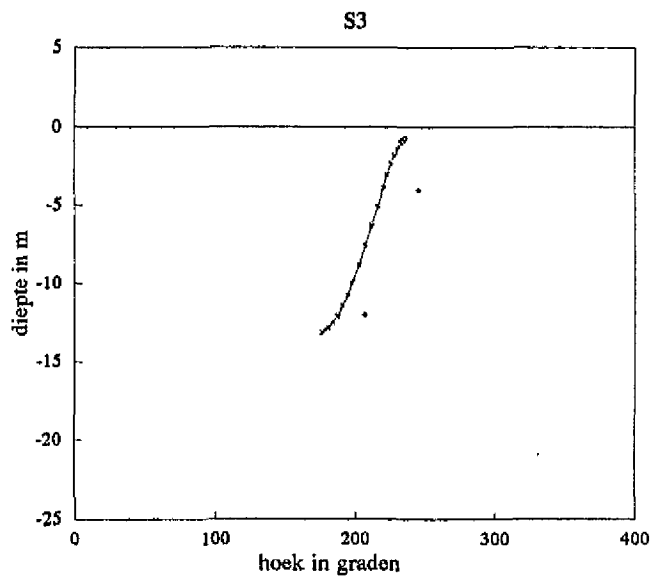
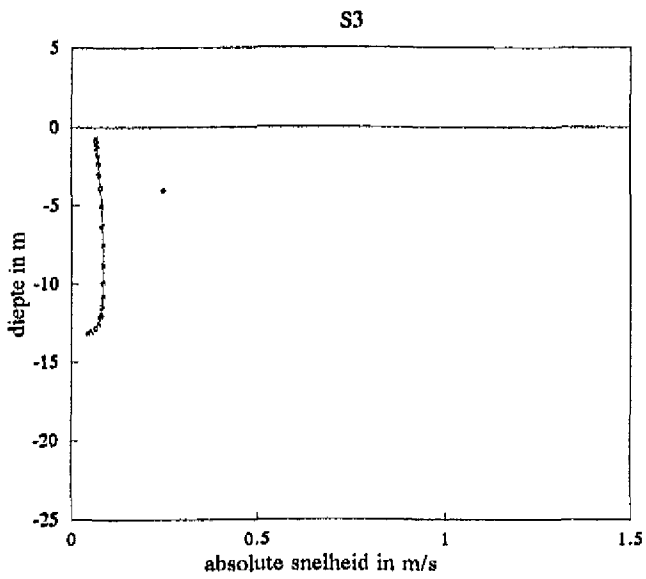
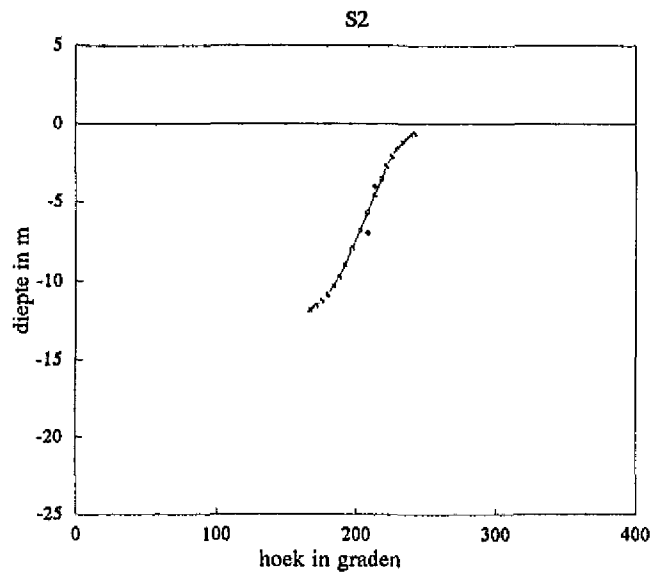
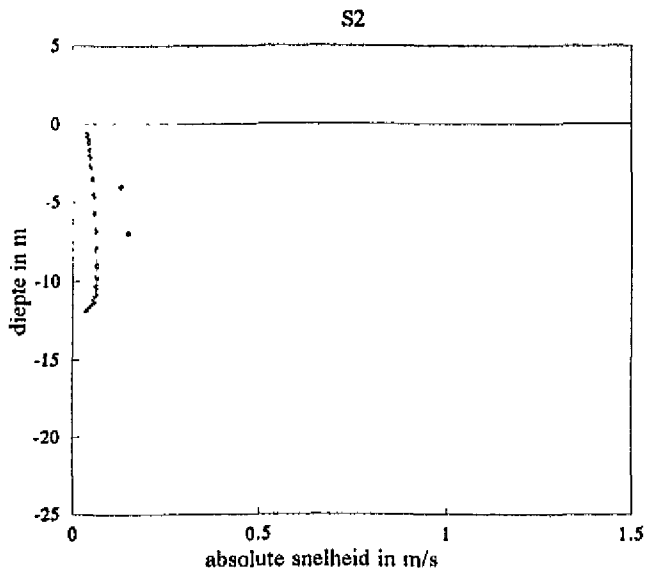
Profielen berekend versus gemeten van absolute snelheid en richting voor
Scheveningen- 2km, 3km en 5km, 18 oktober 1990 20:30





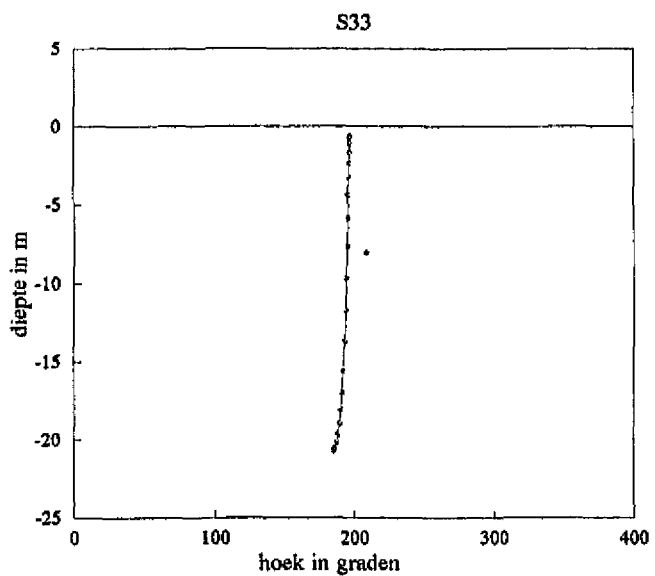
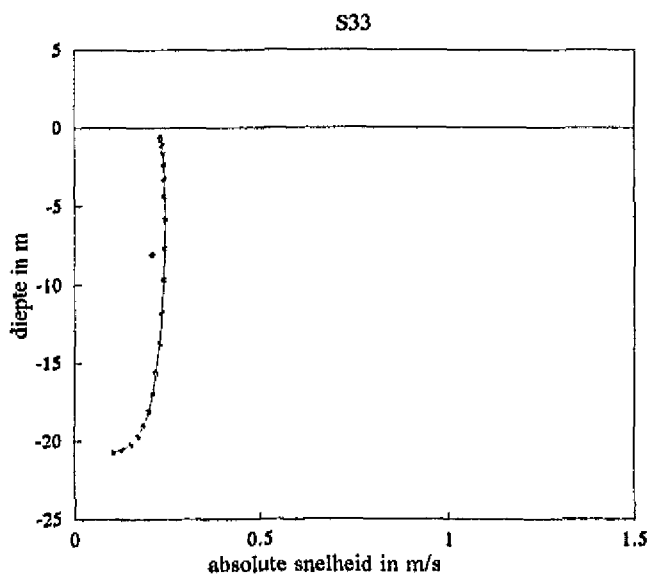
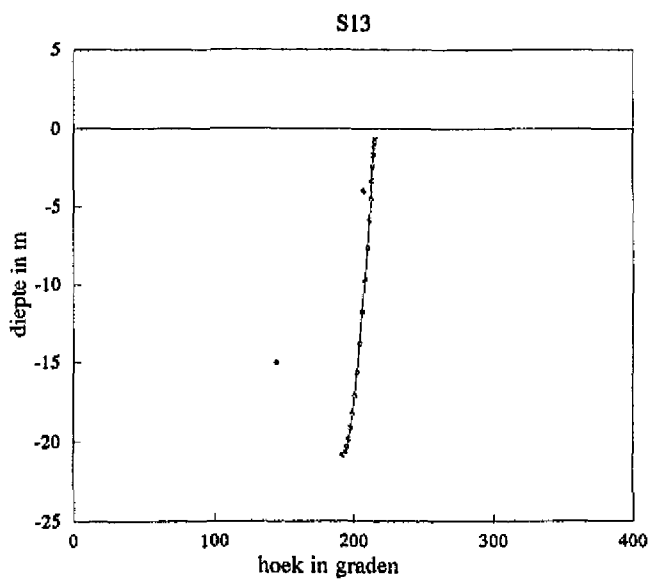
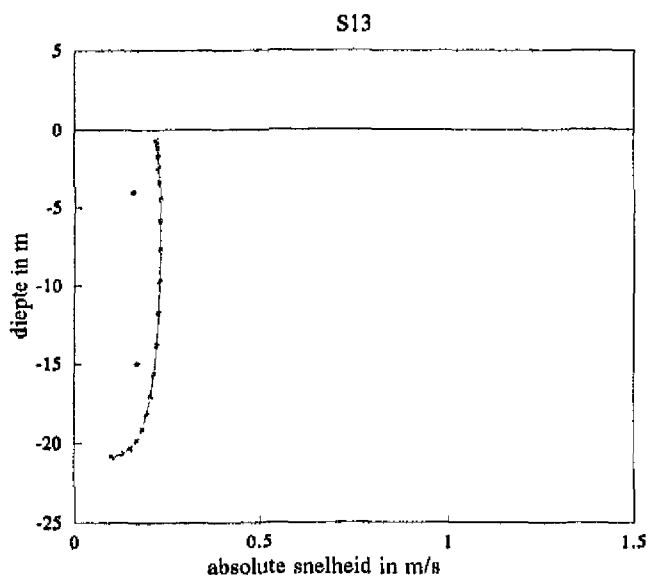
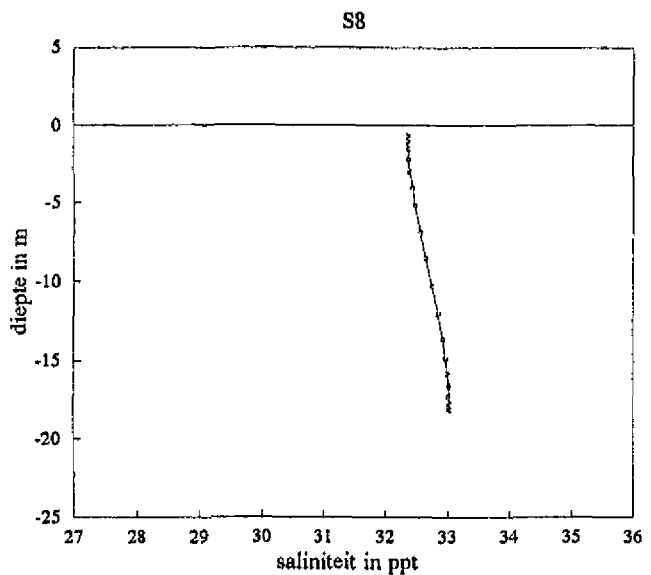
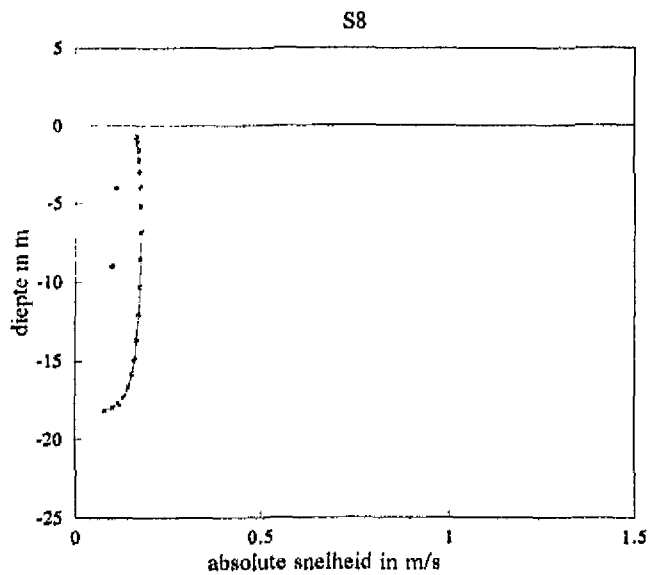
Profielen berekend versus gemeten van absolute snelheid en richting voor Scheveningen- 8km, 13km en 33km, 18 oktober 1990 20:30





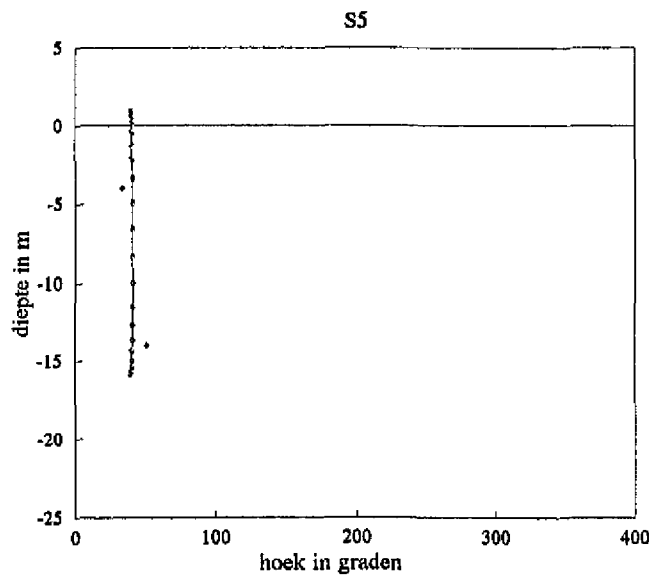
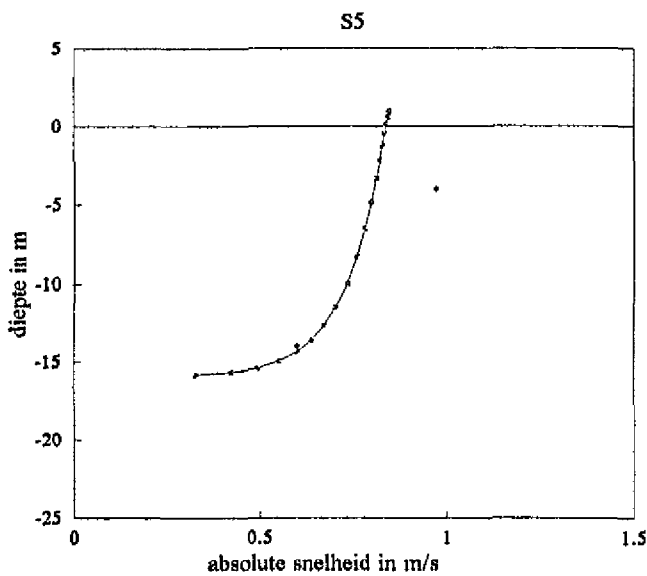
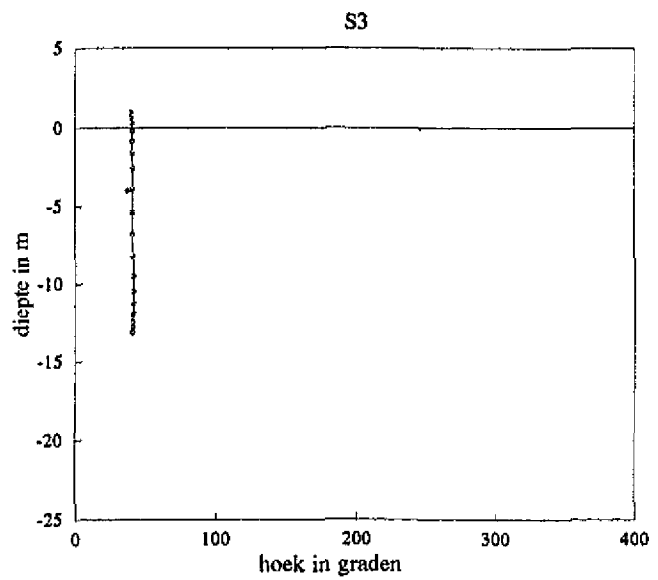
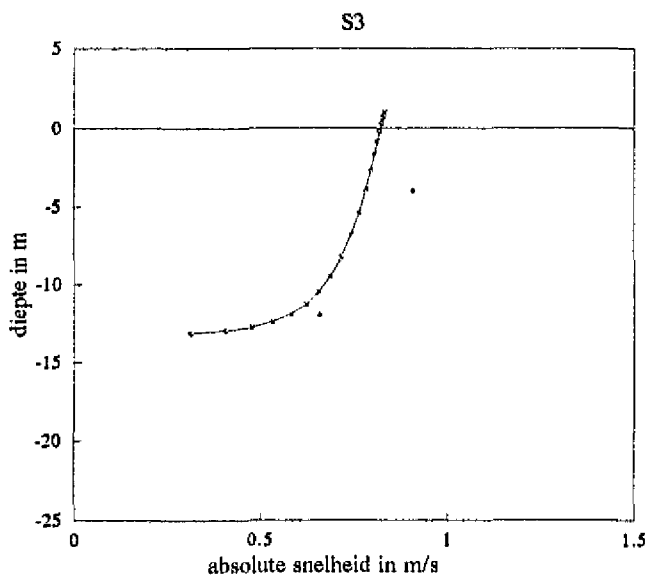
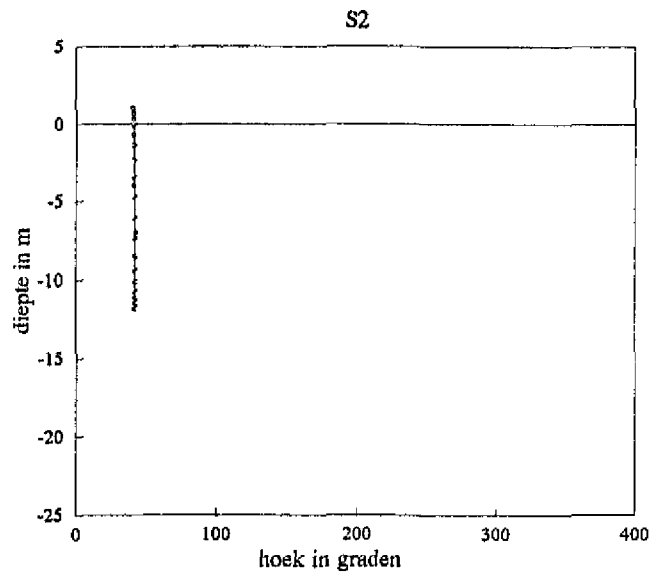
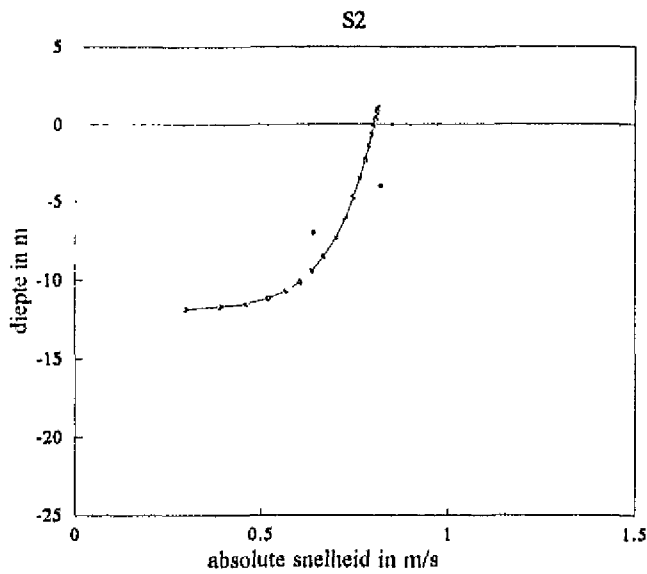
Profielen berekend versus gemeten van absolute snelheid en richting voor
Scheveningen- 2km, 3km en 5km, 19 oktober 1990 00:30





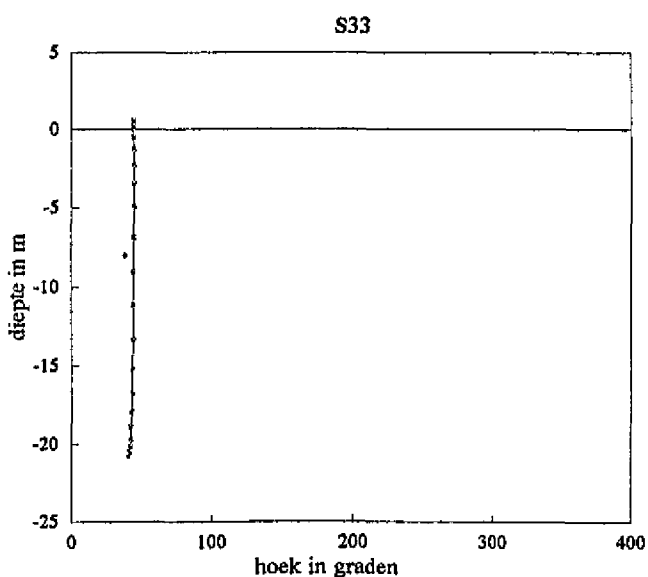
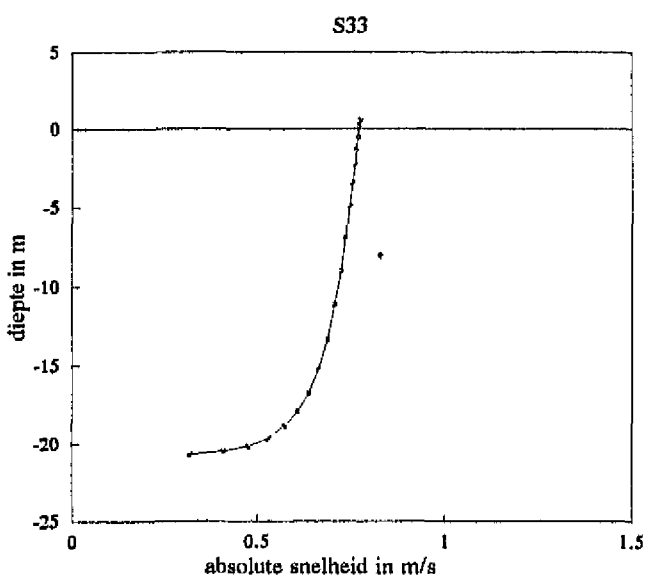
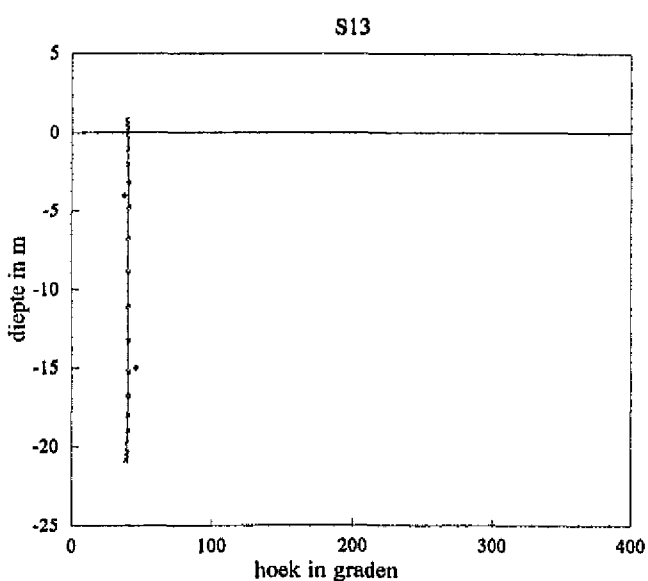
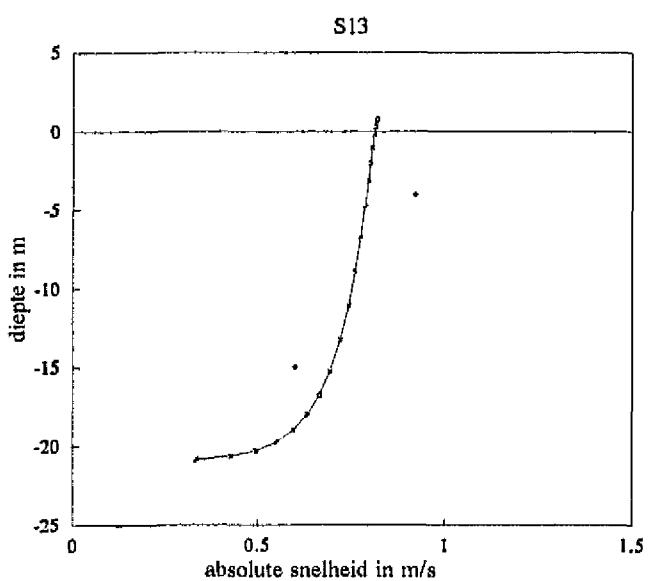
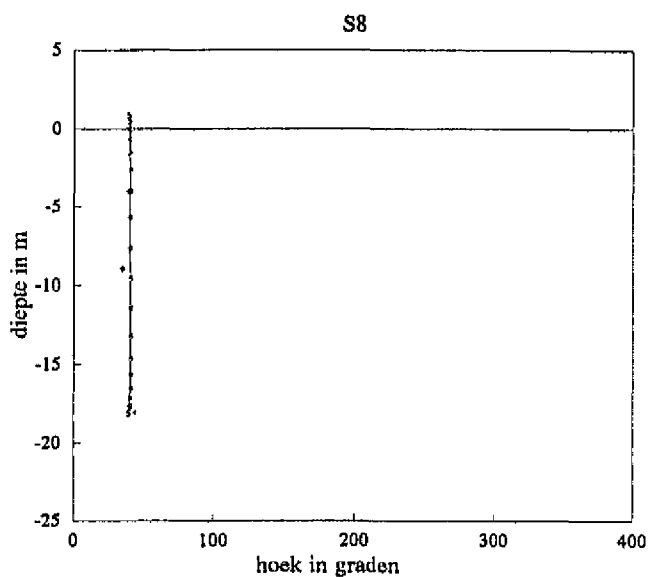
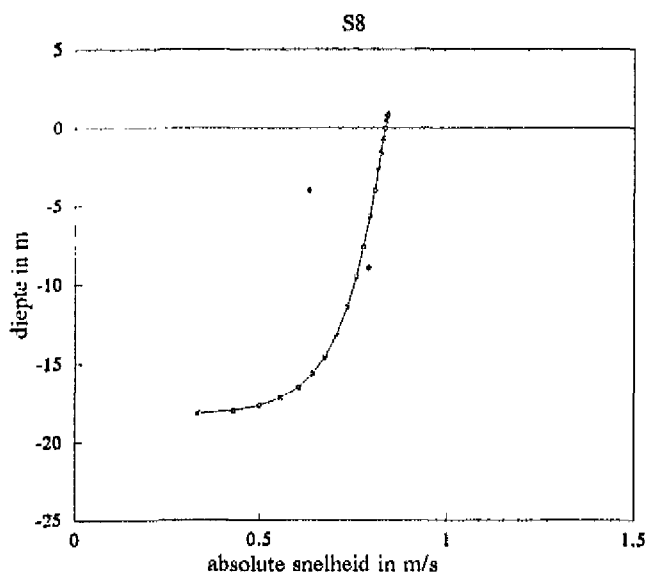
Profielen berekend versus gemeten van absolute snelheid en richting voor
Scheveningen- 8km, 13km en 33km, 19 oktober 1990 00:30





Profielen berekend versus gemeten van absolute snelheid en richting voor
Scheveningen- 2km, 3km en 5km, 19 oktober 1990 02:30





Profielen berekend versus gemeten van absolute snelheid en richting voor
Scheveningen- 8km, 13km en 33km, 19 oktober 1990 02:30

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
DGW/Rijksinstituut voor Kust en Zee

Rapport DGW 93.044

Bijlage 13.6

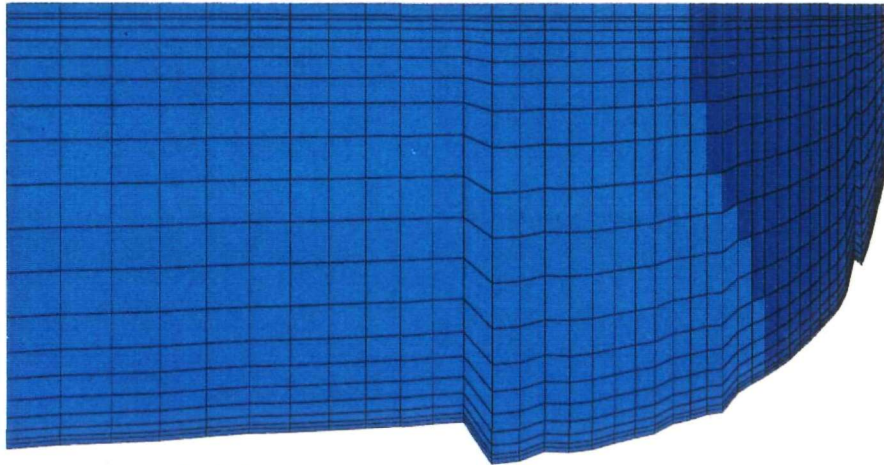


4.5 km
uit de kust

Scheveningen-raai

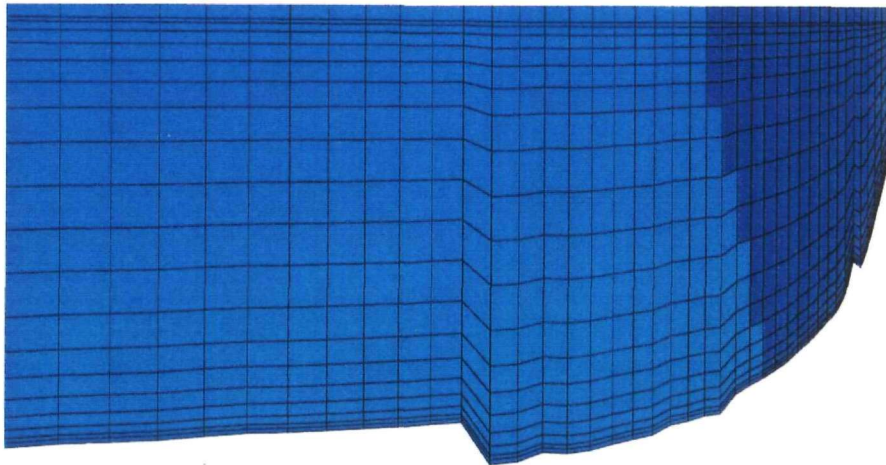
kustlijn

maximale
eb

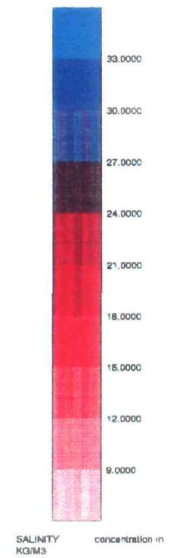
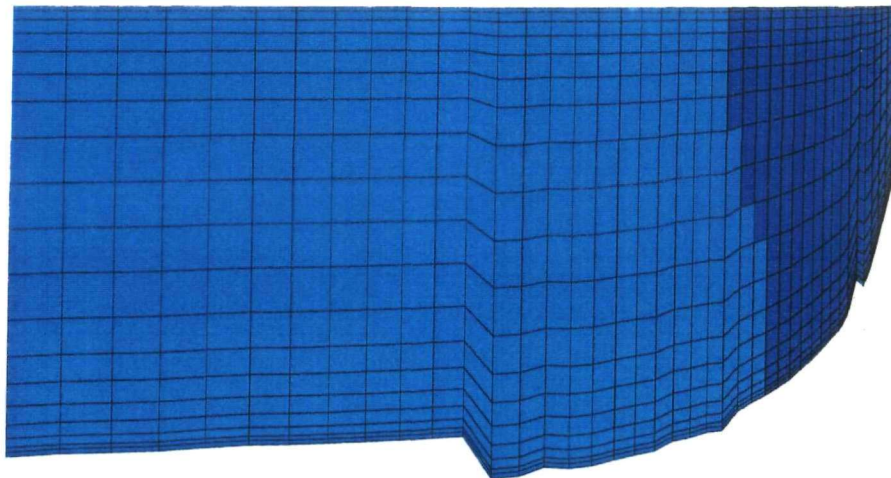


bodem

kentering



maximale
vloed



Saliniteitsprofielen berekend in een doorsnede dwars op de kust ter hoogte van de Scheveningen-raai, 18 oktober 1990 20:30, 19 oktober 1990 00:30 en 19 oktober 1990 02:30

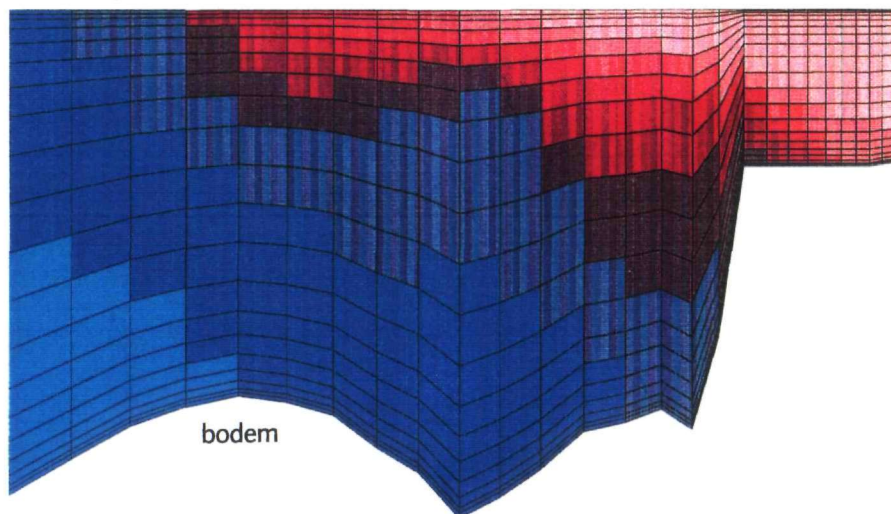


9.5 km
uit de kust

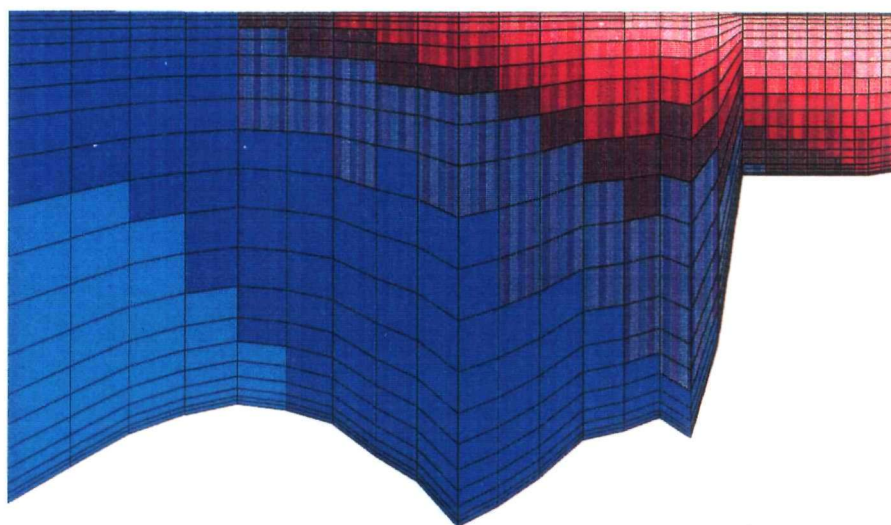
kustlijn

Nieuwe Waterweg

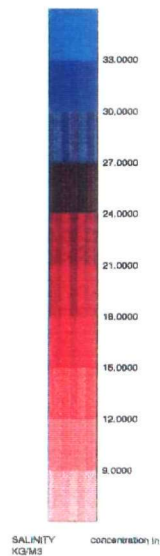
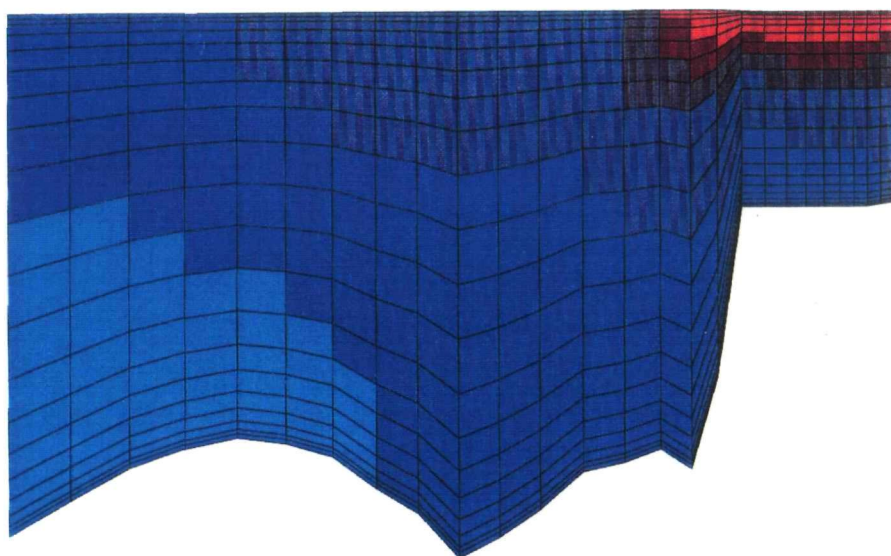
maximale eb
(bij Scheveningen)



kentering
(bij Scheveningen)



maximale vloed
(bij Scheveningen)



Saliniteitsprofielen berekend in een langsdoorsnede van de Nieuwe Waterweg,
18 oktober 1990 20:30, 19 oktober 1990 00:30 en 19 oktober 1990 02:30

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
DGW/Rijksinstituut voor Kust en Zee

Rapport DGW 93.044

Bijlage 14.2





SALINITY
IN KG/M3

CONCENTRATION

32.0000

31.0000

30.0000

29.0000

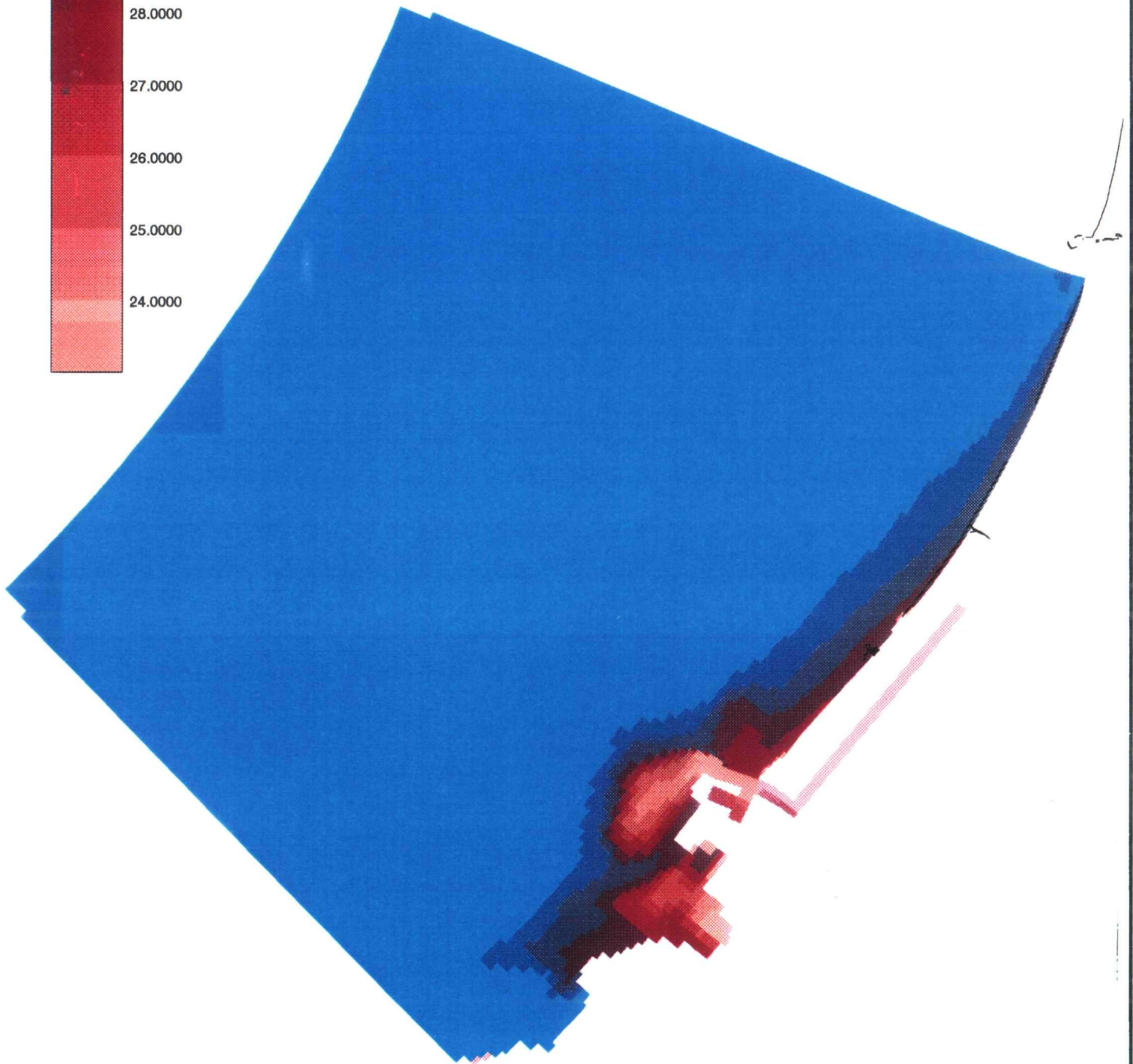
28.0000

27.0000

26.0000

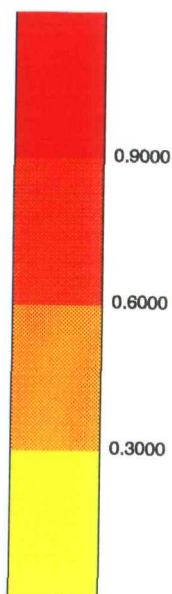
25.0000

24.0000

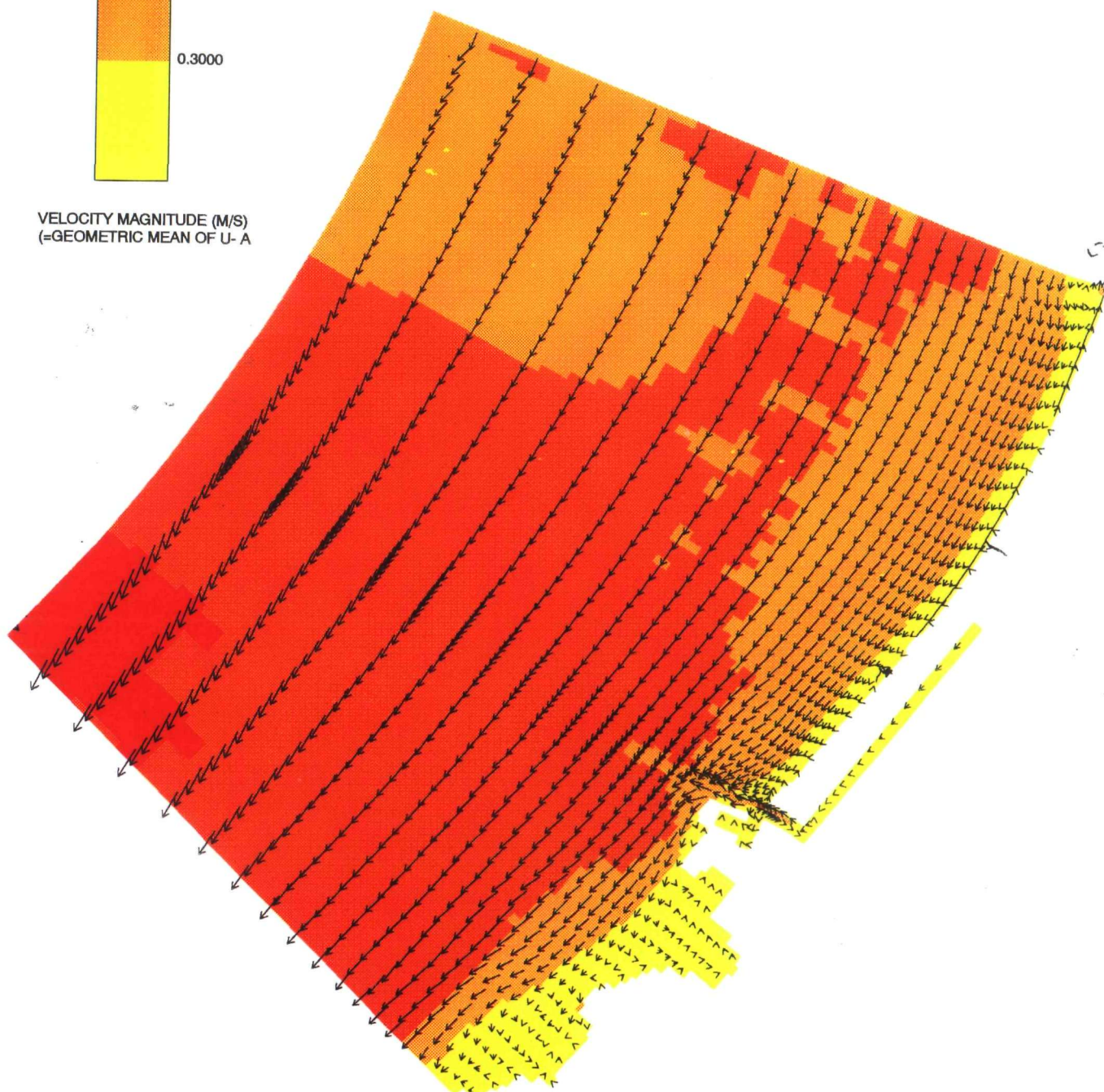


Berekende saliniteitsverdeling in de bovenste sigma-laag op 18 oktober 1990 22:30





VELOCITY MAGNITUDE (M/S)
(=GEOMETRIC MEAN OF U- A



Berekende snelheidsverdeling in de bovenste sigma-laag op 18 oktober 1990 22:30



Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ (voorheen Dienst Getijdewateren)

Aan
Geadresseerde

Contactpersoon
mw. drs. E.V.L. Kuijper
Datum
6 juni 1994
Oms kenmerk
RIKZ/ 945982
Project
KUST*HYDR
Onderwerp
Aanbieding rapport DGW 93.044

Doorkiesnummer
070-374.4925
Bijlage(n)
2
Uw kenmerk

In opdracht van de Hoofddirectie van de Waterstaat wordt door het Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ (voorheen Dienst Getijdewateren) een functionerend driedimensionaal KUSTSTROOK-model (waterbewegings,- en waterkwaliteitsmodel van de Nederlandse kustzone en estuaria) opgeleverd.

De belangstelling voor driedimensionale waterbewegings,- en waterkwaliteitsmodellen is gericht op die gebieden waar de aanwezigheid van dichtheidsgradiënten (ten gevolge van saliniteit of temperatuursverschillen) gevolg heeft voor de stromingsstructuur en daaruit volgende transporten van al dan niet opgeloste stoffen.

Voor de Nederlandse kustzone en estuaria hebben genoemde gradiënten een onmiskenbare invloed. De juiste weergave van verspreidingspatronen in die gebieden is onder andere van belang voor de calamiteitenproblematiek, verspreiding van al dan niet verontreinigd slib, en morfologische ontwikkelingen van de kustzone.

De ontwikkeling van driedimensionale modellen is derhalve een noodzakelijke activiteit.

Een dieptegemiddelde versie van het KUSTSTROOK-model (2DH) is al gedurende enige tijd operationeel en inmiddels een belangrijk advies,- en onderzoeksinstrument bij Rijkswaterstaat. Onder andere wordt in het Basispeilenonderzoek in verband met de bepaling van de ontwerppeilen in het Deltagebied van het KUSTSTROOK-model gebruik gemaakt.

Vestiging Den Haag
Postbus 20907, 2500 EX Den Haag
Bezoekadres Koningskade 4

Telefoon 070-3745745
Telefax 070-3282059



Het driedimensionale KUSTSTROOK-model (3D) wordt momenteel gebruikt om transport van (verontreinigd) slib te berekenen, wat de basis vormt voor het slibonderzoek met het MANS-instrumentarium. Verder wordt op korte termijn het 3D-KUSTSTROOK-model ingezet bij onderzoek naar de invloed van het spuiregiem van de spuisluizen in de Afsluitdijk op zoutgehaltefluctuaties, welke een mogelijke oorzaak van visziekten vormen.

In bijgaand RIKZ-rapport worden de activiteiten beschreven die hebben plaatsgevonden tijdens het gevoeligheidsonderzoek met het 3D-KUSTSTROOK-model. Voor de simulaties is gebruik gemaakt van de TRIWAQ-in-SIMONA-programmatuur. In verband met de capaciteit van het huidige rekenmedium is in dit gevoeligheidsonderzoek ervoor gekozen gebruik te maken van een deelmodel van het gehele KUSTSTROOK-model.

Als afronding van het gevoeligheidsonderzoek is gekeken naar de reproductie van het deelmodel van waterstanden, snelheden, en saliniteiten, in vergelijking met meetgegevens. Deze is zodanig, dat met goed vertrouwen verificatie van het gehele 3D-KUSTSTROOK-model kan worden voortgezet. Hierbij zal gebruik worden gemaakt van de meting die in 1993 voor de kust van Zuid-Holland in INVOWA-kader is uitgevoerd.

In opdracht van RIKZ is door het Waterloopkundig Laboratorium/WL gelijktijdig een gevoeligheidsonderzoek met hetzelfde deelmodel uitgevoerd. Voor de simulaties is gebruik gemaakt van de TRISULA-programmatuur. In dit gevoeligheidsonderzoek zijn een aantal aspecten onderzocht waarvan in de RIKZ-gevoeligheidsstudie gebruik is gemaakt, zoals variatie in roosterafstanden. Verder is gekeken naar het gebruik van verschillende turbulentiemodellen. Ook de rapportage van het door het WL uitgevoerde gevoeligheidsonderzoek wordt u hierbij toegezonden.

Voor nadere informatie over het KUSTSTROOK-model of het door het WL uitgevoerde gevoeligheidsonderzoek kunt u desgewenst contact opnemen met mw. drs. E. Kuijper (tel. 070-374.4925).

Hoogachtend,

de hoofdingenieur-directeur,
namens deze,
het hoofd van de hoofdafdeling Onderzoek en Strategie,

prof. dr. J. Dronkers

Waterloopkundig Laboratorium
t.a.v. G. Stelling
Postbus 177
2600 MH Delft

Waterloopkundig Laboratorium
t.a.v. J. van Kester
Postbus 177
2600 MH Delft

Waterloopkundig Laboratorium
t.a.v. Bibliotheek
Postbus 177
2600 MH Delft

TU Delft
Faculteit Civiele Techniek
t.a.v. N. Booij
Postbus 5048
2600 GA Delft

Universiteit Utrecht
IMAU
t.a.v. W. de Ruijter
Postbus 80.000
3508 TA Utrecht

RIKZ
L. Bijlsma

RIKZ
R. van Dijk

RIKZ
J. Dronkers

RIKZ
R. Hillen

RIKZ
H. Klopper (Haren)

RIKZ
J. de Kok

RIKZ
E. Kuijper

RIKZ
H. de Looff

RIKZ
W. van Leussen

RIKZ
K. Robaczewska

RIKZ
J. de Ronde

RIKZ
. J. de Ruig

RIKZ
R. Salden

RIKZ
H. Smit (Middelburg)

RIKZ
J. Voogt

RIKZ
bibliotheek (6 exemplaren)

Directie Noordzee
t.a.v. F. Hallie
Postbus 5807
2280 HV Rijswijk

Directie Noordzee
t.a.v. R. van der Poel
Postbus 5807
2280 HV Rijswijk

Directie Noordzee
t.a.v. L. Bosch
Postbus 5807
2280 HV Rijswijk

Directie Noordzee
t.a.v. J. Pulles
Postbus 5807
2280 HV Rijswijk

Directie Zuid-Holland
t.a.v. J. de Bruijne
Postbus 556
3000 AN Rotterdam

Directie Zuid-Holland
t.a.v. T. van der Linden
Postbus 556
3000 AN Rotterdam

RIZA
t.a.v. E. van Velzen
Van Leeuwenhoekweg 20
3316 AV Dordrecht

RIZA
t.a.v. H. Verbeek
Van Leeuwenhoekweg 20
3316 AV Dordrecht

RIZA
t.a.v. C. Bak
Postbus 17
8200 AA Lelystad

Directie Noordzee
t.a.v. R. Akkerman
Postbus 5807
2280 HV Rijswijk

Hoofddirectie van de Waterstaat
t.a.v. T. van der Wekken
Postbus 20906
2500 EX Den Haag

Directie Zuid-Holland
t.a.v. J. Al
Postbus 556
3000 AN Rotterdam

RIZA
t.a.v. D. Ludikhuize
Van Leeuwenhoekweg 20
3316 AV Dordrecht