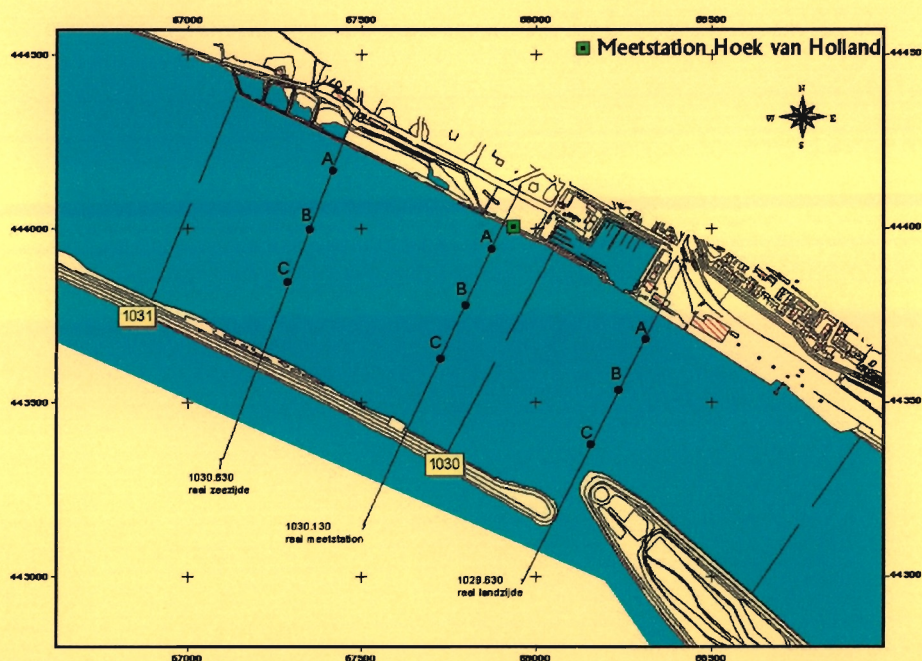




Adviesbureau Modelling en Optimalisatie

## Modelling chlorideconcentratie van Hoek van Holland



In opdracht van RIZA-WST

E.C.J. van der Meulen (AMO)

P.T.G.A. Jacobs (RIZA)

A. Fioole (RIZA)

28 november 2001

AMO  
Tel. 074-2503301

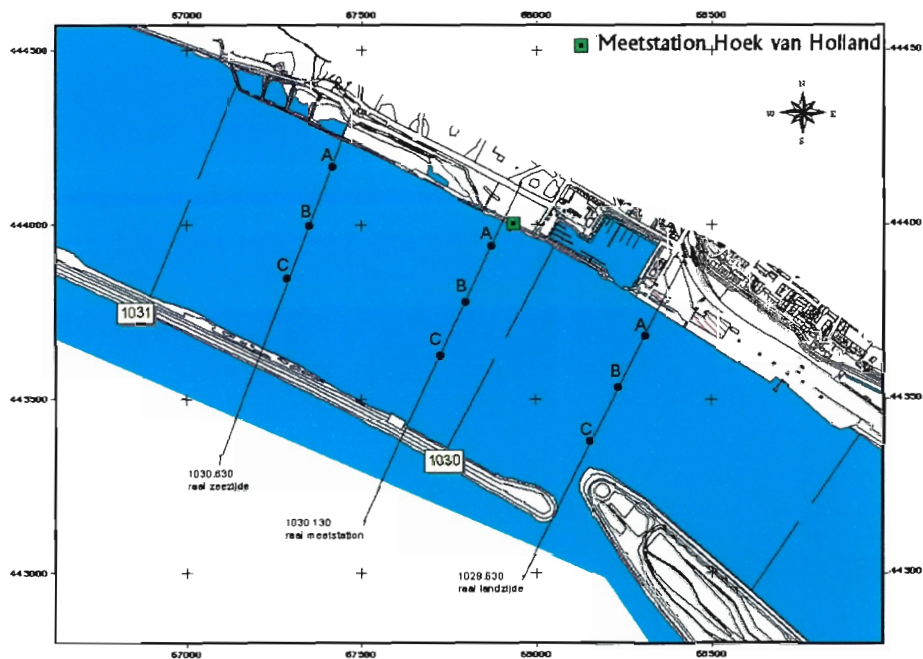
Deldenerstraat 81  
Email: [amo@amo-nl.com](mailto:amo@amo-nl.com)

7551 AC Hengelo  
Internet: <http://www.amo-nl.com>



Adviesbureau Modelling en Optimalisatie

# Modelling chlorideconcentratie van Hoek van Holland



**In opdracht van RIZA-WST**

E.C.J. van der Meulen (AMO)

P.T.G.A. Jacobs (RIZA)

A. Fioole (RIZA)

28 november 2001

AMO  
Tel. 074-2503301

Deldenerstraat 81  
Email: [amo@amo-nl.com](mailto:amo@amo-nl.com)

7551 AC Hengelo  
Internet: <http://www.amo-nl.com>



## Samenvatting

De vraagstelling is of met een gewenste nauwkeurigheid de chlorideconcentraties over het dwarsprofiel in de Nieuwe Waterweg bij het meetstation Hoek van Holland geschat kunnen worden uit de drie vaste meetpunten en de waterstand.

Het onderzoek omvat vier onderdelen. Het eerste onderdeel betreft de verwerking en interpretatie van alle meetgegevens, geleverd door Rijkswaterstaat Zuid-Holland. De metingen zijn uitgevoerd op 13 juli 2000. De meetgegevens betreffen chlorideconcentraties gemeten in verticalen in de Nieuwe Waterweg, chlorideconcentraties gemeten op 3 vaste meetpunten bij het meetstation Hoek van Holland en de waterstanden ter plaatse. Op de meetgegevens zijn een aantal bewerkingen en correcties uitgevoerd. De belangrijkste bewerking is de omrekening van de metingen t.o.v. de waterstand naar metingen t.o.v. NAP.

In het tweede onderdeel zijn drie interpolatiemethodieken toegepast voor schatten van chlorideconcentraties op een willekeurig tijdstip op een willekeurig punt in een verticaal. De 'cubic'-interpolatiemethodiek gaf de beste resultaten in het schatten van chlorideconcentraties. Door het kleine aantal metingen (10 of 11) in een tijdreeks is het moeilijk de verschillende interpolatiemethodieken te valideren en goede uitspraken te doen over de betrouwbaarheid van de interpolatie.

In het derde onderdeel zijn door interpolatie van de geschatte chlorideconcentraties in de verticalen de dwarsprofielen van de chlorideconcentraties in de rivier geschat. De interpolatie in de ruimte geeft goede resultaten. Bij een foutenanalyse blijkt dat het informatieverlies bij het schatten van 50% van het aantal chloridemetingen in een verticaal maximaal 7% is.

In het vierde onderdeel zijn uit de dwarsprofielen de gemiddelde chlorideconcentraties berekend. Voor de gemiddelde chlorideconcentraties in een dwarsprofiel zijn tijdreeksmodellen ontwikkeld. Met de tijdreeksmodellen blijkt het goed mogelijk om met de meetgegevens van de chlorideconcentraties van de vaste meetpunten en de waterstand de gemiddelde chlorideconcentraties in de rivier te schatten. Voor een uitgebreide en goede validatie van de modellen zijn meer meetgegevens gewenst van chloridemetingen en waterstanden.

Aanbevelingen zijn:

1. Oorspronkelijke meetgegevens direct om te rekenen naar dieptes t.o.v. NAP om daarna eventuele bewerkingen op de meetgegevens uit te voeren.
2. De meetfrequentie voor het bemeten van een verticaal te verhogen om langere tijdreeksen van chlorideconcentraties te genereren
3. Nabij de oevers en op meer punten chlorideconcentraties te meten
4. Tijdreeksmodellen toe te passen met daarin naast de chlorideconcentraties van de drie vaste meetpunten en de waterstand ook de invloeden van eb en vloed zijn meegemodelleerd.

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>De verwerking en interpretatie van de metingen</b>	<b>5</b>
2.1	Verwerking van de meetgegevens	5
<b>3</b>	<b>Interpolatie van de tijdreeksen</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Het schatten van het gemiddelde dwarsprofiel</b>	<b>9</b>
4.1	Schatting van de diepte van een dwarsprofiel	9
4.2	Schatting van het dwarsprofiel	10
4.3	Foutenanalyse van de ruimtelijke interpolatie	11
<b>5</b>	<b>Modellering van de chlorideconcentraties</b>	<b>12</b>
5.1	De gemiddelde chlorideconcentraties	12
5.2	De verschillen tussen de niveau-gemiddelde en de vaste chlorideconcentraties	13
5.3	Chlorideconcentratie-modellen	15
<b>6</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>Literatuur</b>	<b>19</b>
<b>8</b>	<b>Bijlage</b>	<b>20</b>
8.1	Uitbijters in de chloride concentraties van de vaste meetpunten	20
8.2	Alle dwarsprofielen	21
8.3	Optimalisatie huidige modellen	27
8.4	Validatie van de modellen	31
8.5	Parameterwaarden van de verschillende statistische modellen	32
8.6	Parameterwaarden van de verschillende tijdreeksmodellen	35



## 1 Inleiding

Per 1 januari 2005 zullen de Haringvlietsluizen gedurende een periode van minimaal vijf jaar op een 'Kier' gezet worden. In het kader van dit project is op 13 juli 2000 bij het zoutmeetstation Hoek van Holland in de Nieuwe Waterweg een uitgebreide 'correlatiemeting' uitgevoerd door de Meetdienst van Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland.

Het doel van deze meting is om de verdeling van de chlorideconcentratie over de dwarsdoorsnede en diepte van de rivier te meten om daarna een relatie te kunnen leggen met de metingen van het vaste meetstation. Tijdens de meting is in drie dwarsraaien, in negen verticalen, in de nabijheid van het vaste meetstation gemeten. Van diezelfde periode zijn ook metingen van de chlorideconcentratie van het vaste meetstation beschikbaar op drie dieptes. Bovendien is ter plaatse continu de waterstand gemeten.

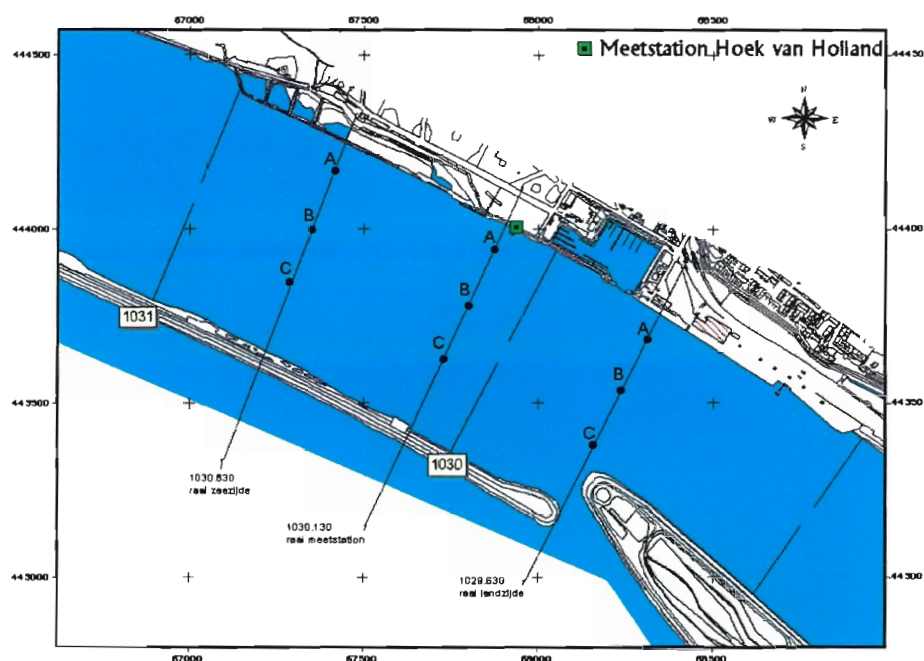
Op basis van de beschikbare metingen over een dwarsprofiel van de rivier en van het vaste meetstation worden de relaties tussen de verschillende gemeten chlorideconcentraties bepaald. Door interpolatie in de tijd kan op elk gewenst tijdstip de chlorideconcentratie van elk meetpunt in een verticaal geschat worden. Door inter- en extrapolatie kunnen op gekozen tijdstippen de chlorideconcentraties in een dwarsprofiel geschat worden. Een aantal modellen worden ontwikkeld voor de gemiddelde waarde van de chlorideconcentratie in de rivier, waarbij de invoervariabelen de chlorideconcentraties van drie vaste meetpunten en de waterstand zijn.

Voor de uitvoering van de opdracht is het gebruiksvriendelijk programma CIHvH in Matlab ontwikkeld. Het programma geeft grafische presentaties van de gemeten verticalen, de tijdreeksen, de dwarsprofielen en de gemiddelde chlorideconcentraties in de dwarsprofielen. Het programma werkt onder Matlab 5.3 of latere versies.

In het onderzoek zijn vier onderdelen te onderscheiden, welke in vier hoofdstukken zijn uitgewerkt. In hoofdstuk 2 worden de meetgegevens verwerkt en een eerste analyse wordt gemaakt op basis van grafische presentaties van de tijdreeksen. In hoofdstuk 3 worden verschillende interpolatiemethodieken op de tijdreeksen van een meetpunt toegepast en geanalyseerd. In hoofdstuk 4 worden de chlorideconcentraties in een dwarsprofiel van een raai geschat door het toepassen van een interpolatiemethodiek ontwikkeld door A. Fioole. In grafische presentaties wordt inzicht gegeven in de fysische processen van de zoutindringing. In hoofdstuk 5 worden een aantal modellen ontwikkeld en geanalyseerd voor het beschrijven van de gemiddelde chlorideconcentraties in een dwarsprofiel. In hoofdstuk 6 zijn de conclusies en aanbevelingen gegeven. In de Bijlage worden tenslotte nog enkele grafieken en tabellen van resultaten gegeven.

## 2 De verwerking en interpretatie van de metingen

Het eerste onderdeel van het onderzoek betreft de ‘dataprocessing’: alle gegevens worden verzameld, verwerkt en geïnterpreteerd. De uitvoering van de metingen staat uitgebreid beschreven in ‘Meetverslag Correlatie meting meetstation Hoek van Holland’ (13 juli 2000). De metingen zijn geleverd op een CD-rom in Excel-bestanden. Gemeten is in verticalen van 9 meetpunten langs drie raaien bij het meetstation Hoek van Holland in de Nieuwe Waterweg. In de onderstaande figuur zijn van links naar rechts de raai gegeven van de zeezijde, meetzijde (bij het meetstation) en de landzijde.



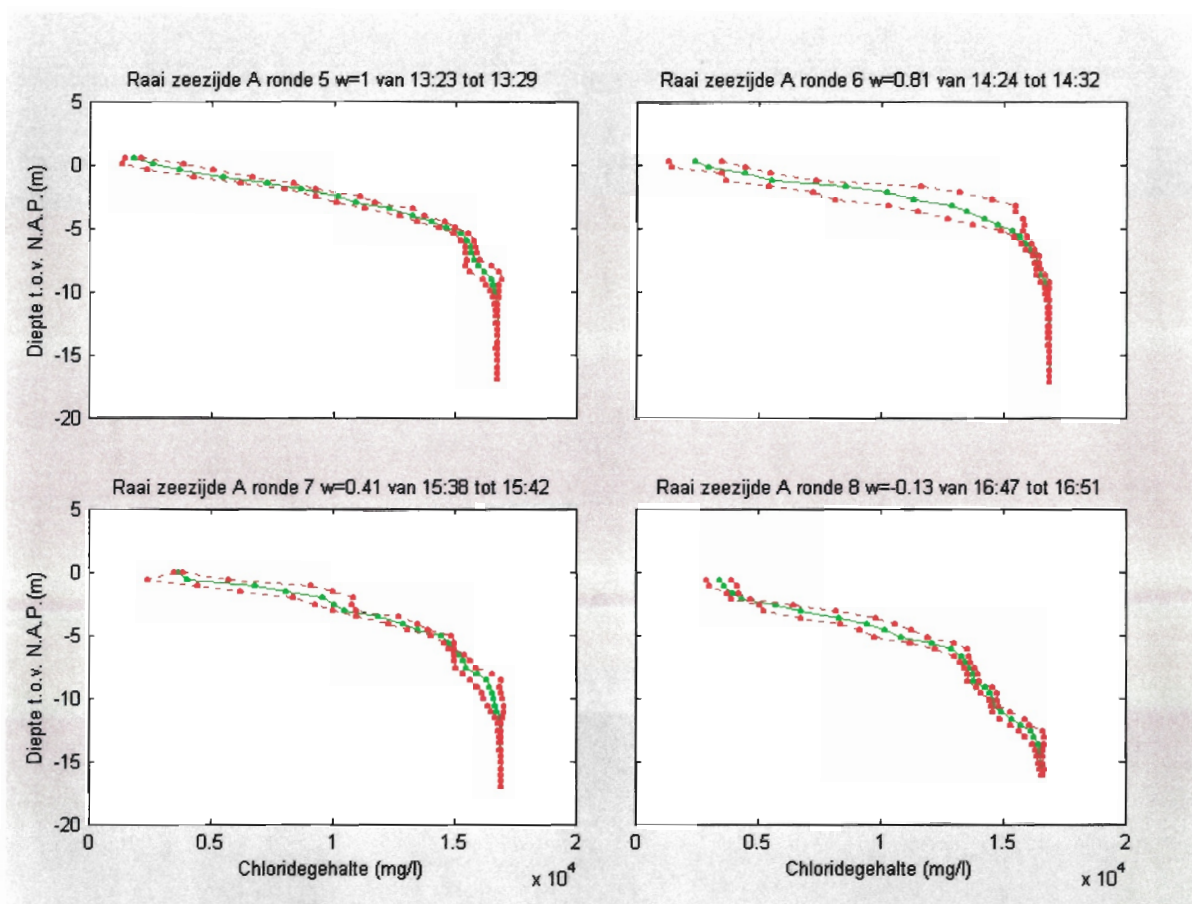
Figuur 1: de meetpunten bij Hoek van Holland

Bij 6 meetpunten is de meetcyclus 11 keer en bij 3 locaties 10 keer uitgevoerd. Een volledige meetcyclus van de 9 verticalen duurt ongeveer één uur. De metingen zijn uitgevoerd tussen half acht 's morgens en half negen 's avonds (een volledige getijcyclus). Gemeten zijn ook de waterstand ter plaatse en de chlorideconcentraties door drie sensors van het vaste meetstation op -2.5, -4.5 en -9.0 meter diepte t.o.v. NAP. Deze gegevens hebben een frequentie van 1 waarde per 10 minuten. In paragraaf 2.1 wordt de verwerking van de meetgegevens besproken.

### 2.1 Verwerking van de meetgegevens

De verwerking van de meetgegevens van de chlorideconcentraties en waterstanden is uitgevoerd in de programmeeromgeving van Matlab. Het Matlabprogramma CIHvH is ontwikkeld om de meetgegevens inzichtelijk te maken en om het onderzoek uit te kunnen voeren. Ingelezen zijn de ‘gevalideerde metingen’ van de chlorideconcentraties gegeven op de Cd-rom. De volgende grafieken zijn gemaakt om met de grafieken gegeven in de Excel-bestanden op de Cd-rom te

kunnen vergelijken om eventuele fouten in de verwerking van de meetgegevens te detecteren. De meetgegevens zijn tenslotte de basis van dit onderzoek.



Figuur 2: chloridemetingen in verticaal A aan de zeezijde

In de bovenstaande grafieken is een voorbeeld gegeven van vier rondes van chloridemetingen in de verticaal zeezijde A. Gegeven zijn de metingen van ronde 5, 6, 7 en 8. De groene lijn geeft de gemiddelde chlorideconcentratie op de verschillende dieptes (om de 0.5 meter). De rode lijnen geven een schatting van het bijbehorende 95% betrouwbaarheidsinterval. In de titel van de grafieken zijn gegeven de waterstand ( $w$ ) t.o.v. NAP met de begin- en eindtijd van de metingen op dit meetpunt. Door een lineaire interpolatie van de 10 minuutwaarden van de waterstandgegevens wordt de waterstand geschat op het gemiddelde tijdstip dat een verticaal wordt bemeten.

Een aantal correcties en bewerkingen zijn op de gevalideerde metingen uitgevoerd. De gevalideerde metingen zijn gegeven t.o.v. de waterstand maar worden met de waterstandgegevens omgerekend naar metingen t.o.v. NAP. De gevalideerde metingen zijn gegeven om de 0.5 meter t.o.v. de waterstand. Na de omrekening naar dieptes t.o.v. NAP worden alle chloridemetingen opnieuw gezet naar dieptes om de 0.5 meter. De chloridemetingen op dezelfde diepte t.o.v. NAP zijn daarmee weer met elkaar vergelijkbaar. De maximale fout die hierbij wordt gemaakt is dus 0.5 meter. Een aanbeveling is dan ook alle oorspronkelijke meetgegevens direct om te rekenen naar dieptes t.o.v. NAP en pas daarna eventuele bewerkingen op de meetgegevens uit te voeren. Een aantal correcties en bewerkingen komen in de volgende hoofdstukken aan de orde.

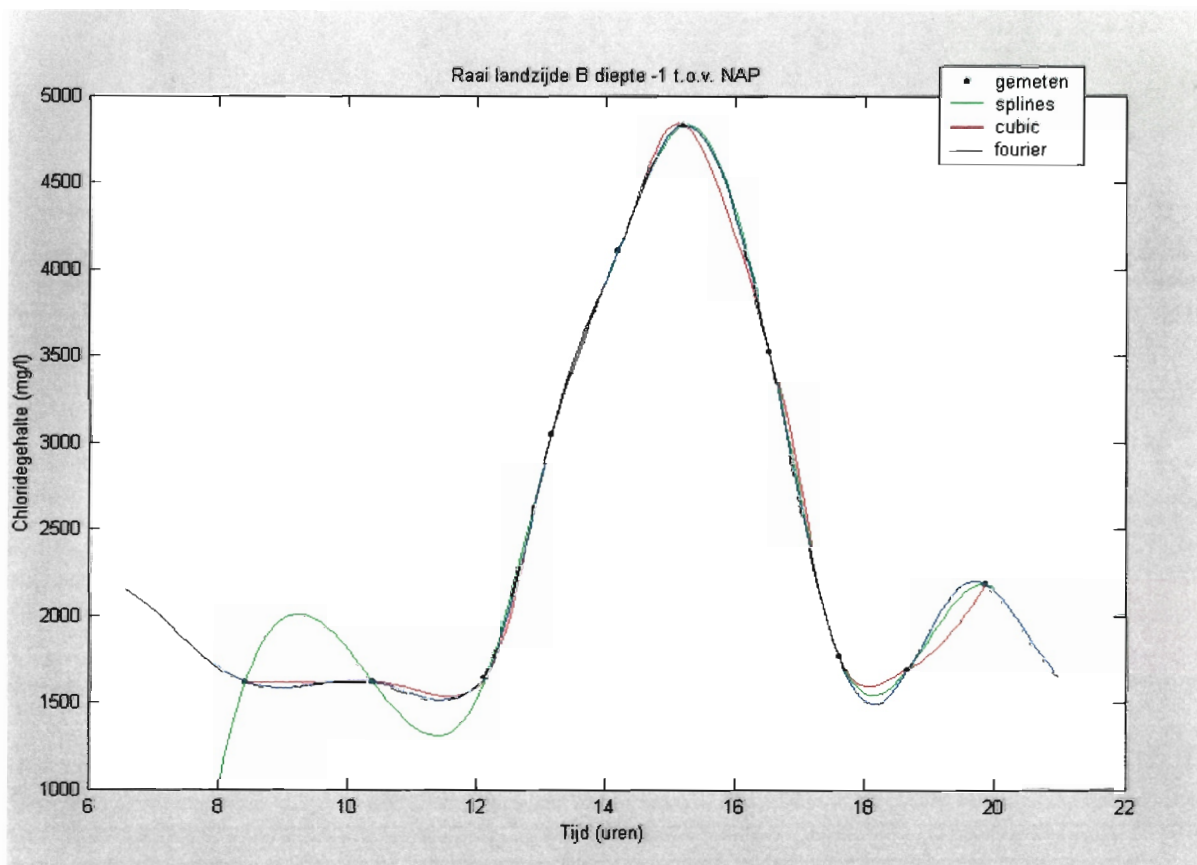


### 3 Interpolatie van de tijdreeksen

Voor het maken van interpolaties van tijdreeksen van chlorideconcentraties zijn drie verschillende interpolatiemethodieken toegepast. De interpolaties zijn uitgevoerd op alle tijdreeksen van meetpunten in de 9 verticalen, welke 10 of 11 chloridemetingen bevatten. Een tijdreeks met interpolaties moet zo goed mogelijk de gemeten waarden beschrijven en een zo realistisch mogelijke beschrijving geven van de werkelijkheid. De interpolaties van de tijdreeksen zijn nodig voor het schatten van een dwarsprofiel van de chlorideconcentraties in de rivier op een bepaald tijdstip, welke in het volgende hoofdstuk aan de orde komen.

Op voorhand lijken de volgende interpolatiemethoden goed te passen bij een tijdreeks van de chlorideconcentratie: 'splines', 'cubic'- en de 'fourier'- interpolatiemethodiek. Bij de 'splines' interpolatie worden verschillende functies gebruikt tussen opeenvolgende meetwaarden. Deze interpolatiemethodiek wordt bij RIKZ gebruikt voor het beschrijven van uurwaarden van waterstanden in de Noordzee. De 'cubic'-interpolatie gebruikt een cubic functie (polynomen). Bij de 'fourier'-interpolatie wordt fourier-transformatie toegepast. Bij de 'cubic'- en de 'fourier'-interpolatie wordt verondersteld dat de tijdsintervallen tussen de metingen dezelfde zijn, wat bij benadering het geval is in dit onderzoek.

In de onderstaande grafiek is een voorbeeld gegeven van de resultaten van de verschillende interpolatiemethodes bij een willekeurig meetpunt, raai landzijde B diepte -1 t.o.v. NAP.



Figuur 3: interpolaties in de tijd van chlorideconcentraties in landzijde B diepte -1 t.o.v. NAP

In de grafiek is te zien hoe de drie functies de gemeten chlorideconcentraties beschrijven. Een eigenschap van de interpolatiefuncties is dat de curve door de meetwaarden gaat. Met de ‘splines’- en de ‘fourier’-interpolatie kan er ook geëxtrapoleerd worden. De ‘splines’-interpolatie geeft de grafiek met de grootste bewegelijkheid. De ‘cubic’-en de ‘fourier’-interpolatiemethodiek geven de meest realistische grafieken.

De drie interpolatiemethodieken zijn voor alle tijdreeksen uitgebreid gevalideerd met het programma CIHvH. Een technische validatie van een interpolatiemethodiek kan door het weglaten van metingen en deze te schatten met de interpolatiemethodiek. De schattingsfout, het verschil van de schatting met de werkelijk gemeten waarde, is een maat voor de kwaliteit van de toegepaste interpolatiemethodiek. In de onderstaande tabel zijn de resultaten gegeven van de gemiddelde en de standaard deviatie van de schattingsfout.

**Tabel 1:** De schattingsfout bij de drie interpolatiemethodieken

Meetpunt	Splines		Cubic		fourier	
	gemiddeld	std.	gemiddeld	std.	gemiddeld	std.
Raai zeezijde A	-689.2	1828.4	-423.0	1474.4	-386.5	1606.2
Raai zeezijde B	-159.4	1455.8	7.5	1289.9	-10.7	1354.9
Raai zeezijde C	-407.3	1727.7	-251.6	1599.0	-282.9	1643.7
Raai meetstation A	-90.9	1715.5	-1.6	1515.0	-62.1	1561.3
Raai meetstation B	173.9	1986.3	267.0	1832.6	216.6	1901.0
Raai meetstation C	-418.1	1944.9	-232.1	1825.8	-246.0	1954.3
Raai landzijde A	410.9	2866.3	662.9	2012.5	634.9	2089.2
Raai landzijde B	278.8	1868.7	514.4	1689.2	505.5	1666.9
Raai landzijde C	-773.6	1436.9	-312.8	1716.1	-364.7	1843.0

Op basis van de grafische presentaties, zoals gegeven in figuur 3 en op basis van het gemiddelde en de standaard deviatie van de schattingsfouten in de tabel blijkt de ‘cubic’-interpolatiemethodiek de beste resultaten te geven.

Bij de ‘cubic’- en de ‘fourier’-interpolatiemethodiek dienen de tijdsintervallen tussen de metingen in de tijdreeks dezelfde te zijn. De schattingsfout is dan ook bepaald door om en om metingen weg te laten en te schatten. Door het lage aantal metingen, vijf of zes, is het moeilijk een goede functie voor het beschrijven van de chlorideconcentraties te schatten en de interpolatiemethodieken te interpreteren. In het vervolg van het onderzoek wordt verder de ‘cubic’-interpolatiemethodiek gebruikt voor de interpolatie in de tijd.

Voor een goede analyse van de verschillende interpolatiemethoden zouden meer metingen in de tijd gewenst zijn. Op basis van de huidige schattingsfouten/het informatieverlies is het niet mogelijk goede uitspraken te doen over de betrouwbaarheid van de interpolatie. Een betere meetstrategie was geweest niet drie maar één enkele raai te varen met driemaal zo hoge frequentie.

Op basis van de interpolatie in de tijd is het nu mogelijk chlorideconcentraties in een dwarsprofiel te schatten.

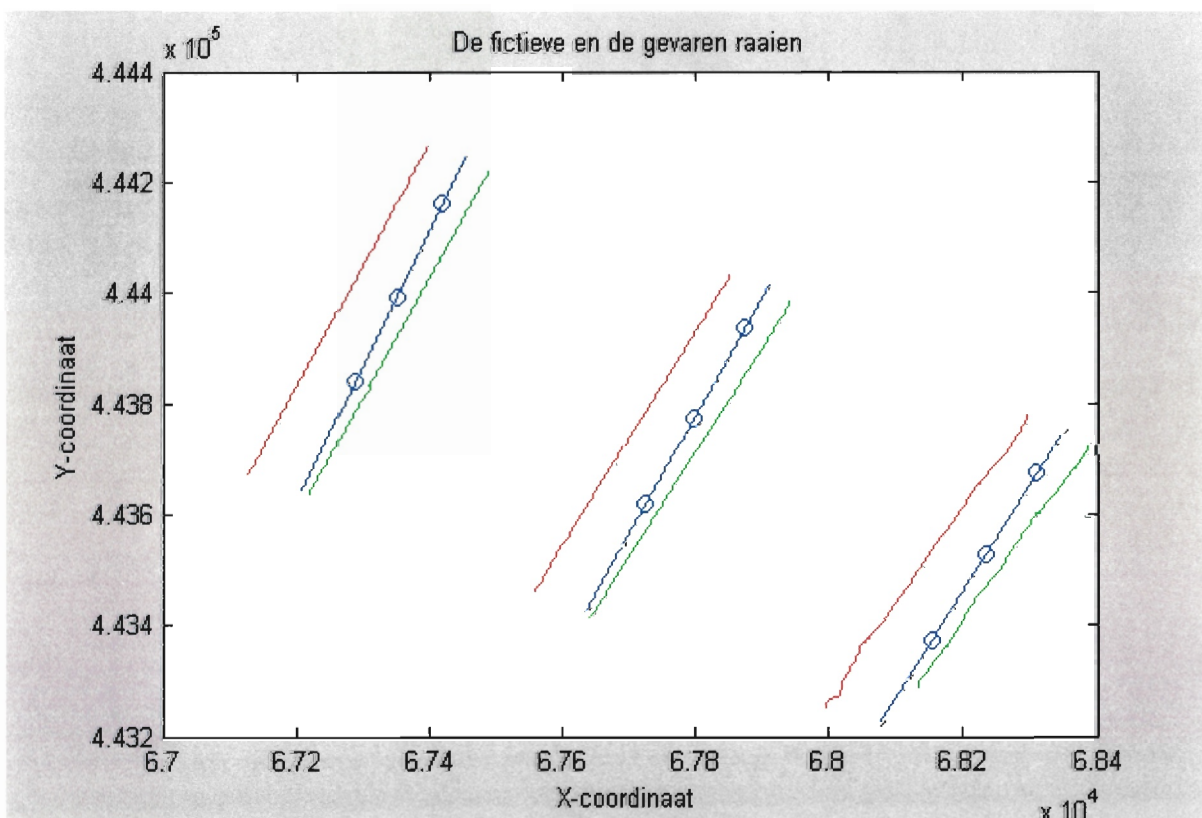
## 4 Het schatten van het gemiddelde dwarsprofiel

In het voorgaande hoofdstuk zijn chlorideconcentraties van punten in een verticaal geschat op bepaald tijdstip. In dit hoofdstuk wordt met deze geïnterpoleerde waarden van de drie verticalen een schatting gemaakt van een dwarsprofiel van de rivier. Door A. Fioole is het Fortran-programma clh3d.exe ontwikkeld om interpolaties in de ruimte uit te voeren.

Voor het schatten van een dwarsprofiel van de rivier is het nodig dat de dieptes in het dwarsprofiel bekend zijn. Deze dieptes worden in paragraaf 4.1 geschat uit dieptemetingen van twee omliggende raaien waarvan lodinggegevens beschikbaar zijn. Na de interpolatie in de ruimte van de chlorideconcentraties worden afhankelijk van de waterstand en het bodemprofiel het dwarsprofiel van de concentraties ‘uitgesneden’. In paragraaf 4.2 is een grafische presentatie gegeven. In paragraaf 4.3 in een foutenanalyse gegeven van de interpolatie in de ruimte.

### 4.1 Schatting van de diepte van een dwarsprofiel

In figuur 4 zijn de posities gegeven van de raaien met lodingsgegevens en de meetpunten van de verticalen. Van boven naar beneden zijn gegeven de gevaren raaien van de zeezijde, bij het meetstation en de landzijde. Door lineaire interpolatie op basis van de afstand van de raaien tot de fictieve raai door de meetpunten wordt de diepte bepaald van het dwarsprofiel. Op basis van de dieptemetingen worden de oevers geschat. In de figuur zijn ook de uiteindelijke resultaten gegeven van de fictieve raaien van de dwarsprofielen.



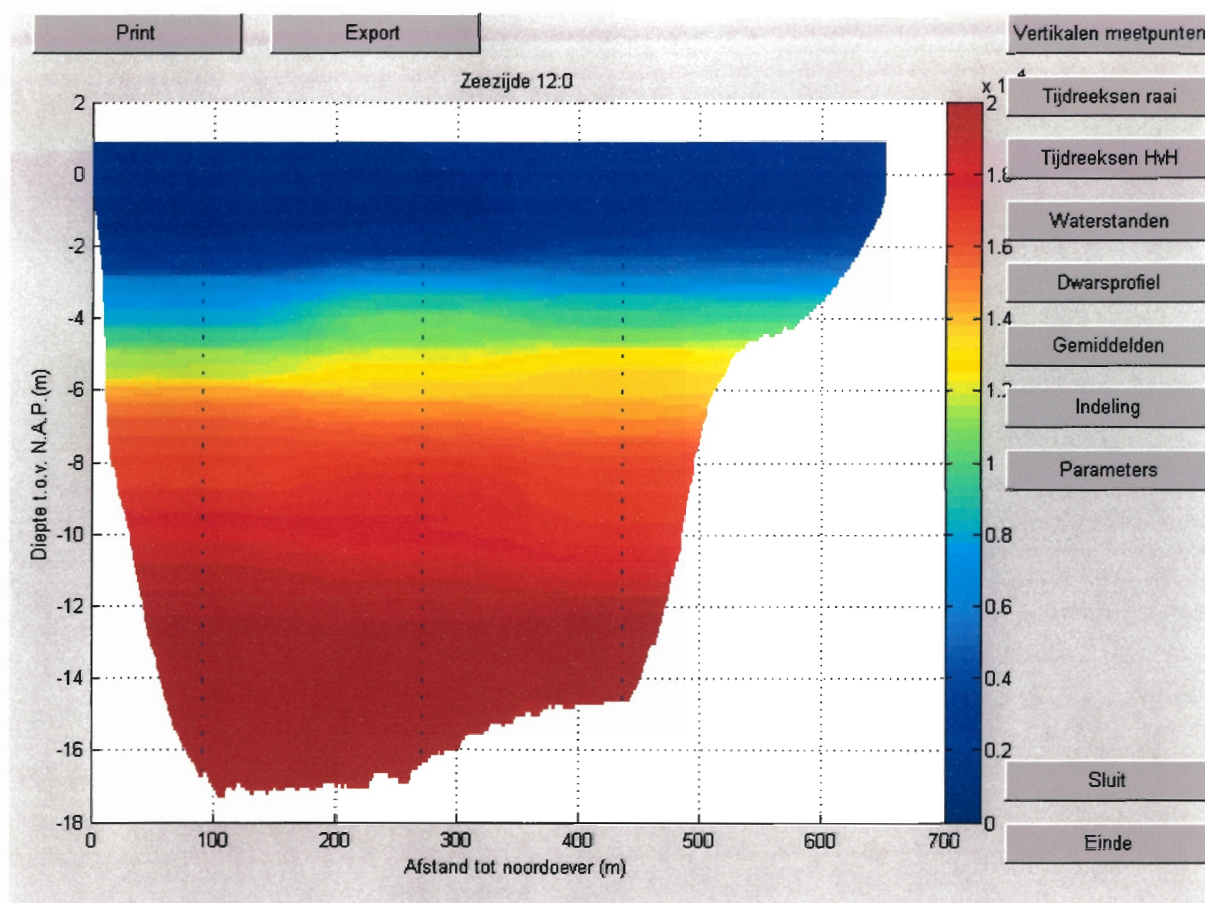
Figuur 4: gevaren raaien en de fictieve raaien van de dwarsprofielen



## 4.2 Schatting van het dwarsprofiel

Bekend zijn nu de coördinaten van de oevers, het bodemprofiel en de chlorideconcentraties op elk tijdstip in de verticalen van een dwarsprofiel. Voor het bepalen van de chlorideconcentraties in een dwarsprofiel d.m.v. interpolatie is het nodig dat de onbekende chlorideconcentraties aan de oevers en in de onderste en bovenste dieptes van de verticalen geschat worden. Als schatting voor de chlorideconcentraties aan de oevers wordt de concentraties genomen van de buitenste verticalen (horizontale extrapolatie). Voor de ontbrekende chlorideconcentraties onder en boven in de verticalen worden de gemeten chlorideconcentraties genomen van de dichtst bij gelegen meetpunten (verticale interpolatie). Na de interpolatie wordt afhankelijk van de waterstand en het bodemprofiel het dwarsprofiel van de concentraties ‘uitgesneden’.

In figuur 5 is een voorbeeld gegeven van een grafische presentatie van de resultaten, zoals deze wordt gegeven in het Matlab-programma ClHvH. Als voorbeeld zijn genomen de chlorideconcentraties van de zeezijde van 12:00 uur.



Figuur 5: het dwarsprofiel om 12:00 uur aan de zeezijde

De figuur is een ‘bitmap’ van de ‘interface’ van ClHvH. De kleurenbalk aan de rechter zijde geeft aan welke kleuren corresponderen met welke concentraties. De blauwe kleur betekent een lage chlorideconcentratie, donker rood betekent een hoge chlorideconcentratie (maximaal 20.000 mg/l). De grafiek laat een duidelijke zoutindringing zien bij hoogwater. In de Bijlage 8.2 zijn alle dwarsprofielen gegeven.

### 4.3 Foutenanalyse van de ruimtelijke interpolatie

Een foutenanalyse van de ruimtelijke interpolatie van een dwarsprofiel kan door het weglaten van metingen en deze te schatten met interpolatie. De schattingsfout, het verschil van de schatting met de werkelijk gemeten waarde, is een maat voor het informatieverlies en een maat voor de kwaliteit van de interpolatie.

Meetgegevens van de chlorideconcentraties zijn om de 0.5 meter in de verticalen gegeven. In de onderstaande tabel zijn de resultaten gegeven waarbij om en om metingen uit de verticalen zijn weggelaten. De interpolatie is uitgevoerd met alleen meetgegevens op hele meters in de verticalen (1,0,-1, .. meter t.o.v. NAP) . Berekend zijn de gemiddelde fout, de standaard deviatie van de fout en het percentage informatieverlies. De fout is daarbij het verschil tussen de gemeten waarde en de geïnterpoleerde waarde. Het informatieverlies is gedefinieerd als het percentage van de standaard deviatie van de fout gedeeld door de standaard deviatie van de gemeten chlorideconcentraties. In tabel 2 zijn de resultaten gegeven voor de verschillende dwarsprofielen en voor elk uur van de meetcyclus.

**Tabel 2:** Foutenanalyse van de interpolatie in de ruimte

Uur	Zeezijde			Meetzijde			Landzijde		
	gem	std	perc	Gem	std	perc	Gem	std	perc
8	-3.48	219.08	4.71						
9	13.98	295.00	5.45	17.38	297.48	6.46	-8.34	239.39	4.49
10	25.23	272.68	4.40	42.79	344.14	6.45	-23.69	278.99	4.74
11	0.04	243.85	3.99	6.71	185.33	2.89	-8.93	231.62	4.14
12	-43.56	251.75	4.78	-3.55	281.23	5.12	12.44	209.43	4.04
13	-45.29	207.76	3.83	-10.27	391.04	6.79	-21.52	207.43	3.96
14	-16.60	185.99	3.89	-2.79	281.59	5.99	6.79	274.76	6.58
15	27.39	201.84	5.50	11.63	187.92	4.17	-18.05	208.88	5.22
16	-6.53	280.51	7.03	17.63	140.05	3.03	-4.48	199.44	4.49
17	9.71	219.92	4.55	-23.21	339.57	6.99	-10.98	221.16	4.01
18	-90.18	310.43	5.60	-2.13	170.13	3.17	-56.01	269.87	4.60
19	-74.29	271.83	5.46	-25.56	235.15	4.87	-12.34	303.71	5.25
20	-12.01	195.35	4.10	-45.74	228.23	5.52			

De percentages van het informatieverlies is tussen 2.89 en 7.03, bij het weglaten van de helft van het aantal metingen in de verticalen. Het informatieverlies en de fout door interpolatie in de ruimte zijn dus klein. Dit betekent dat extra metingen per verticaal weinig extra informatie zal geven.

In paragraaf 4.2 is als schatting van de chlorideconcentraties aan de oevers de chlorideconcentraties genomen van de buitenste verticalen. Over de fout die hierbij gemaakt wordt zijn geen uitspraken te doen, dit is vooral afhankelijk van de stromingsprocessen welke hier plaatsvinden. De aanname is nu dat de chlorideconcentraties aan de oevers vergelijkbaar zijn met die van de buitenste verticalen. De schattingsfout van de ontbrekende chlorideconcentraties in de onderste en bovenste dieptes van de verticalen is in de orde van de fout gegeven in Tabel 2. Een aanbeveling is de chlorideconcentraties in verticalen nabij de oevers te meten.

## 5 Modelling van de chlorideconcentraties

In het voorgaande hoofdstuk zijn voor verschillende tijdstippen de dwarsprofielen van de chlorideconcentraties bepaald. Uit de dwarsprofielen kunnen gemiddelde chlorideconcentraties worden bepaald. De gemiddelde chlorideconcentraties kunnen vergeleken worden met de gemeten chlorideconcentraties van de vaste meetpunten. Modellen worden ontwikkeld en gekalibreerd voor het beschrijven van de gemiddelde chlorideconcentraties in een dwarsprofiel als functie van de gemeten chlorideconcentraties van de vaste meetpunten en de waterstanden.

In paragraaf 5.1 zijn de gemiddelde chlorideconcentraties gegeven van de horizontalen en de verticaal midden in het dwarsprofiel. In paragraaf 5.2 zijn de gemiddelde chlorideconcentraties gegeven van de horizontalen van het dwarsprofiel op de dieptes van de sensors. In paragraaf 5.3 zijn enkele modellen gekalibreerd. In paragraaf 5.4 zijn de gekalibreerde modellen gevalideerd op basis van alle meetgegevens van de vaste meetpunten bij Hoek van Holland en de waterstanden in de Nieuwe Waterweg. In de Bijlage 8.2 zijn de modellen van destijds gekalibreerd. In de Bijlage 8.3 zijn de gekalibreerde modellen gevalideerd op basis van alle meetgegevens van de vaste meetpunten bij Hoek van Holland en de waterstanden in de Nieuwe Waterweg.

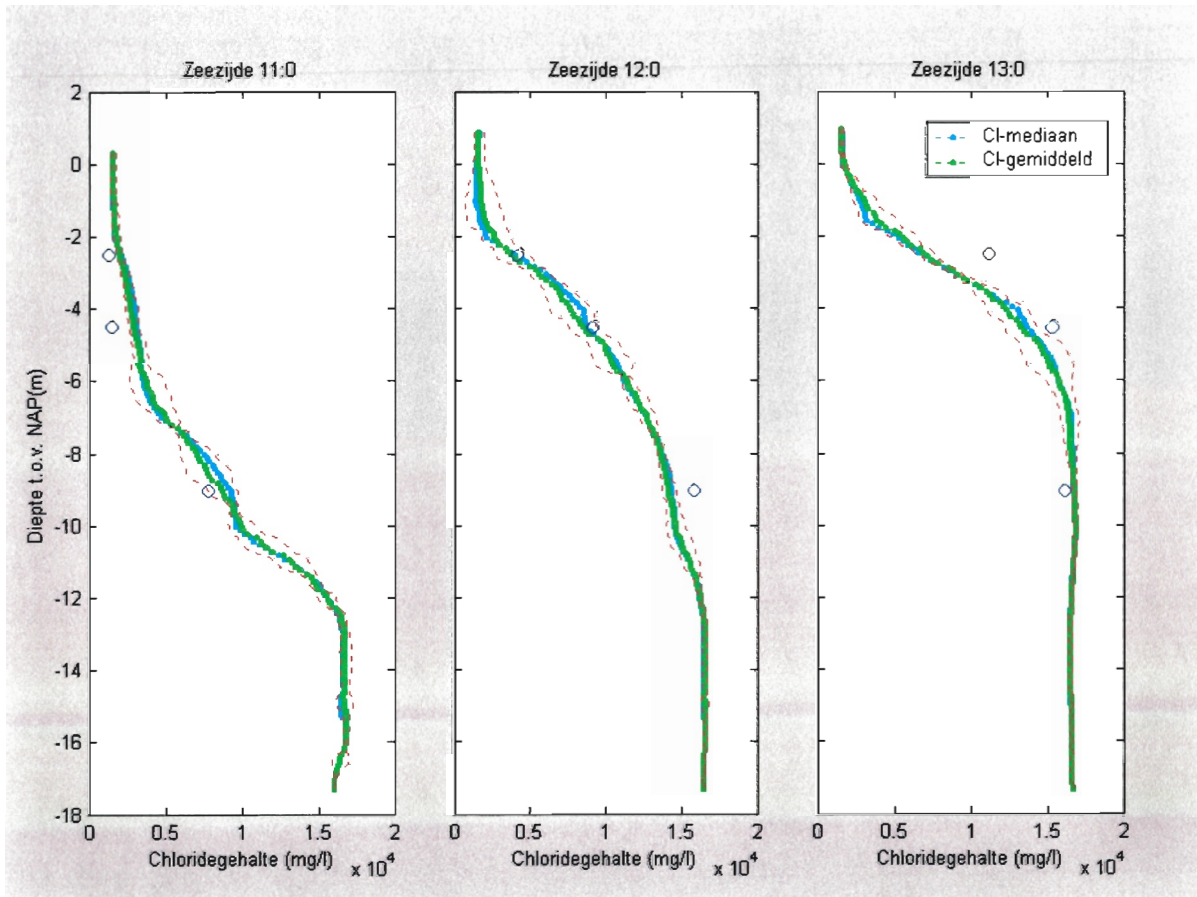
### 5.1 De gemiddelde chlorideconcentraties

Uit de dwarsprofielen zijn de gemiddelde chlorideconcentraties bepaald voor de verschillende hoogtes t.o.v. NAP. In figuur 6 worden de gemiddelde chlorideconcentraties voor de verschillende dieptes vergeleken met de gemeten concentraties van de vaste meetpunten. De gemeten chlorideconcentraties van de vaste meetpunten zijn belangrijke inputvariabelen voor de modellering. De modellering komt in paragraaf 5.3 aan de orde.

De groene grafiek (Cl-gemiddeld) zijn de gemiddelde chlorideconcentraties op de verschillende dieptes t.o.v. NAP. De licht blauwe grafiek (Cl-mediaan) zijn chlorideconcentraties in het midden van de rivier. De blauwe punten zijn de gemeten chlorideconcentraties van de sensors van het vaste meetstation. In het rood is het 95% betrouwbaarheidsinterval gegeven rond de gemiddelden berekend op basis van de standaard deviatie van de chlorideconcentraties op dezelfde dieptes.

Is de gemiddelde chlorideconcentratie om 11 uur voor de dieptes -2.5 en -4.5 meter nog kleiner dan de chlorideconcentraties van de vaste punten, om 13 uur is deze groter geworden. Ditzelfde fenomeen is ook te zien bij de chlorideconcentraties aan de meetzijde en aan de landzijde. De bijbehorende dwarsprofielen van figuur 6 zijn gegeven in figuur 5 in paragraaf 4.2.





Figuur 6: de niveau-gemiddelde chlorideconcentraties en chlorideconcentraties van de vaste meetpunten

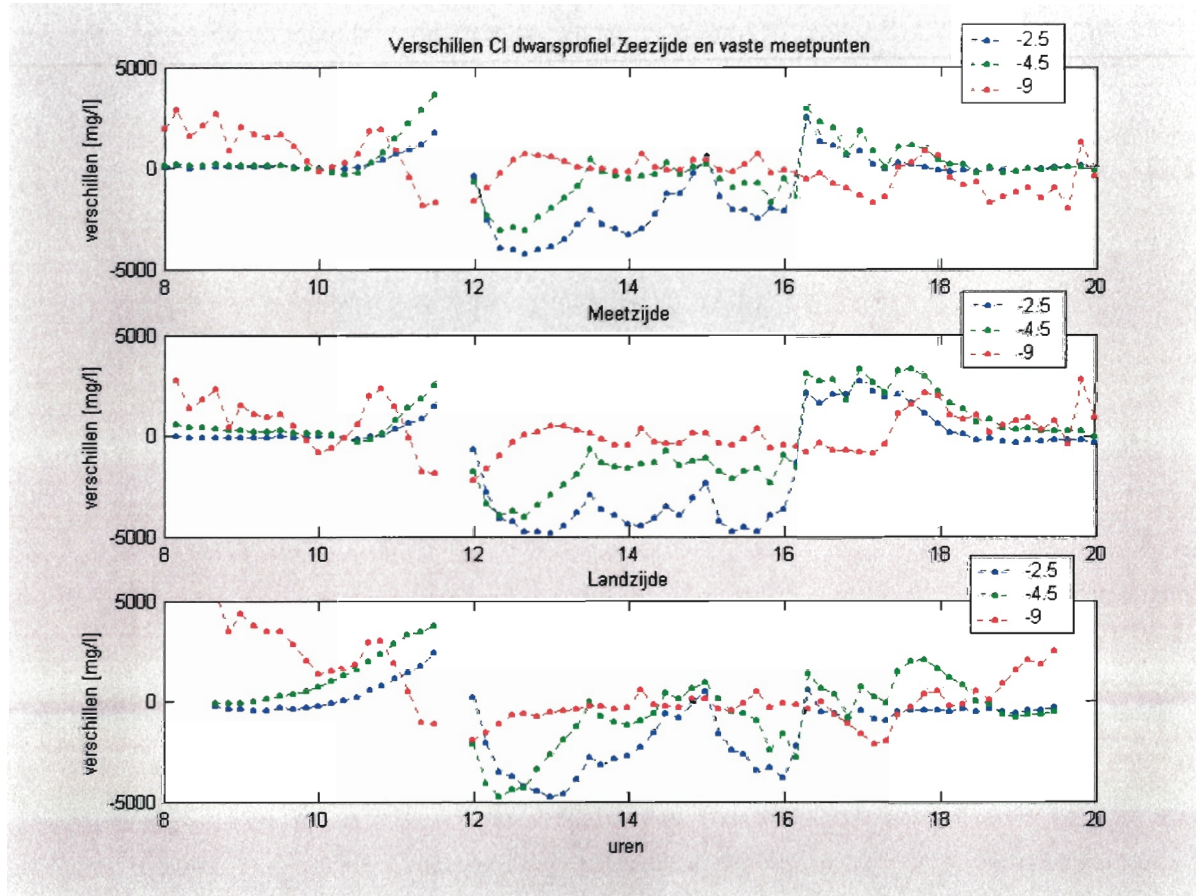
In het volgende worden de verschillen bepaald tussen de gemiddelde chlorideconcentraties op de dieptes -2.5, -4.5 en -9.0 meter t.o.v. NAP met de chlorideconcentraties van de vaste meetpunten.

## 5.2 De verschillen tussen de niveau-gemiddelde en de vaste chlorideconcentraties

Op basis van figuur 6 kunnen de verschillen bepaald worden tussen de gemiddelde chlorideconcentraties op de niveaus van de vaste meetpunten (d.w.z. punten op de groene lijn in figuur 6) en de chlorideconcentraties van de vaste meetpunten van Hoek van Holland. De verschillen kunnen informatie geven over:

- of de chlorideconcentraties van de vaste meetpunten en de gemiddelde chlorideconcentraties van de rivier in de tijd vergelijkbaar zijn
- de grootte van de interpolatiefouten in de tijd en in de ruimte
- de modellering van de profielgemiddelde chlorideconcentraties

In figuur 7 zijn de verschillen gegeven tussen de gemiddelde chlorideconcentraties op de dieptes van -2.5, -4.5 en -9.0 meter t.o.v. NAP en de chlorideconcentraties van de vaste meetpunten voor de zeezijde, de meetzijde en de landzijde.



Figuur 7: de verschillen tussen niveau-gemiddelde chlorideconcentraties en chlorideconcentraties van de vaste meetpunten

De grafieken van de landzijde zijn korter dan van de zeezijde en de meetzijde, omdat op de betreffende tijdstippen er nog geen metingen zijn van de verticalen en er dus niet geïnterpoleerd kan worden voor het maken van een dwarsprofiel. De grafieken van de verschillen van de zeezijde, bij het meetstation en de landzijde zijn vergelijkbaar. Afhankelijk van hoog en laag water zijn de verschillen resp. negatief of positief.

Op de tijdstippen 11:40 en 11:50 zijn twee uitbijters gedetecteerd in de tijdreeksen van de vaste meetpunten. Deze uitbijters zijn uit de tijdreeksen verwijderd. In Bijlage 8.1 zijn de grafieken gegeven van de verschillen met uitbijters en de grafieken van de chlorideconcentraties van de vaste meetpunten.

In de onderstaande tabel zijn de gemiddelde verschillen met standaard deviaties gegeven tussen horizontalen van het dwarsprofiel en vaste meetpunten op de punten -2.5, -4.5 en -9.0 meter.

**Tabel 3 :** Gemiddelde verschillen met standaard deviaties (mg/l)

diepte	Zeezijde		Meetzijde		Landzijde	
	gem	Std	Gem	std	gem	Std
-2.5	-656.50	1554.73	-1079.22	2281.79	-1083.66	1645.70
-4.5	4.57	1266.70	-54.55	1859.43	-106.91	1829.82
-9.0	122.39	1127.66	306.75	1078.41	540.92	1659.15

De verschillen tussen verschillende dieptes van hetzelfde dwarsprofiel zijn groter dan de verschillen tussen de verschillende dwarsprofielen op dezelfde diepte. De verschillen aan de landzijde zijn weer groter dan die aan de zeezijde. Opnieuw is het een aanbeveling om meer in de tijd te meten in één dwarsprofiel dan in de ruimte in drie verschillende raaien.

In het volgende worden enkele modellen ontwikkeld. De optimalisatie van de modellen, welke destijds zijn ontwikkeld voor het beschrijven van de gemiddelde chlorideconcentraties in een dwarsprofiel, zijn gegeven in Bijlage 8.6.

### 5.3 Chlorideconcentratie-modellen

Voor het beschrijven van de gemiddelde chlorideconcentraties van de dwarsprofielen worden een aantal modellen ontwikkeld als functie van de gemeten chlorideconcentraties van de vaste meetpunten en de waterstanden. Toegepast zijn tijdreeksmodellen voor het voldoende nauwkeurig beschrijven van de dynamiek van de processen. Vanwege de afhankelijk van de chlorideconcentraties in de tijd (10 minuutwaarden) is de voorkeur gegeven aan tijdreeksmodellen boven statistische modellen.

In Bijlage 8.3, 8.4 en 8.5 zijn de statistische modellen gegeven welke in ‘Correlatiemetingen over de periode 1977-1982’ zijn genoemd. De modellen van destijds zijn geoptimaliseerd op basis van de correlatiecoëfficiënt. De modellen van destijds hebben een te groot aantal modelparameters relatief t.o.v. de grootte van de dataset. Destijds zijn de modellen gekalibreerd op basis van half uurwaarden.

Voor het uitvoeren van tijdreeksanalyse is gebruik gemaakt van het Matlab-programma TRG. In TRG is het Box-Jenkins tijdreeksmodel en methodiek geïmplementeerd. In TRG zijn een aantal methoden gegeven voor het vinden en het toetsen van het beste model. Voornamelijk fysische overwegingen, de eenvoud van het model en de lengte van de datasets zijn bepalend geweest voor de keuze van het beste model. De volgende modellen zijn een eerste aanzet voor het toepassen van tijdreeksmodellen en geven een goede beschrijving van de gemiddelde chlorideconcentraties in de Nieuwe Waterweg bij Hoek van Holland. De modellen gebruiken dezelfde invoervariabelen, de chlorideconcentratie van de sensors en de waterstand, als de statistische modellen in Bijlage 8.3. We benadrukken dat tijdreeksmodellen met andere parameter- en variabele-keuzes ook een acceptabele beschrijving van de gemiddelde chlorideconcentraties zouden kunnen geven.

$$C_p(t) = a_1 * C_p(t-1) + b_1 * C(t) + b_2 * (Ws(t) - Ws(t-1)) + c_1 + E(t) \quad (1)$$

$$C_v(t) = a_2 * C_v(t-1) + b_3 * C(t) + b_4 * (Ws(t) - Ws(t-1)) + c_2 + E(t) \quad (2)$$

$$C_{h1}(t) = a_3 * C_{h1}(t-1) + b_5 * C_1(t) + b_6 * C_1(t-1) + c_3 + E(t) \quad (3)$$

$$C_{h2}(t) = a_4 * C_{h2}(t-1) + b_7 * C_2(t) + b_8 * C_2(t-1) + c_4 + E(t) \quad (4)$$

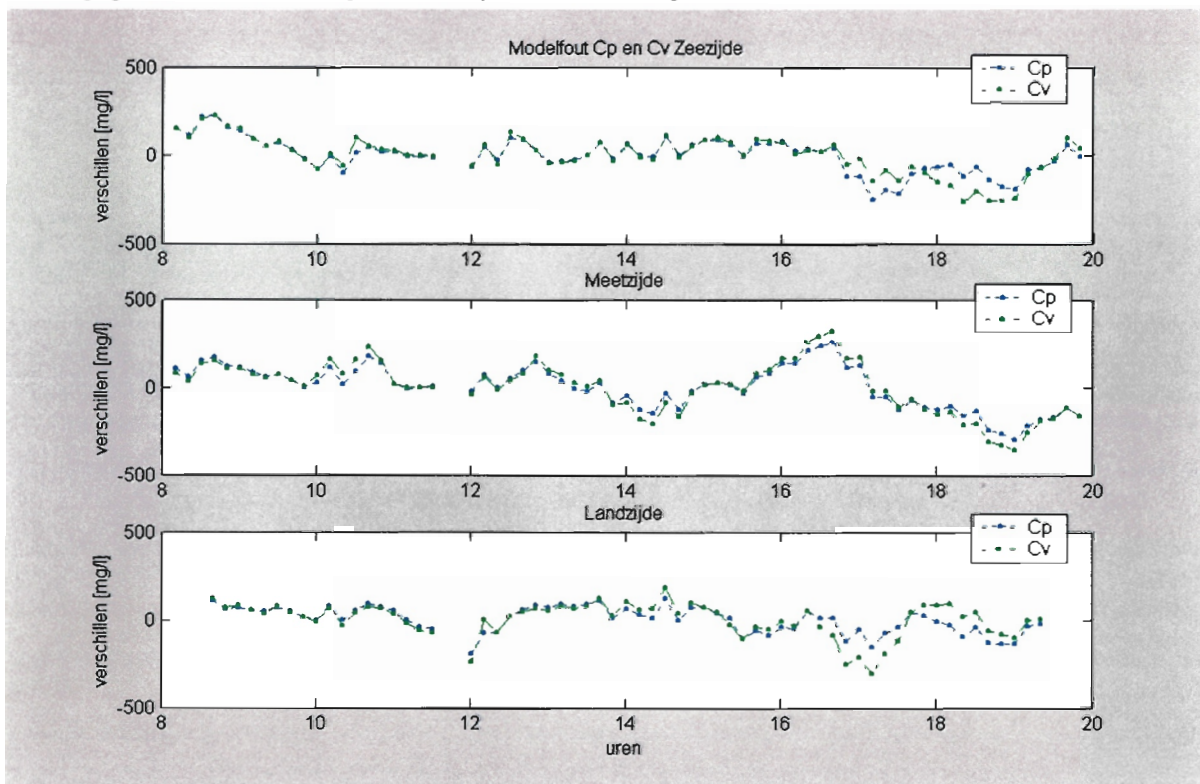
$$C_{h3}(t) = a_5 * C_{h3}(t-1) + b_9 * C_3(t) + b_{10} * C_3(t-1) + c_5 + E(t) \quad (5)$$

waarin:



- $C_p$  = chlorideconcentratie gemiddeld over het doorstroomprofiel
- $C_v$  = chlorideconcentratie gemiddeld over de verticaal in de as van de rivier
- $C_{h1}$  = chlorideconcentratie gemiddeld over de horizontaal op het niveau van sensor 1 (-2.5 meter t.o.v. NAP)
- $C_{h2}$  = chlorideconcentratie gemiddeld over de horizontaal op het niveau van sensor 2 (-4.5 meter t.o.v. NAP)
- $C_{h3}$  = chlorideconcentratie gemiddeld over de horizontaal op het niveau van sensor 3 (-9.0 meter t.o.v. NAP)
- $a_{1,2,\dots}$   $b_{2,\dots}$   $c_{2,\dots}$  = modelparameters
- $W_s$  = waterstand ten opzichte van NAP ter plaatse van het meetstation
- $C_1$  = chlorideconcentratie sensor 1
- $C_2$  = chlorideconcentratie sensor 2
- $C_3$  = chlorideconcentratie sensor 3
- $C$  = gemiddelde chlorideconcentratie sensor 1, 2 en 3
- $E$  = modelruis, een proces van normaal verdeelde witte ruis

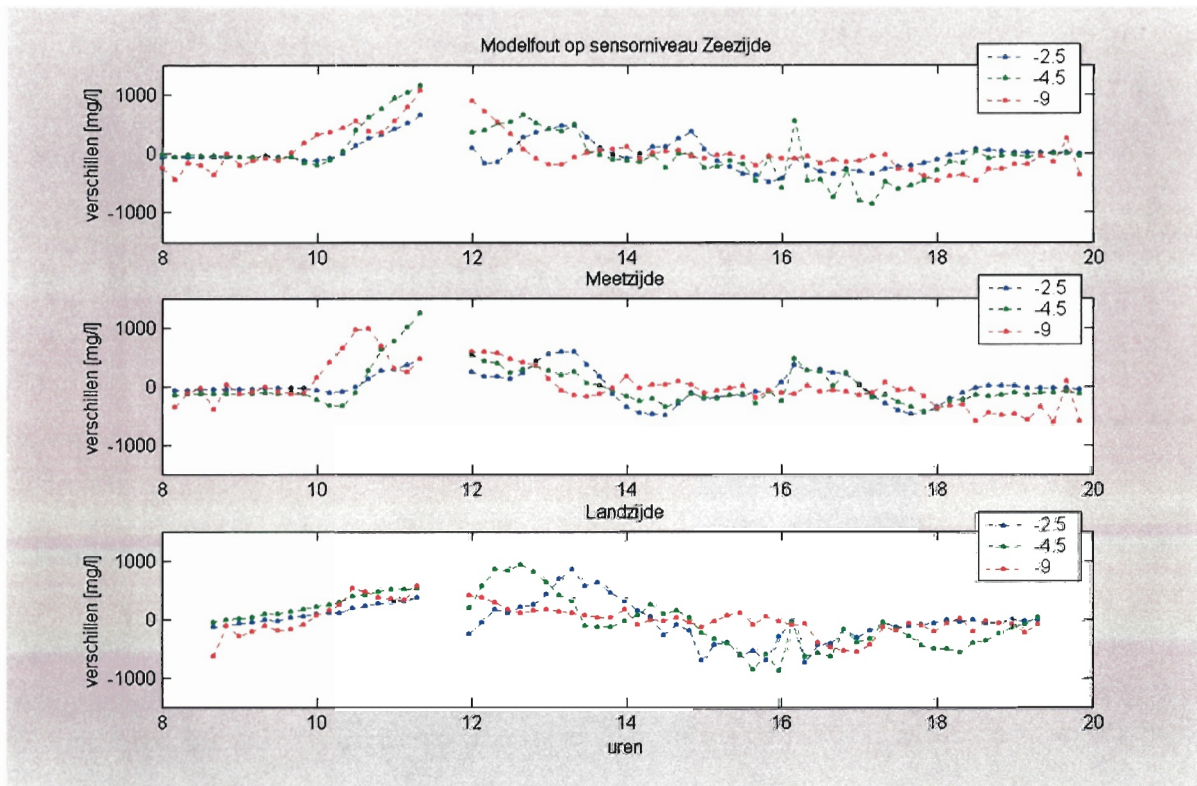
In de onderstaande figuur zijn de modelfouten bij de tijdreeksmodellen van (1) en (2) van  $C_p$  en  $C_v$  gegeven voor de zeezijde, meetzijde en de landzijde.



Figuur 8: de modelruis bij de tijdreeksmodellen van  $C_p$  en  $C_v$

In modellen worden de gemiddelde chlorideconcentraties van het doorstroomprofiel ( $C_p$ ) en in de as van de rivier ( $C_v$ ) voor 75% verklaard uit gemiddelde chlorideconcentratie sensor 1, 2 en 3 ( $C$ ) en voor 20% uit waterstandsverschillen ( $W_s(t) - W_s(t-1)$ ). Het onverklaarde deel is 5%. Vooral bij de modellen voor  $C_p$  en  $C_v$  van de meetzijde zijn de periodiciteiten/trends in de modelfouten

goed zichtbaar, wat betekent dat de modellen verder te verbeteren zijn. Een aanbeveling is om in de modellering eb-en vloedperioden te onderscheiden, omdat deze fenomenen verschillende invloeden op de zoutindringing hebben. In Bijlage 8.6 zijn de parameterwaarden gegeven.



Figuur 9: de modelruis bij de tijdreeksmodellen van  $C_{h1}$ ,  $C_{h2}$  en  $C_{h3}$

In figuur 9 zijn de modelfouten bij de tijdreeksmodellen van (3), (4) en (5) van resp.  $C_{h1}$ ,  $C_{h2}$  en  $C_{h3}$  gegeven. In de modellen zijn de invloedsvariabelen de chlorideconcentraties van de sensors op hetzelfde niveau (-2.5, -4.5 en -9.0). Duidelijk zijn periodiciteiten en trends in de modelfouten zichtbaar, wat betekent dat de modellen verder te verbeteren zijn. Een aanbeveling is om de waterstanden, eb en vloed als invloedsvariabele mee te modelleren.

In tabel 4 zijn de standaard deviaties gegeven van de modelfout/modelruis van de tijdreeksmodellen van  $C_p$ ,  $C_v$ ,  $C_{h1}$ ,  $C_{h2}$  en  $C_{h3}$ . De gemiddelde modelfout is nul. De standaard deviaties van de modellen  $C_{h1}$ ,  $C_{h2}$  en  $C_{h3}$  zijn duidelijk kleiner dan die gegeven in Tabel 3.

**Tabel 4 :** De standaard deviaties van de modelfout (mg/l)

Model	Zeezijde	Meetzijde	Landzijde
$C_p$	96.67	123.56	74.66
$C_v$	107.86	147.91	95.98
$C_{h1}$	237.25	258.02	331.81
$C_{h2}$	407.52	325.39	432.11
$C_{h3}$	318.97	348.01	257.88

## 6 Conclusies en aanbevelingen

De vraagstelling is of met een gewenste nauwkeurigheid de chlorideconcentraties over het dwarsprofiel in de Nieuwe Waterweg bij het meetstation Hoek van Holland geschat kunnen worden uit de drie vaste meetpunten en de waterstand.

Het onderzoek omvat vier onderdelen:

1. Data-analyse en verwerking
2. Interpolatie van tijdreeksen van de chlorideconcentraties
3. Interpolatie van de chlorideconcentraties in het dwarsprofiel van de rivier
4. Modelleren van de gemiddelde chlorideconcentraties in de rivier

Het eerste onderdeel van het onderzoek betreft de verwerking en interpretatie van alle meetgegevens. Op de meetgegevens zijn een aantal correcties/bewerkingen uitgevoerd. De belangrijkste bewerking is de omrekening van de metingen t.o.v. de waterstand naar metingen t.o.v. NAP. Bij de omrekening is de maximale fout welke gemaakt kan worden 0.5 meter. Een aanbeveling is dan ook alle oorspronkelijke meetgegevens direct om te rekenen naar dieptes t.o.v. NAP en pas daarna eventuele bewerkingen op de meetgegevens uit te voeren.

In onderdeel 2 zijn drie interpolatiemethodieken toegepast voor het schatten van chlorideconcentraties op een willekeurig tijdstip in een verticaal. De 'cubic'-interpolatiemethodiek geeft de beste resultaten en is van de drie methodes het meest robuust. Door het kleine aantal metingen (10 of 11) in een tijdreeks is het moeilijk de verschillende interpolatiemethodieken te valideren en is het niet mogelijk goede uitspraken te doen over de betrouwbaarheid van de interpolatie. Een aanbeveling is de meetfrequentie in de verticalen te verhogen zodat per getijperiode (13-uurs meting) meer data beschikbaar zijn.

In het derde onderdeel zijn door interpolatie van de geschatte chlorideconcentraties in de verticalen de dwarsprofielen van de chlorideconcentraties in de rivier geschat. De interpolatie in de ruimte geeft goede resultaten. Bij een foutenanalyse blijkt dat het informatieverlies bij het schatten van 50% van het aantal chloridemetingen maximaal 7% is. De chloridemetingen zijn uitgevoerd op ruime afstand van de oevers. Een aanbeveling is ook nabij de oevers en op meerdere punten langs een raai chlorideconcentraties te meten.

In het vierde onderdeel zijn uit de dwarsprofielen de gemiddelde chlorideconcentraties berekend van het doorstroomprofiel, voor een verticaal in het midden van de rivier en de horizontalen op de dieptes van de vaste meetpunten (-2.5, -4.5 en -9.0 meter). Hiervoor zijn tijdreeksmodellen ontwikkeld. Met de tijdreeksmodellen blijkt het goed mogelijk om met de meetgegevens van de chlorideconcentraties van de vaste meetpunten en de waterstand de gemiddelde chlorideconcentraties in de rivier te schatten. Voor een uitgebreide en goede validatie van de modellen zijn meer meetgegevens gewenst van chloridemetingen in de rivier bij de vaste meetpunten en van de waterstanden. Een aanbeveling is om in tijdreeksmodellen te splitsen naar eb- en vloedperioden.



## 7 Literatuur

1. Korrelatieonderzoek Chlorideconcentratie zoutmeetstations
  - noordelijk deltabekken
  - periode 1977 – 1982Notanummer 72.004.01
  
2. Correlatiemetingen over de periode 1977-1982  
Een inventaris
  
3. C. van der Waal  
Meetverslag Correlatie meting meetstation Hoek van Holland (13 juli 2000)  
Projectcode 3551619.WA.001.286.01

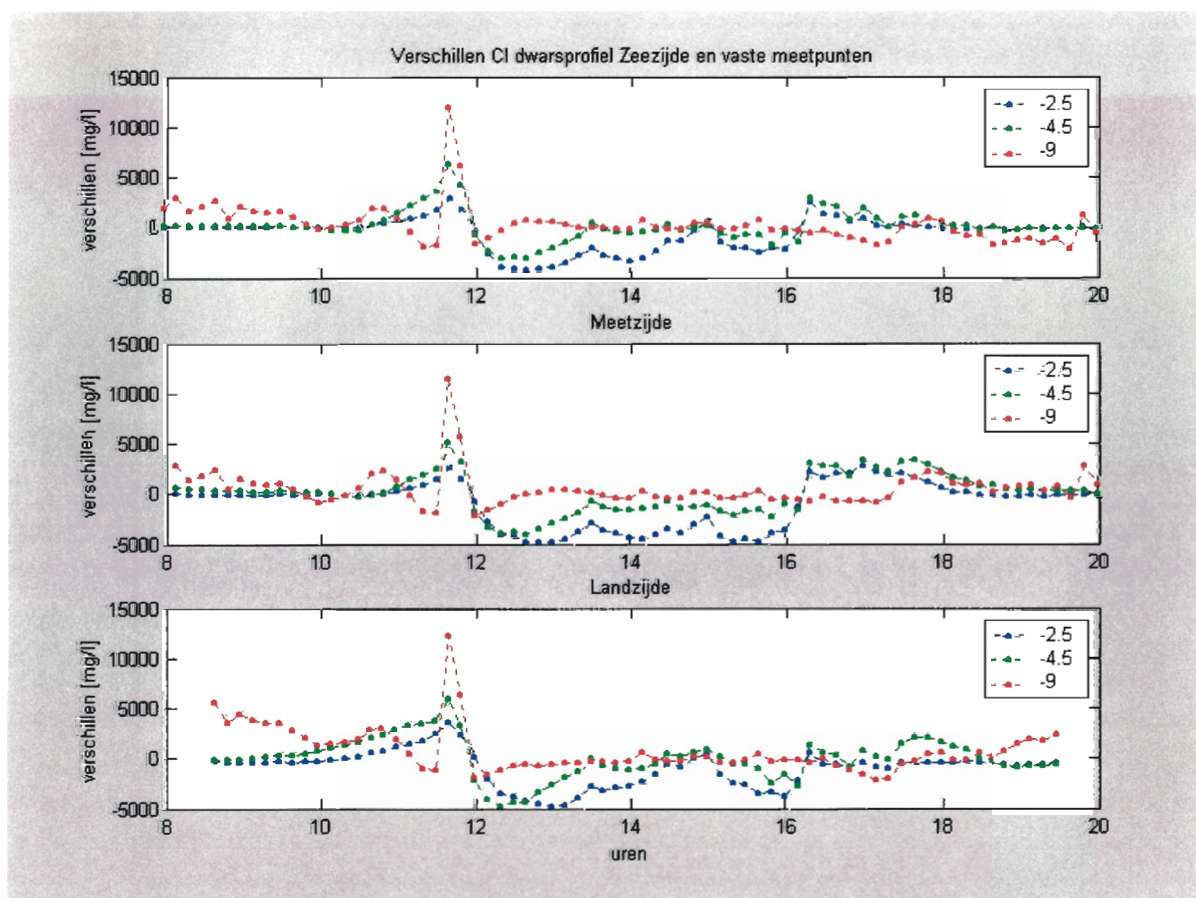
## 8 Bijlage

In de Bijlage zijn gegeven:

1. Uitbijters in de chlorideconcentratie van de vaste meetpunten
2. Alle dwarsprofielen
3. Optimalisatie, validatie en de parameterwaarden van de statistische modellen in 'Korrelatieonderzoek chlorideconcentratie Zoutmeetstations'

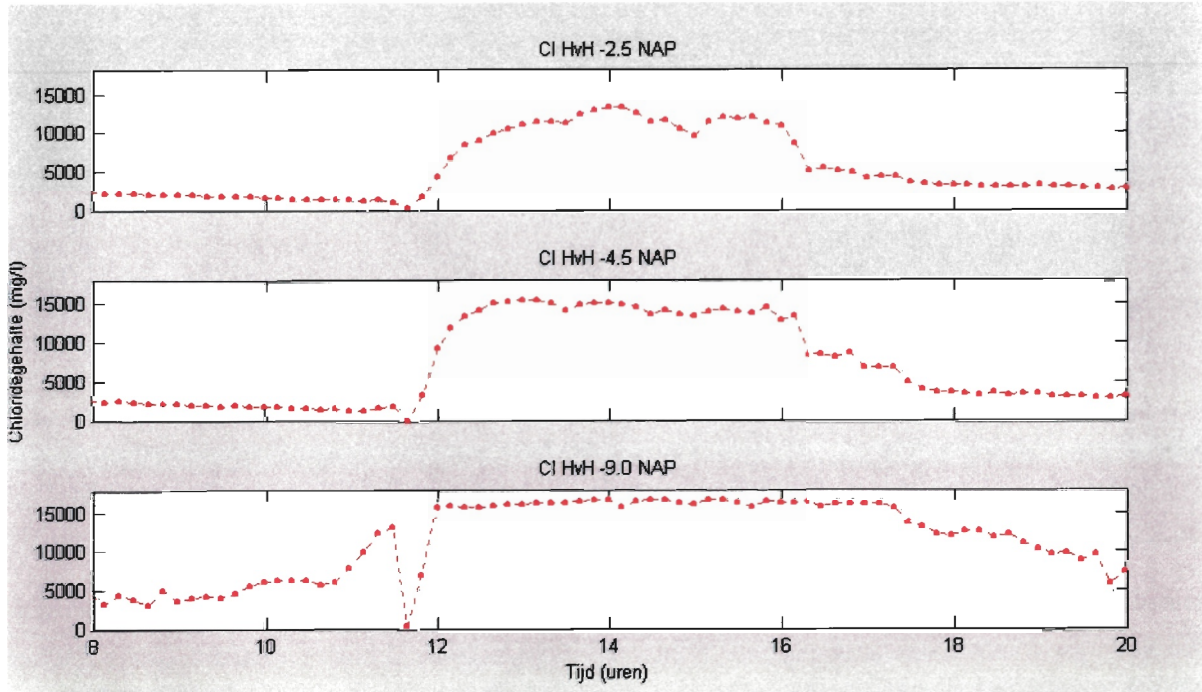
### 8.1 Uitbijters in de chloride concentraties van de vaste meetpunten

In de onderstaande figuur zijn de verschillen gegeven tussen de gemiddelde chlorideconcentraties op de dieptes van -2.5, -4.5 en -9.0 meter t.o.v. NAP en de chlorideconcentraties van de vaste meetpunten.



Figuur 10: verschillen tussen de niveau-gemiddelde chlorideconcentraties van het profiel en de vaste meetpunten

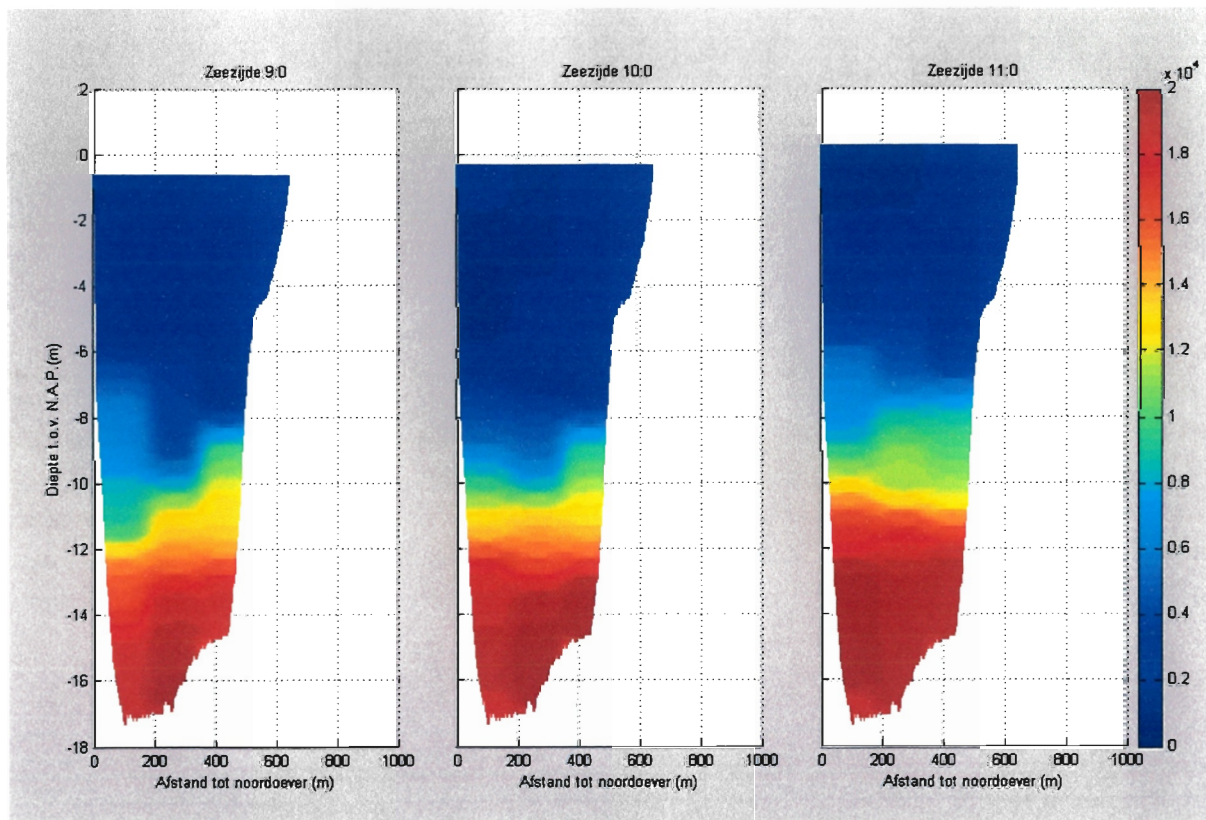
Opvallend is de grote uitbijter in de verschillen op 11:40 in alle boven gegeven grafieken. Op basis van de volgende grafieken is verondersteld dat de chloridemetingen van 11:40 en 11:50 bijzondere metingen zijn en daarom uit de meetreeksen zijn verwijderd voor de modellering. De verschillen worden veroorzaakt door de chloridemetingen van de sensors bij het vaste meetpunt. In de onderstaande grafieken zijn de meetresultaten gegeven van de vaste meetpunten.



Figuur 11: de chlorideconcentraties van de vaste meetpunten op -2.5, -4.5 en -9.0 meter

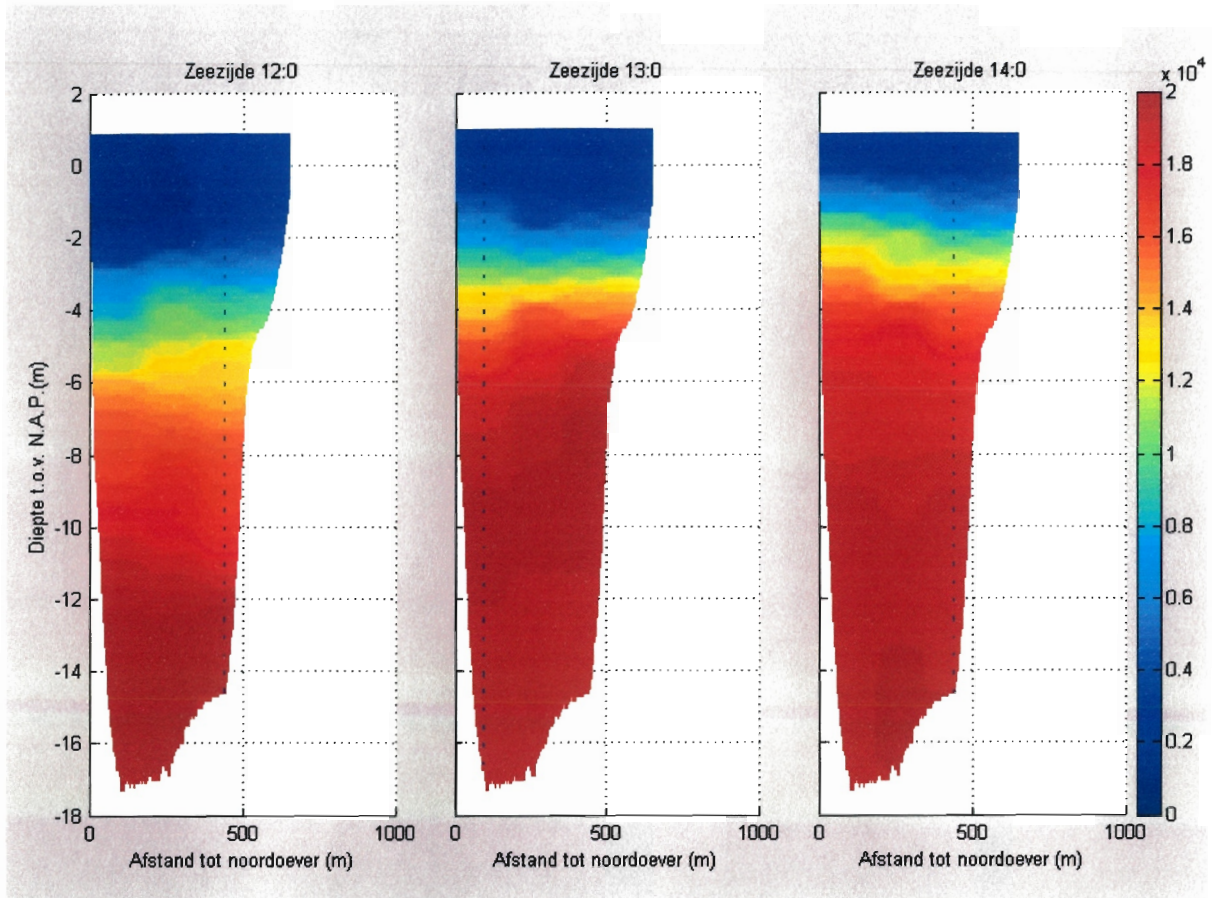
## 8.2 Alle dwarsprofielen

In paragraaf 4.2 is het dwarsprofiel gegeven van 11:00 tot 13:00 aan de Zeezijde. In het onderstaande zijn alle profielen gegeven van 9:00 tot 20:00 aan de zeezijde, meetzijde en de landzijde.

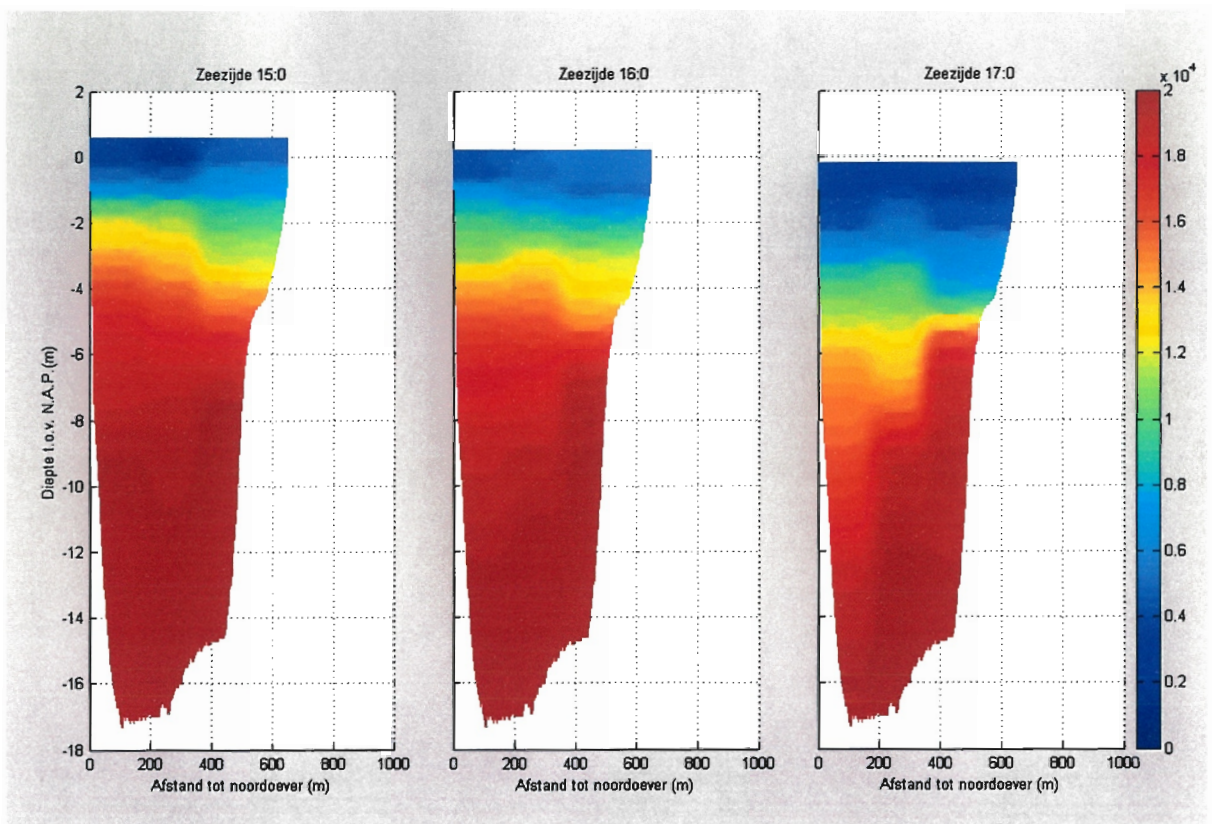


Figuur 12: de dwarsprofielen om 9:00, 10:00 en 11:00 uur aan de zeezijde

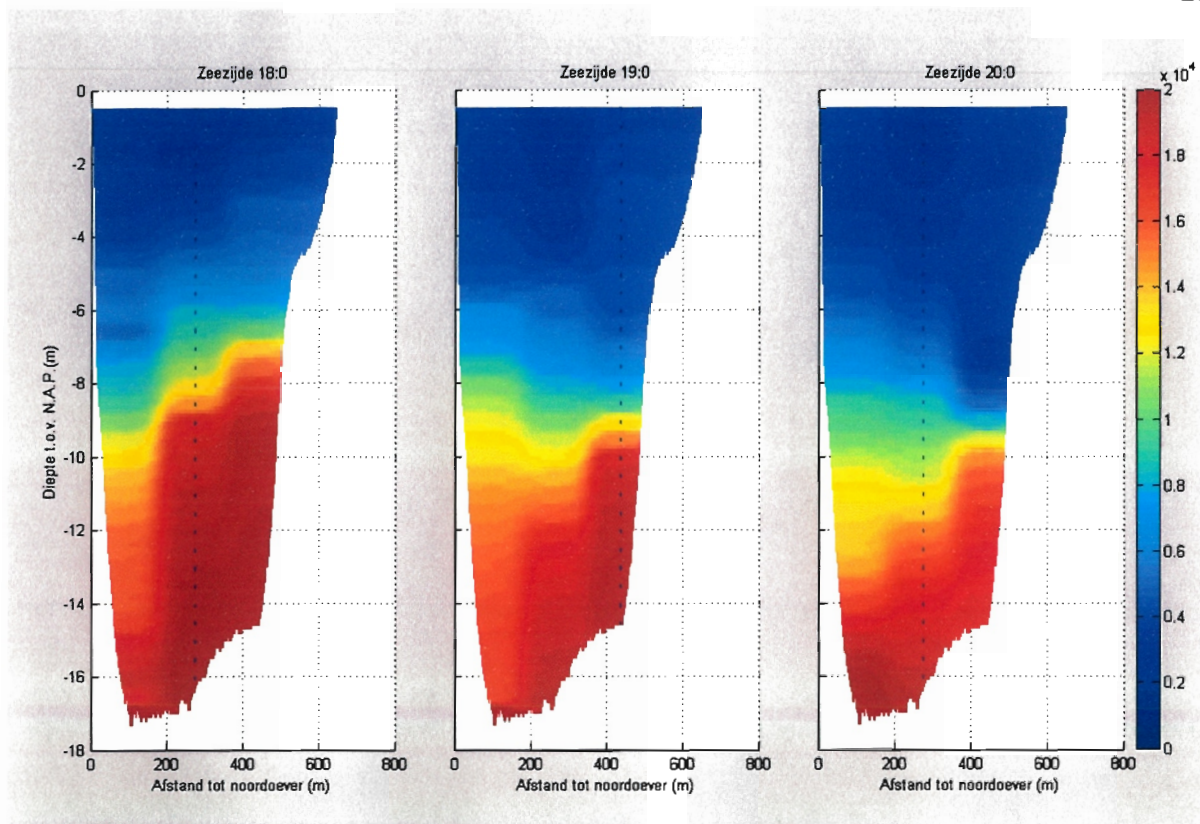




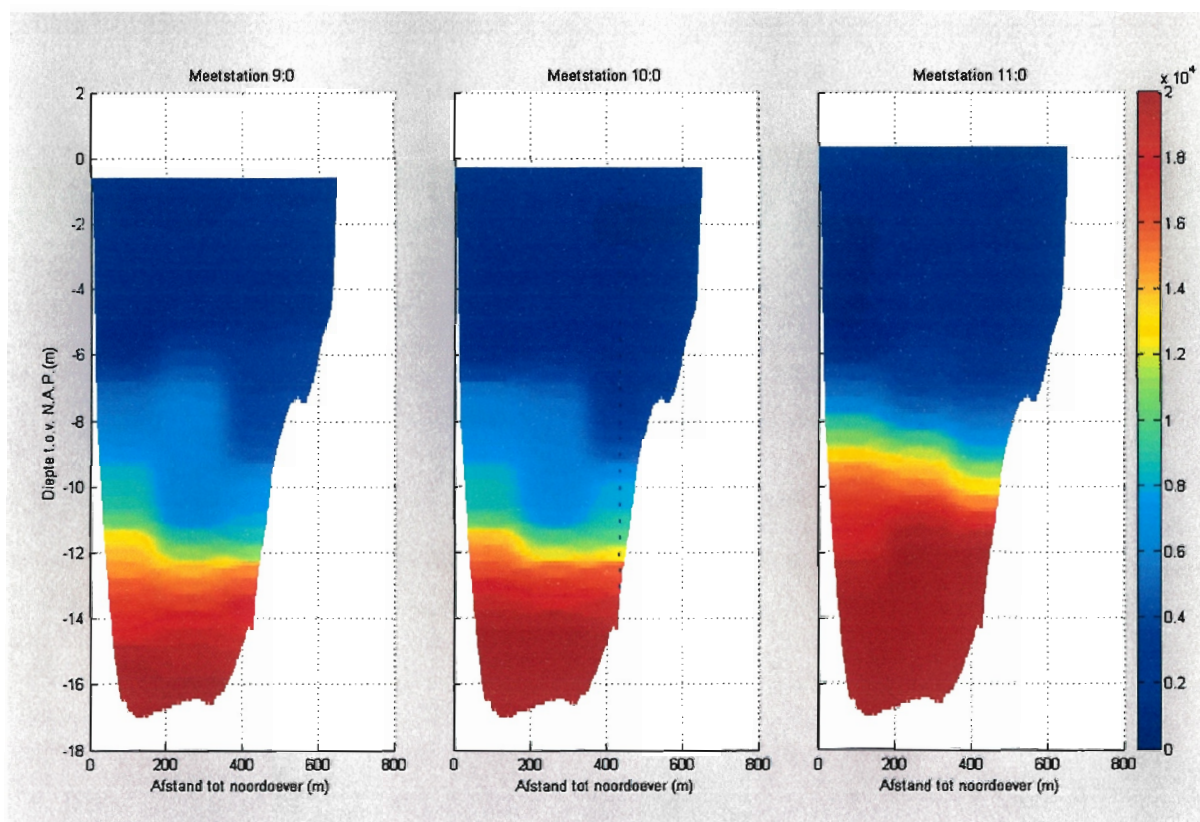
Figuur 13: de dwarsprofielen om 12:00, 13:00 en 14:00 uur aan de zeezijde



Figuur 14: de dwarsprofielen van 15:00, 16:00 en 17:00 uur aan de zeezijde

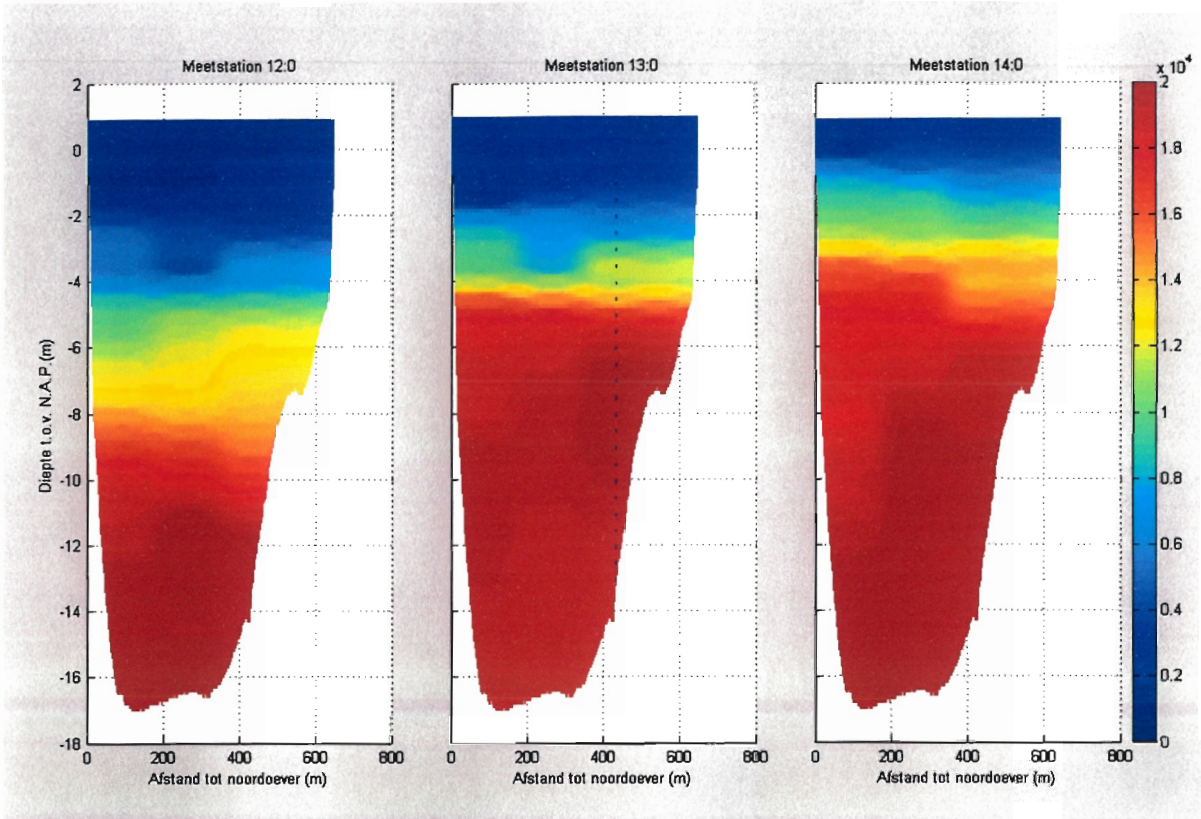


Figuur 15: de dwarsprofielen van 1800, 1900 en 20:00 uur aan de zeezijde

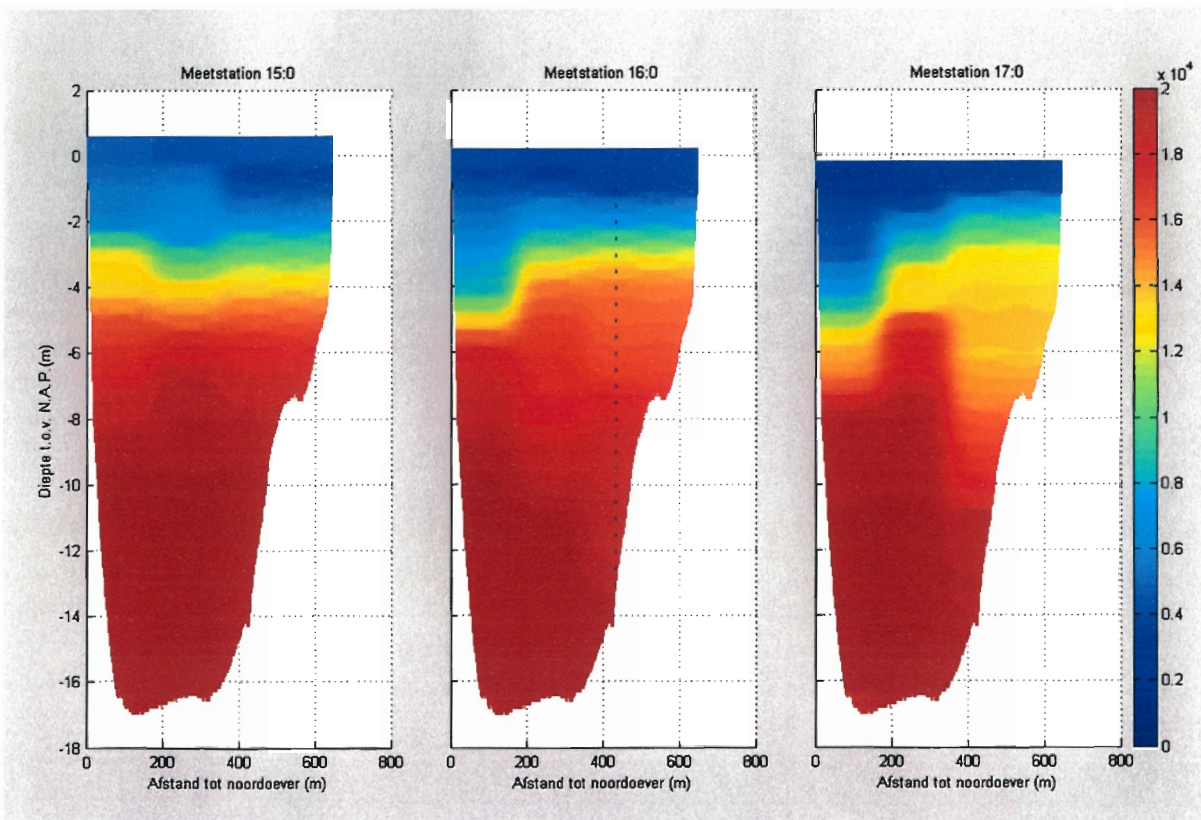


Figuur 16: de dwarsprofielen om 9:00, 10:00 en 11:00 uur aan de meetzijde



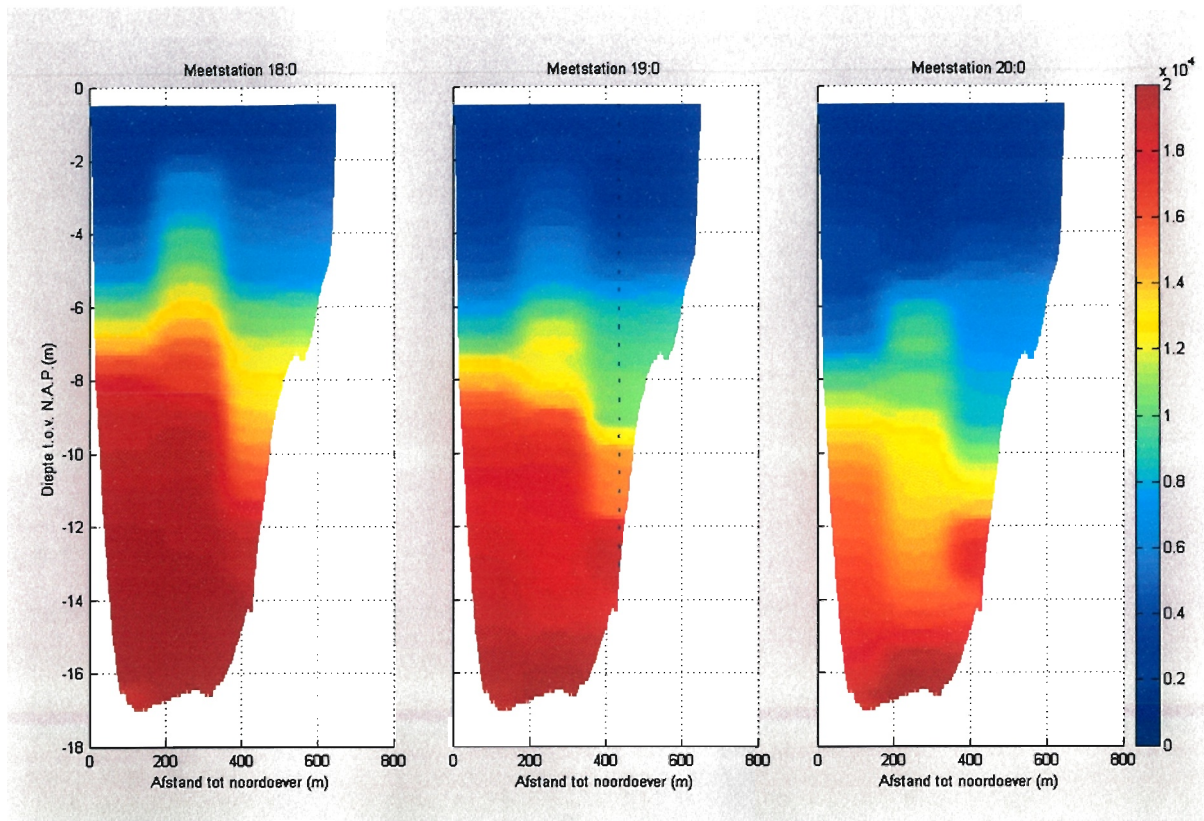


Figuur 17: de dwarsprofielen om 12:00, 13:00 en 14:00 uur aan de meetzijde

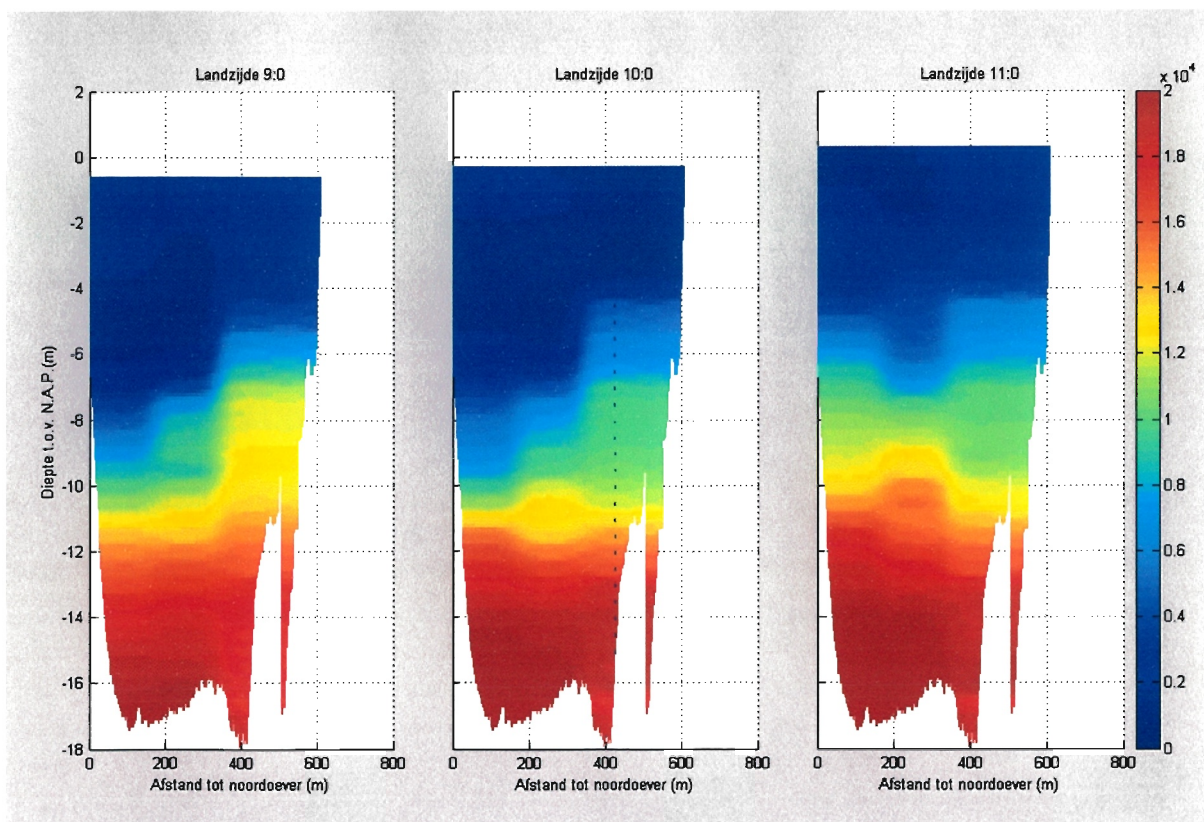


Figuur 18: de dwarsprofielen om 15:00, 16:00 en 17:00 uur aan de meetzijde



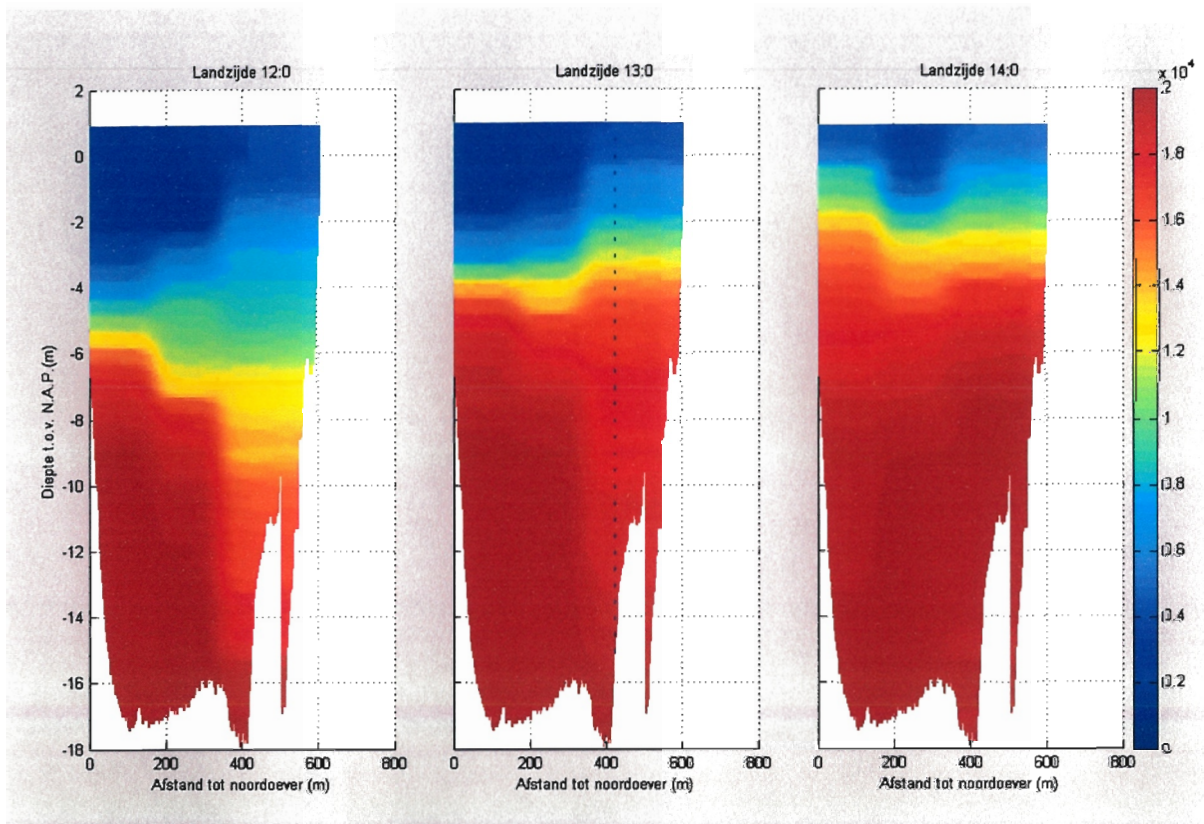


Figuur 19: de dwarsprofielen om 18:00, 19:00 en 20:00 uur aan de meetzijde

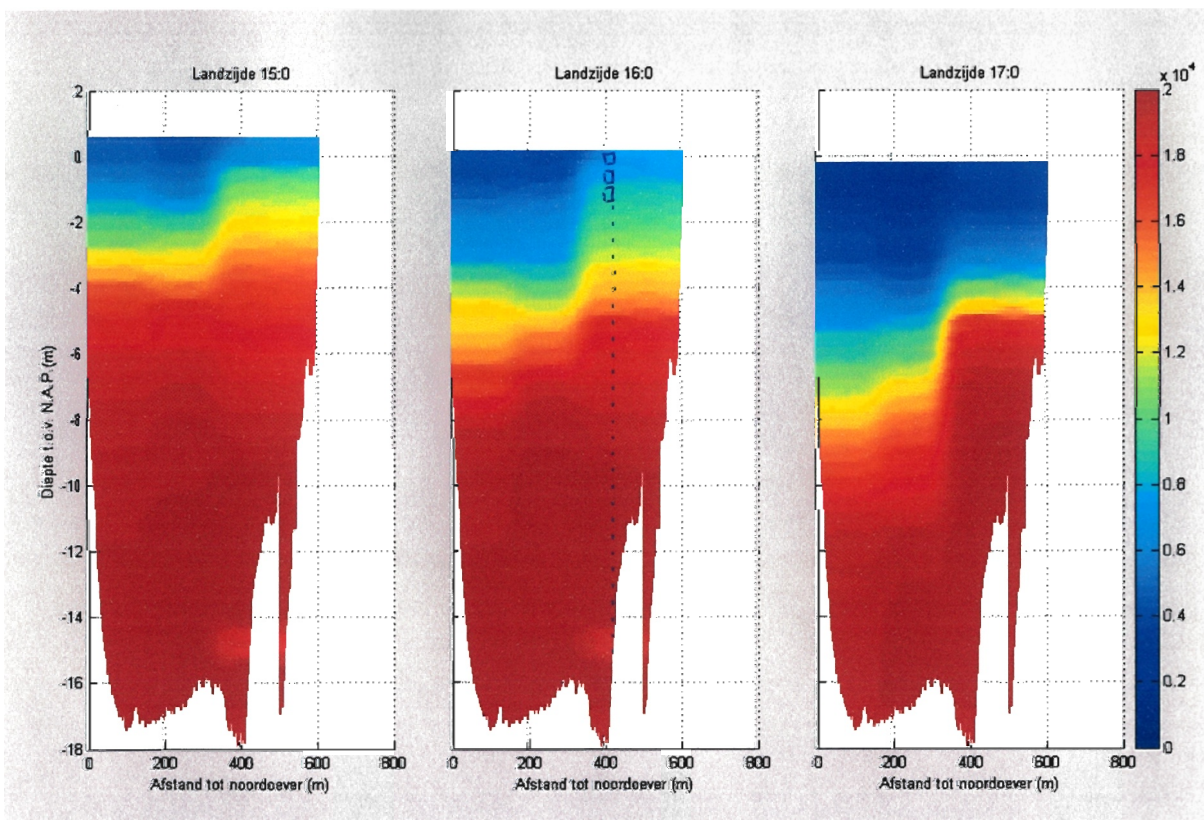


Figuur 20: de dwarsprofielen om 9:00, 10:00 en 11:00 uur aan de landzijde

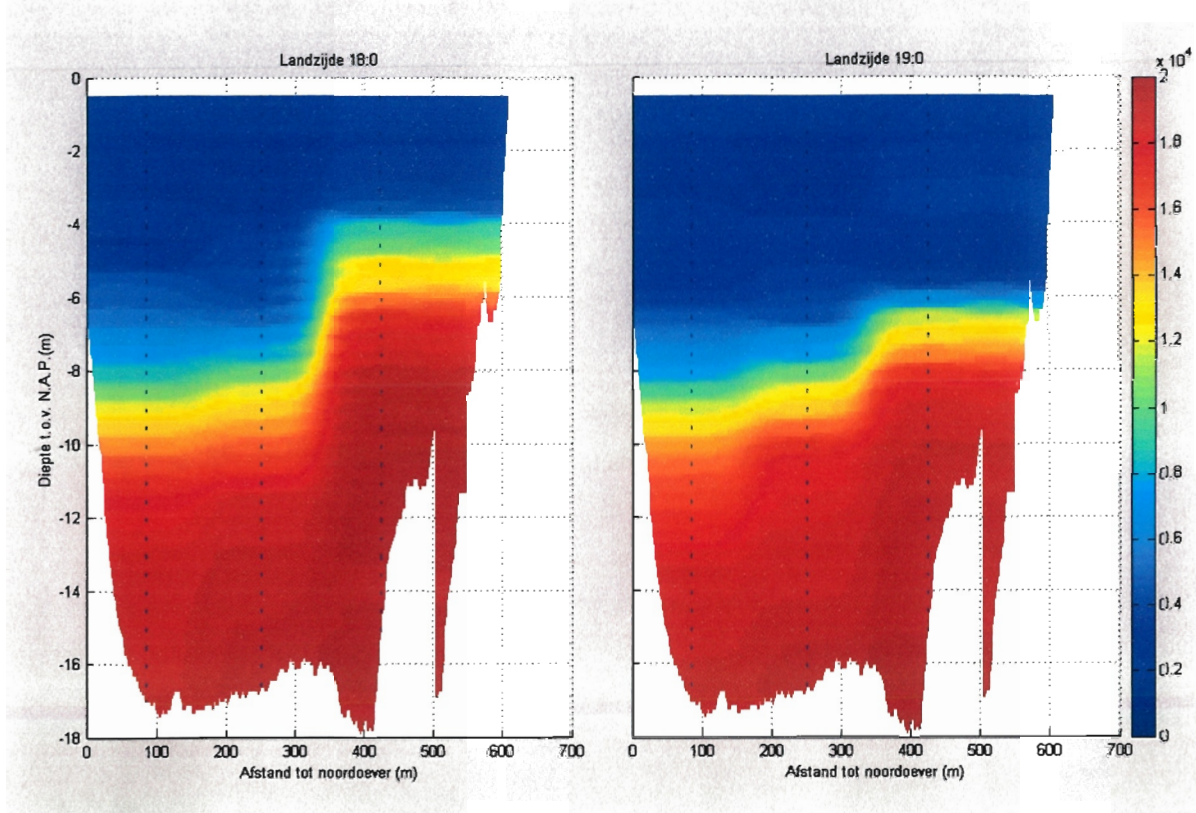




Figuur 21: de dwarsprofielen om 12:00, 13:00 en 14:00 uur aan de landzijde



Figuur 22: de dwarsprofielen om 15:00, 16:00 en 17:00 uur aan de landzijde



Figuur 23: de dwarsprofielen om 18:00 en 19:00 uur aan de landzijde

### 8.3 Optimalisatie huidige modellen

Voor het beschrijven van de gemiddelde chlorideconcentraties van de dwarsprofielen zijn destijds een aantal modellen ontwikkeld als functie van de gemeten chlorideconcentraties van de vaste meetpunten en de waterstanden. Deze modellen zijn gegeven in 'Correlatiemetingen over de periode 1977-1982'. Op basis van de huidige metingen kunnen deze modellen geoptimaliseerd worden door opnieuw de modelparameters te kalibreren. De modellen hebben de volgende vorm:

$$C_p = a_1 * W_s + a_2 * C_1 + a_3 * C_2 + a_4 * C_3 + a_5 * W_s^2 + a_6 * C_1^2 + a_7 * W_s * C_1 + a_8 * C_1 * C_2 + a_9 * C_1 / C_2 * C_3 + a_{10} \quad (1)$$

$$C_v = a_{11} * W_s + a_{12} * C_1 + a_{13} * C_2 + a_{14} * C_3 + a_{15} * W_s^2 + a_{16} * C_1^2 + a_{17} * C_2^2 + a_{18} * C_3^2 + a_{19} * W_s * C_1 + a_{20} * W_s * C_2 + a_{21} * C_1 / C_3 * C_2 + a_{22} \quad (2)$$

$$C_{p2} = a_1 * W_s + a_2 * C_1 + a_5 * W_s^2 + a_6 * C_1^2 + a_{10} \quad (3)$$

$$C_{v2} = a_{11} * W_s + a_{12} * C_1 + a_{15} * W_s^2 + a_{16} * C_1^2 + a_{22} \quad (4)$$

$$C_{h1} = a_{23} * C_1 + a_{24} * C_1^2 + a_{25} \quad (5)$$

$$C_{h2} = a_{26} * C_2 + a_{27} * C_2^2 + a_{28} \quad (6)$$

$$C_{h3} = a_{29} * C_3 + a_{30} * C_3^2 + a_{31} \quad (7)$$

waarin:

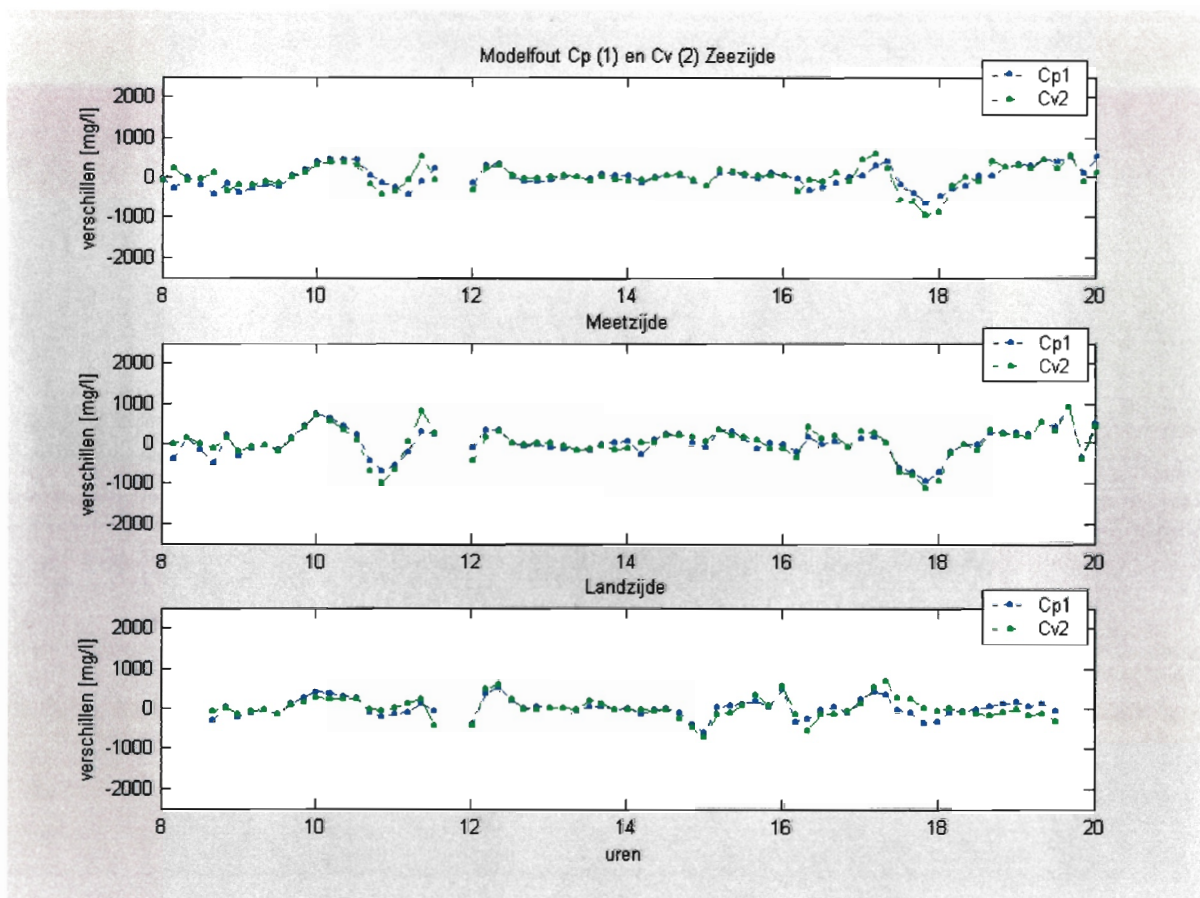
- $C_p$  = chlorideconcentratie gemiddeld over het doorstroomprofiel
- $C_v$  = chlorideconcentratie gemiddeld over de verticaal in de as van de rivier
- $C_{h1}$  = chlorideconcentratie gemiddeld over de horizontaal op het niveau van sensor 1 (-2.5 meter t.o.v. NAP)
- $C_{h2}$  = chlorideconcentratie gemiddeld over de horizontaal op het niveau van sensor 2 (-4.5 meter t.o.v. NAP)



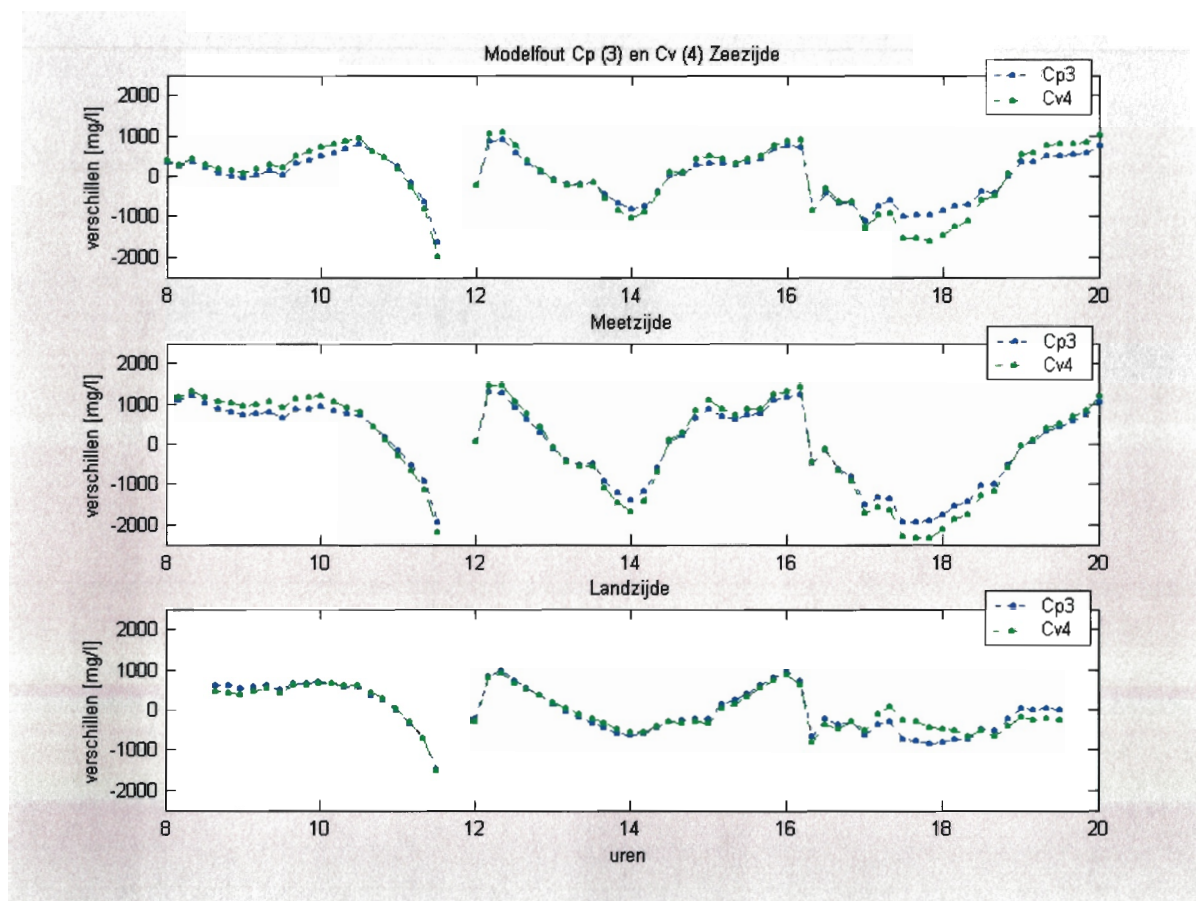
- $C_{h3}$  = chlorideconcentratie gemiddeld over de horizontaal op het niveau van sensor 3 (-9 meter t.o.v. NAP)
- $a_{1,2,\dots}$  = parameters
- $W_s$  = waterstand ten opzichte van NAP ter plaatse van het meetstation
- $C_1$  = chlorideconcentratie sensor 1
- $C_2$  = chlorideconcentratie sensor 2
- $C_3$  = chlorideconcentratie sensor 3

Voor  $C_p$  en  $C_v$  zijn twee modellen gegeven: het uitgebreide model (1) en (2) en het model met minder kwadratische termen (3) en (4). Door het grote aantal parameters is het gewenst dat er voldoende metingen zijn. Het gebruik van uurwaarden (13) zou voor de kalibratie van de uitgebreide modellen onvoldoende zijn geweest. Aangezien de waterstanden en de chloridemetingen van de vaste meetpunten 10 minuutwaarden zijn, worden met de interpolatie in de tijd en in de ruimte 10 minuutwaarden bepaald voor alle bovengenoemde grootheden.

In de onderstaande twee figuren zijn de modelfouten bij het uitgebreide model (1) en (2) en het eenvoudige model (3) en (4) van  $C_p$  en  $C_v$  gegeven.



Figuur 24: de modelfouten van  $C_p(1)$  en  $C_v(2)$  aan de zeezijde, meetzijde en de landzijde



Figuur 25: de modelfouten van Cp(3) en Cv(4) aan de zeezijde, meetzijde en de landzijde

Uiteraard zijn de modelfouten van de uitgebreide modellen van  $C_p$  en  $C_v$  (1) en (2) kleiner dan de eenvoudige modellen (3) en (4), maar duidelijk groter dan die van de tijdreeksmodellen van hoofdstuk 5. De parameterwaarden van de modellen zijn gegeven in de Bijlage 8.5.

Bij de modelleringen van  $C_p$  en  $C_v$  zijn berekend de correlatiecoëfficiënt en de standaard deviatie van de verschillen tussen de modelwaarden en de gemeten waarden. De resultaten zijn gegeven in Tabel 5.

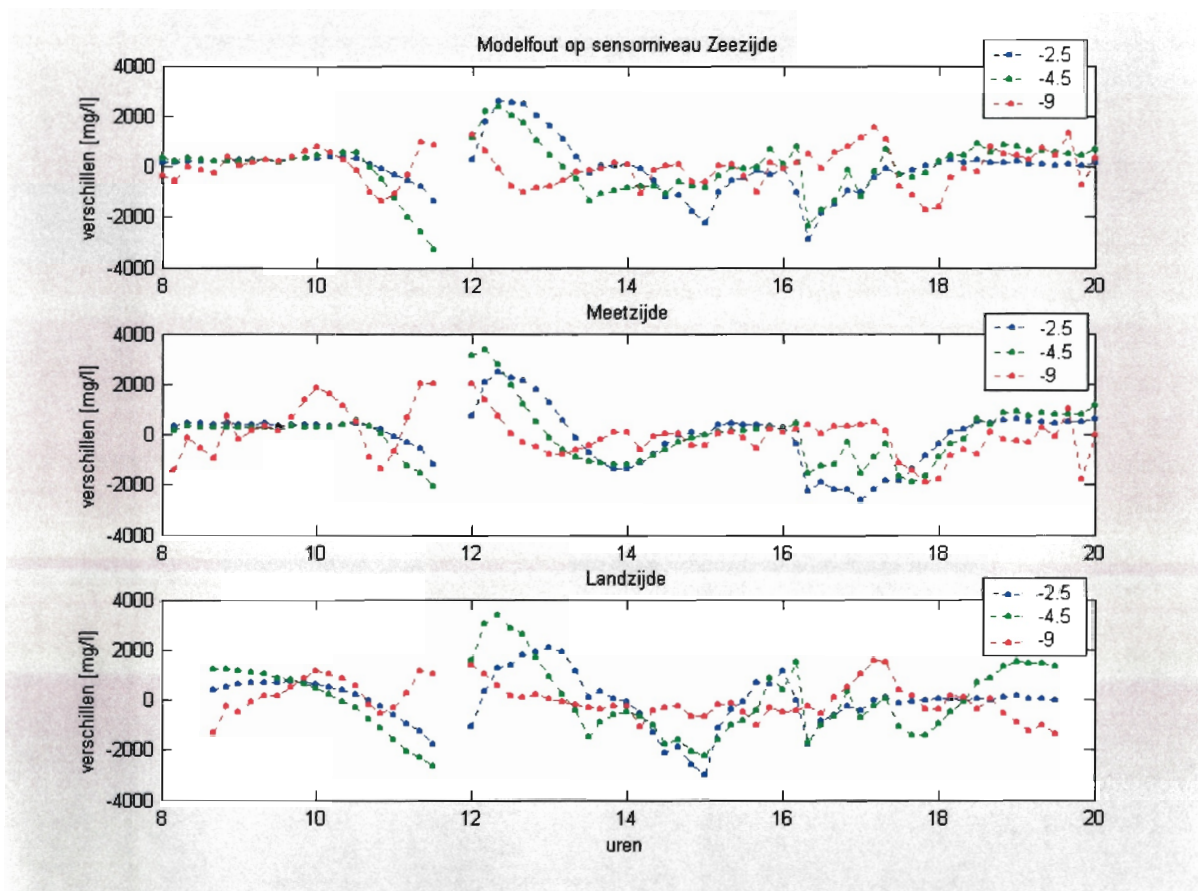
**Tabel 5:** Correlatiecoëfficiënten van de modellen van  $C_p$  en  $C_v$  met de std van de modelfout

	Cp(1)		Cv(2)		Cp(3)		Cv(4)	
	CC	Std	CC	std	CC	std	CC	std
Zeezijde	0.99	256.59	0.99	290.61	0.97	574.16	0.96	763.93
Meetzijde	0.99	342.94	0.99	381.65	0.92	971.92	0.90	1158.52
Landzijde	0.99	219.03	0.99	254.65	0.96	566.72	0.97	514.03

Uitgezonderd voor de meetzijde van het model Cp(3) en Cv(4) zijn de correlatiecoëfficiënten groter dan 0.95. De standaard deviatie van de modelfout geeft aan de nauwkeurigheid waarmee de chlorideconcentratie van  $C_p$  en  $C_v$  geschat kan worden.

In figuur 26 zijn de resultaten gegeven van de modellering van de gemiddelde chlorideconcentraties over de horizontaal op het niveau van een sensor gemodelleerd als functie

van de gemeten chlorideconcentratie van de sensor. De verschillen zijn gegeven tussen de modellen voor  $C_{h1}(5)$ ,  $C_{h2}(6)$  en  $C_{h3}(7)$  en de werkelijke waarden.



Figuur 26: de modelfouten van  $C_{h1}(5)$ ,  $C_{h2}(6)$  en  $C_{h3}(7)$  aan de zeezijde, meetzijde en de landzijde

Bij de modelleringen zijn berekend de correlatiecoëfficiënt en de standaard deviatie van de verschillen van de modelwaarde en de gemeten waarden.

**Tabel 6:** Correlatiecoëfficiënten (cc) en de standaard deviatie (std) van de modelfouten

Sensor	Zeezijde		Meetzijde		Landzijde	
	CC	std	CC	std	CC	std
-2.5	0.95	966.53	0.91	1081.84	0.95	1010.37
-4.5	0.98	1022.87	0.97	1070.60	0.95	1390.94
-9.0	0.99	705.28	0.98	872.57	0.98	690.63

Alle correlatiecoëfficiënten zijn groter en gelijk aan 0.95, uitgezonderd bij de sensor op -2.5 meter aan de meetzijde. De standaard deviaties van de modelfouten zijn duidelijk kleiner dan die gegeven in Tabel 3.

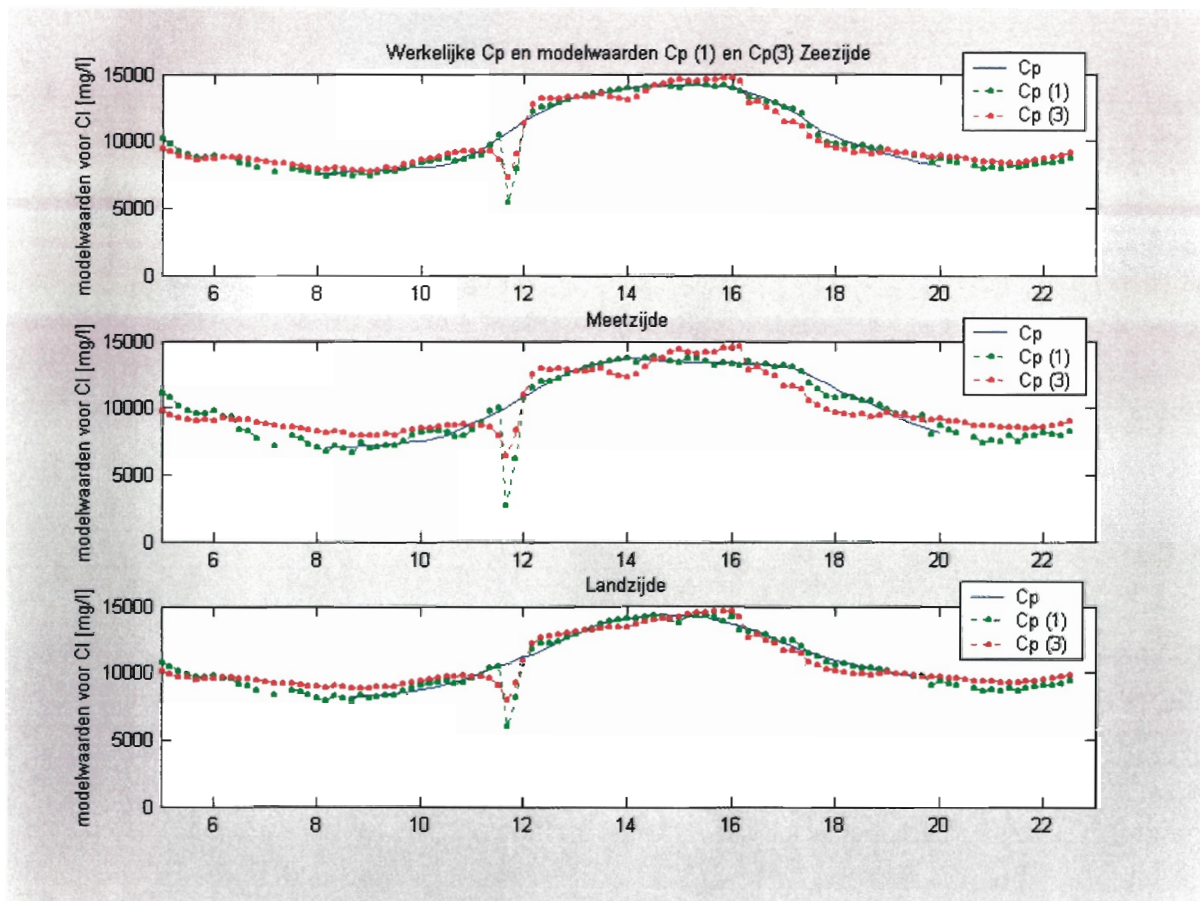
Correlatiecoëfficiënten groter dan 0.95 en relatief kleine standaard deviaties van de modelfouten geven aan dat in de vaste metingen veel informatie zit voor het voorspellen van  $C_p$ ,  $C_v$ ,  $C_{h1}$ ,  $C_{h2}$  en  $C_{h3}$ . De vraag is of deze modellen goed bruikbaar zijn. In het volgende worden de verschillende modellen gevalideerd.



## 8.4 Validatie van de modellen

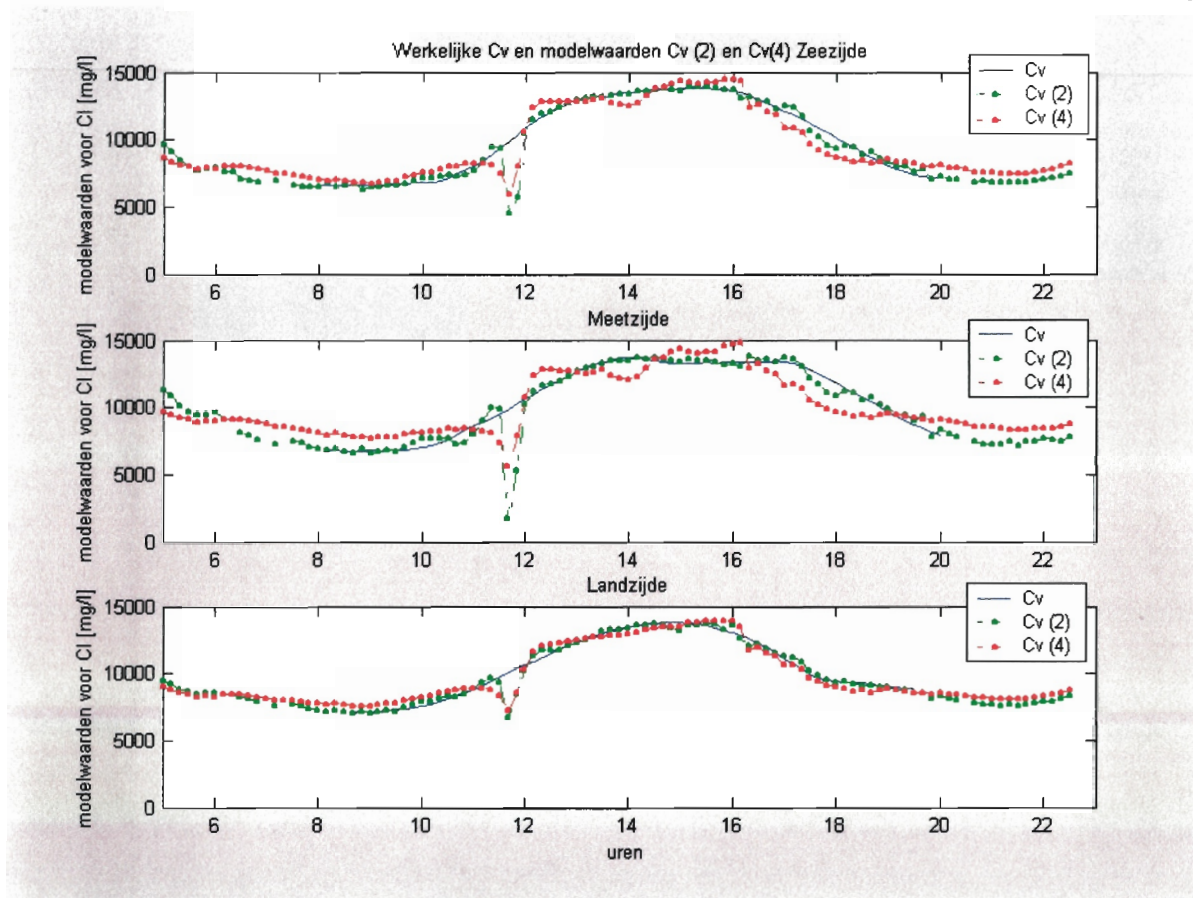
De verschillende modellen, welke zijn gegeven in het voorgaande, worden gevalideerd door de modellen toe te passen op tijdstippen buiten de kalibratieperiode. De kalibratieperiode is van 8 uur tot 20 uur, maar de gezamenlijke meetgegevens (10-minuutwaarden) van chlorideconcentraties van de vaste meetpunten en de waterstanden zijn aanwezig van 5 uur tot 22:30 uur.

In de figuur 27 zijn de grafieken gegeven van de ‘werkelijke waarde’ van Cp (op basis van interpolatie van de meetresultaten in de tijd en de ruimte) en de modelwaarden van Cp (1) en Cp (3).



Figuur 27: de werkelijke en de modelwaarden van Cp (1) en Cp (3)

In de figuur 28 zijn de grafieken gegeven van de ‘werkelijke waarde’ van Cv op basis van interpolatie van de meetresultaten en de modelwaarden van Cv (2) en Cv (4). Duidelijk zijn de uitbijters rond 12 uur te zien.



Figuur 28: de werkelijke en de modelwaarden van Cv (2) en Cv (4)

De modellen geven een goede beschrijving van de werkelijkheid en in de periode buiten de kalibratieperiode een realistische beschrijving van de werkelijkheid.

Voor een goede validatie van de modellen zijn meer meetgegevens gewenst van de chlorideconcentraties van de vaste meetpunten en de waterstanden. Met meer meetgegevens van chlorideconcentraties in de rivier in de tijd en de ruimte kunnen betere en robuustere modellen ontwikkeld worden. Een aanbeveling is dan ook tijdreeksmodellen, waarin een afhankelijkheid met voorgaande metingen in de tijd is ingebouwd, toe te passen, zoals is uitgevoerd voor de modellen in hoofdstuk 5.

## 8.5 Parameterwaarden van de verschillende statistische modellen

De modellen voor de gemiddelde chlorideconcentraties zijn in Bijlage 8.3 gekalibreerd. In de onderstaande tabellen worden de parameterwaarden van de verschillende modellen gegeven. In de tabellen zijn gegeven de waarden van de parameters bij de verschillende profielen en het relatieve gemiddelde:  $\text{parameterwaarde} \cdot \text{gemiddelde waarde van de term} \cdot 100\% / \text{de betreffende gemiddelde chlorideconcentratie}$ . Het relatieve gemiddelde geeft de relatieve bijdrage van een term in het model tot de gemiddelde modelwaarde. De som van de relatieve gemiddelden is 100%.

Het model voor het profielgemiddelde  $C_p$  (1) heeft de volgende vorm :

$$C_p = a_1 * W_s + a_2 * C_1 + a_3 * C_2 + a_4 * C_3 + a_5 * W_s^2 + a_6 * C_1^2 + a_7 * W_s * C_1 + a_8 * C_1 * C_2 + a_9 * C_1 / C_2 * C_3 + a_{10} \quad (B1)$$

**Tabel 7:** Parameterwaarden van het model  $C_p(1)$

a.	Zeezijde		Meetzijde		Landzijde	
	waarde	rel.gem	waarde	rel.gem	waarde	rel.gem
a1	375.36	0.41	-1298.95	-1.55	404.58	0.67
a2	1.39	72.31	0.88	46.57	1.47	77.39
a3	-0.53	-35.60	-0.40	-27.02	-0.59	-40.12
a4	0.56	61.16	0.63	69.73	0.42	45.71
a5	-2764.55	-9.64	-2506.15	-8.82	-2543.66	-8.68
a6	-0.00	-22.17	-0.00	-16.60	-0.00	-23.04
a7	0.23	5.58	0.41	10.20	0.23	6.14
a8	0.00	5.37	0.00	1.73	0.00	1.42
a9	-0.45	-38.21	-0.24	-20.63	-0.24	-20.14
a10	6638.27	60.78	5031.52	46.39	6968.33	60.66

Het model voor de gemiddelde chlorideconcentratie over de verticaal in de as van de rivier  $C_v$  (2) heeft de volgende vorm :

$$C_v = a_{11} * W_s + a_{12} * C_1 + a_{13} * C_2 + a_{14} * C_3 + a_{15} * W_s^2 + a_{16} * C_1^2 + a_{17} * C_2^2 + a_{18} * C_3^2 + a_{19} * W_s * C_1 + a_{20} * W_s * C_2 + a_{21} * C_1 / C_3 * C_2 + a_{22} \quad (B2)$$

**Tabel 8:** Parameterwaarden van het model  $C_v(2)$

a.	Zeezijde		Meetzijde		Landzijde	
	waarde	rel. gem	waarde	rel. gem	waarde	rel. Gem
a11	173.39	0.20	-1407.00	-1.69	1759.10	3.14
a12	0.46	25.26	0.24	12.71	1.07	60.87
a13	-0.33	-23.27	-0.16	-10.79	-0.15	-10.75
a14	-0.11	-13.10	0.42	47.05	0.12	14.12
a15	-3346.01	-12.42	-2735.87	-9.71	-1813.52	-6.67
a16	-0.00	-35.53	-0.00	-33.60	-0.00	-29.16
a17	-0.00	-22.02	-0.00	-23.65	-0.00	-10.40
a18	0.00	53.51	0.00	18.71	0.00	5.97
a19	0.08	2.08	0.58	14.81	0.30	8.72
a20	0.18	6.32	-0.11	-3.66	-0.22	-8.41
a21	1.40	56.67	1.30	50.49	0.35	14.81
a22	6391.64	62.30	4227.39	39.32	6152.84	57.78



Het model voor het profielgemiddelde  $C_p$  (3) heeft de volgende vorm :

$$C_p = a_1 * W_s + a_2 * C_1 + a_5 * W_s^2 + a_6 * C_1^2 + a_{10} \quad (B3)$$

**Tabel 9:** Parameterwaarden van het model  $C_p(3)$

a.	Zeezijde		Meetzijde		Landzijde	
	waarde	rel. gem	waarde	rel. gem	waarde	rel. gem
A1	2118.68	2.31	1463.17	1.74	1275.21	2.11
A2	1.44	75.01	1.67	88.27	1.08	56.82
A5	-2876.48	-10.03	-2596.26	-9.13	-2369.45	-8.08
A6	-0.00	-32.55	-0.00	-40.62	-0.00	-22.22
A10	7127.02	65.26	6479.29	59.73	8199.20	71.37

Het model voor de gemiddelde chlorideconcentratie over de verticaal in de as van de rivier  $C_v$  (4) heeft de volgende vorm :

$$C_v = a_{11} * W_s + a_{12} * C_1 + a_{15} * W_s^2 + a_{16} * C_1^2 + a_{22} \quad (B4)$$

**Tabel 10:** Parameterwaarden van het model  $C_v(4)$

a.	Zeezijde		Meetzijde		Landzijde	
	waarde	rel. gem	waarde	rel. gem	waarde	rel. gem
A11	2220.26	2.58	1337.34	1.61	1727.22	3.08
A12	1.70	94.43	1.85	98.62	1.11	62.94
A15	-3118.04	-11.57	-2772.27	-9.84	-2532.02	-9.32
A16	-0.00	-41.80	-0.00	-45.89	-0.00	-24.63
A22	5783.04	56.37	5966.41	55.49	7234.41	67.94

Het model voor de gemiddelde chlorideconcentratie over de horizontaal op het niveau van sensor 1  $C_{h1}$  (-2.5 meter t.o.v. NAP) heeft de volgende vorm:

$$C_{h1} = a_{23} * C_1 + a_{24} * C_1^2 + a_{25} \quad (B5)$$

**Tabel 11:** Parameterwaarden van het model  $C_{h1}$  (5)

a.	Zeezijde		Meetzijde		Landzijde	
	waarde	rel. gem	waarde	rel. gem	waarde	rel. gem
a23	0.89	100.55	1.21	148.57	0.41	50.26
a24	-0.00	-12.51	-0.00	-52.03	0.00	23.27
a25	601.27	11.96	160.68	3.45	1309.54	26.47

Het model voor de gemiddelde chlorideconcentratie over de horizontaal op het niveau van sensor 2  $C_{h2}$  (-4.5 meter t.o.v. NAP) heeft de volgende vorm:

$$C_{h2} = a_{26} * C_2 + a_{27} * C_2^2 + a_{28} \quad (B6)$$

**Tabel 12:** Parameterwaarden van het model  $C_{h2}$  (6)

a.	Zeezijde		Meetzijde		Landzijde	
	waarde	rel. gem	Waarde	rel. gem	waarde	rel. Gem
a26	1.30	129.49	1.82	183.70	0.74	75.35
a27	-0.00	-28.28	-0.00	-72.03	0.00	3.05
a28	-88.72	-1.21	-857.69	-11.67	1670.04	21.60

Het model voor de gemiddelde chlorideconcentratie over de horizontaal op het niveau van sensor 3  $C_{h3}$  (-9.0 meter t.o.v. NAP) heeft de volgende vorm:

$$C_{h3} = a_{29} * C_3 + a_{30} * C_3^2 + a_{31} \quad (B7)$$

**Tabel 13:** Parameterwaarden van het model  $C_{h2}$  (7)

a.	Zeezijde		Meetzijde		Landzijde	
	waarde	rel. gem	waarde	rel. gem	waarde	rel. Gem
a29	-0.01	-1.27	0.92	90.17	0.22	21.54
a30	0.00	57.25	-0.00	-3.51	0.00	28.78
a31	5307.89	44.03	1647.57	13.34	6538.65	49.68

## 8.6 Parameterwaarden van de verschillende tijdreeksmodellen

De modellen voor de chlorideconcentraties zijn gegeven in hoofdstuk 5. In de onderstaande tabellen worden de parameterwaarden van de verschillende modellen gegeven. In de tabellen zijn gegeven de waarden van de parameters bij de verschillende profielen en het relatieve gemiddelde: parameterwaarde \* gemiddelde waarde van de term \* 100% / de betreffende gemiddelde chlorideconcentratie. Het relatieve gemiddelde geeft de relatieve bijdrage van een term in het model tot de gemiddelde modelwaarde. De som van de relatieve gemiddelden is 100%.

Het tijdreeksmodel voor het profielgemiddelde  $C_p$  heeft de volgende vorm, zoals ook gegeven in paragraaf 5.3 :

$$C_p(t) = a_1 * C_p(t-1) + b_1 * C(t) + b_2 * (Ws(t) - Ws(t-1)) + c_1 + E(t) \quad (B8)$$

**Tabel 14:** Parameterwaarden van het tijdreeksmodel  $C_p$ 

Par.	Zeezijde		Meetzijde		Landzijde	
a1	1.01	101.01	1.04	103.94	1.10	109.95
b1	-0.04	-2.82	-0.05	-3.78	-0.07	-5.29
b2	-4233.42	0.08	-3464.02	0.06	-3281.51	0.07
c1	190.11	1.73	-25.19	-0.23	-544.50	-4.73

Het tijdreeksmodel voor de gemiddelde chlorideconcentratie over de verticaal in de as van de rivier  $C_v$  heeft de volgende vorm :

$$C_v(t) = a_2 * C_v(t-1) + b_3 * C(t) + b_4 * (W_s(t) - W_s(t-1)) + c_2 + E(t) \quad (B9)$$

**Tabel 15:** Parameterwaarden van het tijdreeksmodel  $C_v$ 

Par.	Zeezijde		Meetzijde		Landzijde	
a2	1.00	100.11	1.03	103.33	1.07	107.21
b3	-0.04	-3.02	-0.05	-3.84	-0.06	-5.12
b4	-4714.19	0.09	-3503.41	0.07	-4022.20	0.10
c2	291.16	2.81	47.81	0.44	-232.58	-2.18

Het tijdreeksmodel voor de gemiddelde chlorideconcentratie over de horizontaal op het niveau van sensor 1  $C_{h1}$  (-2.5 meter t.o.v. NAP) heeft de volgende vorm:

$$C_{h1}(t) = a_3 * C_{h1}(t-1) + b_5 * C_1(t) + b_6 * C_1(t-1) + c_3 + E(t) \quad (B10)$$

**Tabel 16:** Parameterwaarden van het tijdreeksmodel  $C_{h1}$ 

Par.	Zeezijde		Meetzijde		Landzijde	
a3	1.23	122.61	1.10	110.01	0.99	99.23
b5	-0.04	-4.35	0.01	1.67	0.20	25.19
b6	-0.14	-16.32	-0.09	-10.80	-0.20	-24.49
c3	-98.13	-1.93	-41.37	-0.88	-0.02	-0.00

Het tijdreeksmodel voor de gemiddelde chlorideconcentratie over de horizontaal op het niveau van sensor 2  $C_{h2}$  (-4.5 meter t.o.v. NAP) heeft de volgende vorm:

$$C_{h2}(t) = a_4 * C_{h2}(t-1) + b_7 * C_2(t) + b_8 * C_2(t-1) + c_4 + E(t) \quad (B11)$$

**Tabel 17:** Parameterwaarden van het tijdreeksmodel  $C_{h2}$ 

Par	Zeezijde		Meetzijde		Landzijde	
a4	1.05	104.92	1.17	116.82	1.03	102.47
b7	0.18	18.32	0.02	1.60	0.13	13.16
b8	-0.24	-23.37	-0.17	-16.82	-0.15	-15.46
c4	9.13	0.12	-126.92	-1.70	-12.76	-0.16



Het tijdreeksmodel voor de gemiddelde chlorideconcentratie over de horizontaal op het niveau van sensor 3  $C_{h3}$  (-9.0 meter t.o.v. NAP) heeft de volgende vorm:

$$C_{h3}(t) = a_5 * C_{h3}(t-1) + b_9 * C_3(t) + b_{10} * C_3(t-1) + c_5 + E(t) \quad (B12)$$

**Tabel 18:** Parameterwaarden van het tijdreeksmodel  $C_{h3}$

Par.	Zeezijde	Meetzijde			Landzijde	
a5	0.87	86.79	1.07	107.38	1.02	101.93
b9	0.17	16.82	0.11	10.71	0.16	14.90
b10	-0.05	-4.79	-0.17	-16.95	-0.17	-16.01
c5	151.87	1.25	-140.40	-1.13	-109.00	-0.83