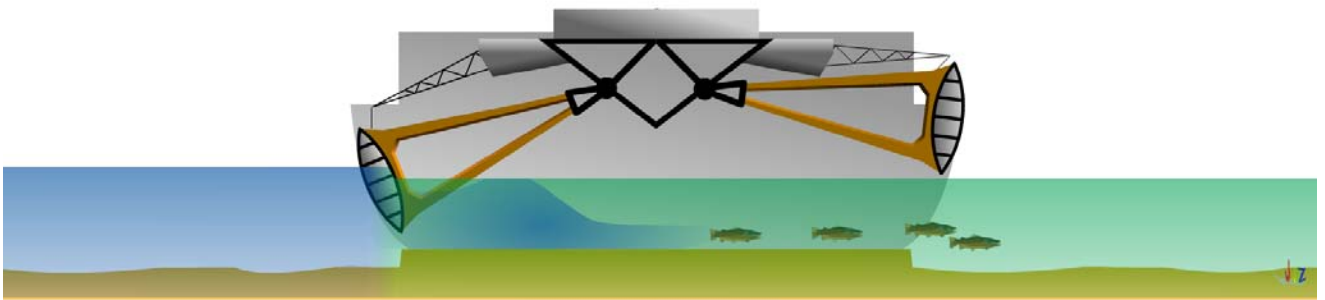


# Niet te zoet, niet te zout

HOP2008,  
een nieuw bedieningsprogramma  
voor de Haringvlietsluizen





# Niet te zoet, niet te zout

**HOP2008,  
een nieuw bedieningsprogramma  
voor de Haringvlietsluizen**

Rotterdam, februari 2006

Sacha de Goederen<sup>1</sup>  
Aad Bavelaar<sup>2</sup>  
Pieter Jacobs<sup>1</sup>  
Marloes Kraaijeveld<sup>1</sup>  
Jeroen Ligtenberg<sup>2</sup>  
Ton Visser<sup>1</sup>

<sup>1</sup> RWS-RIZA

<sup>2</sup> RWS-RIKZ

**RIZA-werkdocument 2006.045X**





## Samenvatting vii

### **1 Inleiding 1**

- 1.1 Gebiedsbeschrijving 2
- 1.2 De Kier volgens de MER 2

### **2 Het Sobek model 5**

- 2.1 Versie HOP-D 5
- 2.2 Versie HOP-H 5
- 2.3 Versie HOP-I 5
- 2.4 Overzicht dispersieinstellingen 6

### **3 Principesommen 9**

- 3.1 Doelstelling 9
- 3.2 Model en randvoorwaarden 9
- 3.3 Uitvoering 10
- 3.4 Berekeningen 11
  - 3.4.1. De referentievarianten 11
  - 3.4.2. Varianten groep 1 12
  - 3.4.3. Varianten groep 2 13
- 3.5 Resultaten 14
- 3.6 Afleiding van HOP 19

### **4 Jaarsommen 21**

- 4.1 Doelstelling 21
- 4.2 Model en randvoorwaarden 21
- 4.3 Beoordeling van het HOP 22
- 4.4 Berekeningen 24
  - 4.4.1. Van HOP versie 1 naar versie 4 24
  - 4.4.2. HOP versie 5 29
  - 4.4.3. Keuze van de beste HOP versie 34
- 4.5 Overig onderzoek 37
  - 4.5.1. Vergelijking Zwendl en Sobek 37
  - 4.5.2. Invloed van werkelijk beheer en wind 37
  - 4.5.3. De Spleet 44
  - 4.5.4. (Half) getemd getij 49
- 4.6 Berekeningen HOP-I 53
  - 4.6.1. Zoetspoelberekening voor de HOPi4-180 jaarsommen 53
  - 4.6.2. Resultaten 54
  - 4.6.3. Automatisch zoetspoelen 54

### **5 Overige berekeningen 55**

- 5.1 Dispersietest 55
- 5.2 Droge zomers 64
- 5.3 Zoetspoelen 69
  - 5.3.1. Onderzoek naar dalende Rijnafvoeren 69

---

5.3.2.	De voorspelbaarheid van de Rijnafvoer	70
5.3.3.	Volledig zoetspoelen van het Haringvliet	70
5.3.4.	Scenario's	71
5.3.5.	Sobek berekening	73
5.3.6.	Zeedelta berekeningen	77
5.4	Detailmodel Haringvlietsluizen	99
5.5	Tijpoortanalyse	103
5.5.1.	Algoritme	103
5.5.2.	Overweging t.a.v. tijdsduren	104
5.5.3.	Resultaten	104
5.5.4.	Analyse	105
5.5.5.	Overige vragen	105
5.6	Noodscenario's verzoeting drinkwatervoorziening	107
5.6.1.	Verziltning innamepunt Beerenplaat	107
5.6.2.	Verziltning innamepunt Kralingen	110
5.6.3.	Optimalisatie zoetspoelen	115
5.7	Gevolgen van zoetspoelen in de Rotterdamse haven	117
<b>6</b>	<b>Conclusies</b>	<b>125</b>
<b>7</b>	<b>Literatuur</b>	<b>127</b>
<b>Bijlage A</b>	<b>Bedieningsprogramma's Haringvlietsluizen</b>	<b>129</b>
<b>Bijlage B</b>	<b>Locaties</b>	<b>132</b>
<b>Bijlage C</b>	<b>Uitgebreide resultaten jaarsommen</b>	<b>135</b>
<b>Bijlage D</b>	<b>Dispersieafregeling Sobek-model</b>	<b>139</b>
D.1	Dispersieafregeling Sobek-model HOP-H	139
D.2	Dispersieafregeling Sobek-model HOP-I	150
<b>Bijlage E</b>	<b>Voor- en nabewerkingsprogrammatuur</b>	<b>153</b>
E.1	SOBSET	153
E.2	NFKNIP en NFPLAK	155
E.3	HOPTAB	155
E.4	ZOZOZO	157
<b>Bijlage F</b>	<b>Verklaring resultaten zoutindringing</b>	<b>160</b>
<b>Bijlage G</b>	<b>Vergelijking Werkelijk Beheer en Metingen</b>	<b>169</b>
<b>Bijlage H</b>	<b>Verdeling tijpoorten in de tijd</b>	<b>172</b>
<b>Bijlage I</b>	<b>Innamemogelijkheden Evides</b>	<b>177</b>
<b>Bijlage J</b>	<b>Automatisch zoetspoelen</b>	<b>182</b>

---

## Samenvatting

---

HOP2008 is het nieuwe bedieningsprogramma voor de Haringvliet-sluizen dat de Kier vanaf 2008 in praktijk gaat brengen.

De hoofddoelstelling van de Kier is het zoveel mogelijk verbeteren van de migratiemogelijkheden voor vis, onder voorwaarde dat belangen van diverse partijen niet geschaad worden. Dit beperkt de mate waarin de zoutindringing en de waterstanden in de Rijn-Maasmonding mogen veranderen ten gevolge van de invoering van het HOP. Deze belangen zijn vertaald naar een aantal randvoorwaarden waaraan het HOP moet voldoen. Binnen deze randvoorwaarden is gezocht naar het meest optimale HOP.

Tijdens dit onderzoek is gebleken dat de randvoorwaarden de mogelijkheden tot opening van de Haringvlietsluizen sterk beperken. Zowel het percentage van de tijd dat de sluisen in een jaar open kunnen staan als de grootte van de doorstroomopening komen lager uit dan aanvankelijk verwacht. Het inlaten van zout water bij een Rijnafvoer lager dan  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$  lijkt niet mogelijk te zijn. Ook in het uiteindelijk als meest optimale HOP gekozen bedieningsprogramma treedt een beperkte overschrijding van de randvoorwaarden op. Omdat de randvoorwaarden en de wens tot verbeterde visintrek onderling strijdig blijken te zijn, was dit niet te voorkomen.

Een probleem tijdens het onderzoek was de onzekerheid ten aanzien van de reproductienauwkeurigheid van de zoutindringing in het Haringvliet van de bij het onderzoek gebruikte hydrodynamische modellen. Er is gebruik gemaakt van zowel een één- als een driedimensionaal model. Voor beide modellen geldt dat de beschikbare metingen te beperkt zijn om de modellen over een voldoende bereik van omstandigheden te kalibreren en verifiëren. Bij twijfel aan de resultaten van het ééndimensionale model is een vergelijking gemaakt met driedimensionale berekeningen. Bij afwijking tussen de twee zijn de uitkomsten van het driedimensionale model als betrouwbaarder aangemerkt.

Wegens het beperkte vertrouwen in de modellen is bij het opstellen van het HOP gekozen voor een voorzichtige benadering. Dit betekent dat de gekozen sluisopeningen kleiner zijn dan waarschijnlijk in de praktijk toelaatbaar zal blijken. Een juiste werking van het afgeleide bedieningsprogramma kan desondanks niet volledig gegarandeerd worden. De invoering van het HOP2008 start daarom met een periode van "lerend implementeren". Tijdens deze periode zal voorzichtig in de praktijk verkend worden wat de exacte speelruimte is voor het HOP2008. Bij een Rijnafvoer lager dan  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$  wordt geen zout water meer ingelaten en is ook nauwelijks nog zoet water beschikbaar om te spuien. Het Haringvliet is in een periode van lage afvoeren een nagenoeg stagnant systeem. Tijdens het onderzoek is het inzicht

---

ontstaan dat het in deze situatie achterblijvende brakke water in het Haringvliet door opmenging de bovengenoemde belangen kan schaden. Door de lage afvoer heeft de waterbeheerder dan geen middelen meer tot zijn beschikking om dit te voorkomen of te verhelpen. Door het Haringvliet bij aanvang van een periode van lage afvoer door te spoelen met zoet water wordt voorkomen dat het systeem in een dergelijke situatie terecht komt. Dit zogenaamde zoetspoelen zal naar verwachting gemiddeld twee tot drie keer per jaar moeten worden uitgevoerd. Tijdens het zoetspoelen treedt een kortdurende versterkte zoutindringing op via de Nieuwe Waterweg.



---

# 1. Inleiding

---

In de MER Beheer Haringvlietsluizen zijn een aantal alternatieven voor het beheer van de Haringvlietsluizen onderzocht. Op basis van deze studie is besloten tot invoering van het alternatief de Kier. Als voorbereiding op de invoering van de Kier is een onderzoek gestart naar het bedieningsprogramma voor de Haringvlietsluizen dat de Kier in praktijk gaat brengen.

De noodzaak om een uitvoerig onderzoek te doen naar een optimaal sluisprogramma, aanvullend op de MER Beheer Haringvlietsluizen, is ingegeven door een aantal redenen:

- Er dient een programma gevonden te worden dat voldoet aan de eisen die gesteld worden vanuit andere gebruikers van het watersysteem (waterschappen, drinkwaterbedrijven, scheepvaart etc.). Deze eisen waren bij het uitkomen van het MER niet voldoende gespecificeerd.
- Sinds het uitvoeren van de 1D MER-berekeningen (op basis waarvan de openingen volgens De Kier zijn vastgesteld – zie ook §1.2) is een ander 1D hydrodynamisch model (SOBEK) in gebruik genomen. Bovendien zijn met het uitvoeren van de praktijkproef van maart 1997 in het Haringvliet gegevens beschikbaar gekomen, die het mogelijk maken om zowel het SOBEK-model als het 3D-model ZEEDELTA voor de zuidrand (Haringvliet – Hollandsch Diep) op zoutindringing af te regelen. Het voor het MER gebruikte model (ZWENDL) was op de zuidrand helemaal niet afgeregeld op zout (vanwege het gebrek aan relevante meetgegevens).

In dit rapport is het onderzoek beschreven dat in de implementatiefase van De Kier is uitgevoerd. Het onderzoek is in vier activiteiten te verdelen.

- Het 1D-model Sobek en het 3D-model Zeedelta zijn afgeregeld voor zoutindringing via de noordrand (Nieuwe Waterweg, Oude en Nieuwe Maas) en de zuidrand. (Hoofdstuk 2)
- Door middel van principesommen is het verband tussen de verschillende parameters en de zoutindringing verkend. De resultaten maken het mogelijk een eerste ruwe versie van het sluisprogramma op te stellen. (Hoofdstuk 3)
- In jaarsommen wordt het sluisprogramma getest op het functioneren onder reëel te verwachten omstandigheden. Op iteratieve wijze wordt toegewerkt naar het meest optimale sluisprogramma. (Hoofdstuk 4)
- Diverse vraagstukken die tijdens en naar aanleiding van het onderzoek naar voren zijn gekomen, zijn onderzocht met specifieke SOBEK of ZEEDELTA berekeningen. (Hoofdstuk 5)

Een consequentie van deze verdeling is dat de diverse stappen die in de speurtocht naar het optimale bedieningsprogramma zijn gezet in dit

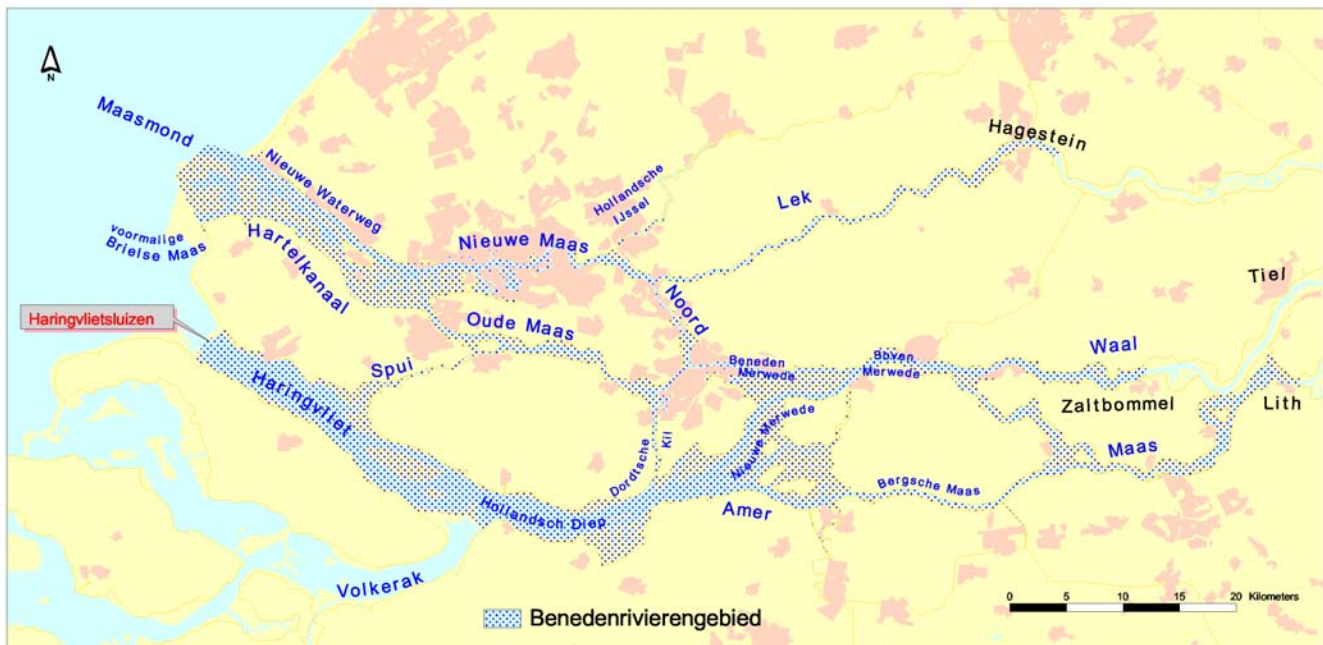
rapport niet geheel in chronologische volgorde worden beschreven. Bovendien is een deel van het onderzoek achteraf gezien niet relevant gebleken voor de vaststelling van het bedieningsprogramma. Verder is er extra onderzoek gedaan naar aanleiding van vragen van diverse betrokken partijen. Wie het rapport van kapt tot kapt leest zal dan ook regelmatig heen en weer worden verwezen.

## 1.1 Gebiedsbeschrijving

De Rijn-Maasmonding (figuur 1.1) wordt gevormd door de getijbeïnvloede takken van Rijn en Maas tot aan de zee. Aan de rivierzijde wordt de begrenzing gelegd bij de stuw te Hagestein in de Lek, bij Tiel langs de Waal en bij Lith aan de Maas. Dit zijn ongeveer de locaties tot waar onder gemiddelde omstandigheden het getij doordringt.

Aan de zeezijde is er op twee plaatsen verbinding met zee. In het noorden is er een open verbinding bij Maasmond, in het zuiden is er

**Figuur 1.1**  
De Rijn-Maasmonding



een verbinding via de Haringvlietsluizen. Sinds de voltooiing van dit sluisencomplex eind 1970 wordt er hier alleen water naar zee gespuid. De getijwerking komt alleen het gebied binnen door de Nieuwe Waterweg. Via Oude Maas en Spui of Dordtsche Kil bereikt het getij het Haringvliet en Hollandsch Diep. Het tijverschil in het zuidelijk deel van het gebied is beperkt tot enkele decimeters.

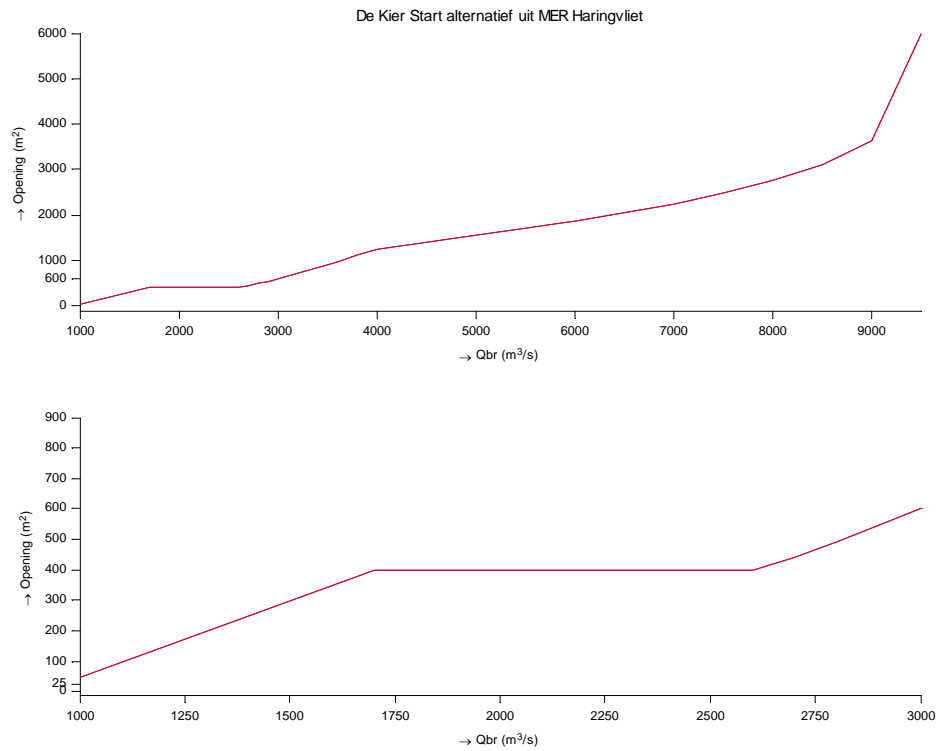
## 1.2 De Kier volgens de MER

In het MER-deelrapport "De sluisen op een Kier" worden de Haringvlietsluizen in het alternatief "De Kier" bestuurd als weergegeven in figuur 1.2. De sluisopening is in deze variant gelijk bij inlaten en bij spuien en wordt volledig bepaald door de Bovenrijnafvoer  $Q_{br}$ . De bovenste grafiek in figuur 1.2 geeft de sluisopeningen

over het volledige afvoerbereik van de Rijn. De onderste grafiek in de figuur is een uitvergroting voor het meest voorkomende deel van het afvoerbereik.

In bijlage a is de Kier ook in tabelvorm opgenomen.

**Figuur 1.2**  
Bedieningsprogramma  
Haringvlietsluizen volgens alternatief  
"De Kier" uit de MER Haringvlietsluizen



---

---

---

## 2. Het Sobek model

---

De Sobek modellen die zijn gebruikt voor het in dit rapport beschreven onderzoek zijn gebaseerd op de modelschematisaties NDB1\_0\_0 en NDB1\_1\_0, beide met open Beerdam. Versie NDB1\_0\_0 is beschreven in Van der Linden en Van Zetten (2001). Deze versie is later voor zoutindringing via de Nieuwe Waterweg en het Hartelkanaal verder afgeregeld door Kraaijeveld(2003) tot versie NDB1\_1\_0.

Uit bovengenoemde twee versies zijn de voor dit onderzoek gebruikte modellen afgeleid:

- Versie HOP-D voor de principesommen
- Versies HOP-H en HOP-I voor de jaarsommen

In dit hoofdstuk worden deze drie HOP-versies beschreven.

### 2.1 Versie HOP-D

Bij aanvang van het onderzoek was de versie NDB1\_1\_0 nog niet beschikbaar. De versie HOP-D is gebaseerd op NDB1\_0\_0. Dit model is vervolgens afgeregeld voor zoutindringing via de Haringvlietsluizen op basis van de metingen die zijn uitgevoerd tijdens de inlaatproef in maart 1997. Deze afregeling wordt in bijlage D.1 beschreven. Een overzicht van de gewijzigde dispersieinstellingen is opgenomen in tabel 2.1(§2.4).

### 2.2 Versie HOP-H

In versie HOP-H zijn de verbeterde dispersieinstellingen in NDB1\_1\_0 voor de noordrand van het gebied samengevoegd met de nieuwe dispersieinstellingen voor het Haringvliet uit HOP-D. Deze samenvoeging bleek naderhand echter niet correct te zijn uitgevoerd. De gewijzigde dispersieinstellingen uit HOP-D waren niet overgenomen in het nieuwe model. In de versie HOP-HH (H Hersteld) is dit alsnog correct uitgevoerd.

Inmiddels was echter het inzicht ontstaan dat de zoutindringing via de Haringvlietsluizen bij lage afvoersituaties en kleine sluisopeningen in het model HOP-H veel te sterk was. De dispersieinstellingen in HOP-HH verergerden deze zoutindringing onder dergelijke omstandigheden nog meer. Om deze reden is de niet-herstelde versie HOP-H in het onderzoek gehandhaafd. Nader onderzoek naar de zoutindringing en de dispersieinstellingen in het SOBEK-model is beschreven in §5.1.

### 2.3 Versie HOP-I

Naar aanleiding van het in versie HOP-H geconstateerde probleem van de te sterke dispersie bij lage rivierafvoer en kleine sluisopeningen is het model voor zoutindringing in het Haringvliet opnieuw afgeregeld. De nieuwe versie HOP-I die deze afregeling heeft opgeleverd geeft onder lage afvoer omstandigheden minder zoutindringing in het Haringvliet,

maar vergeleken met de in §5.1 beschreven 3D berekeningen is deze nog steeds te groot. De afregeling wordt in bijlage D.2 beschreven.

## 2.4 Overzicht dispersieinstellingen

In tabel 2.1 en tabel 2.2 zijn de dispersieinstellingen weergegeven voor de in de voorgaande paragrafen besproken versies van het SOBEK-model voor alleen die takken waarvoor verschillen in deze instelling voorkomen.

**Tabel 2.1**

Dispersieinstellingen in de verschillende versies van het SOBEK-model

Tak	HOP-D			HOP-H			HOP-HH			HOP-I			NDB1_0_0			NDB1_1_0		
	f1	f3	f4	f1	f3	f4	f1	f3	f4	f1	f3	f4	f1	f3	f4	f1	f3	f4
<i>noordrand</i>																		
BOLE005	2500	0	0	500	0	0	500	0	0	500	0	0	2500	0	0	500	0	0
BOLE006	2500	0	0	500	0	0	500	0	0	500	0	0	2500	0	0	500	0	0
BOLE007	2500	0	0	500	0	0	500	0	0	500	0	0	2500	0	0	500	0	0
EMHA015	2500	0	0	500	0	0	500	0	0	500	0	0	2500	0	0	500	0	0
HAKA079				50	0	0.006	50	0	0.006	50	0	0.006	250	0	0	50	0	0.006
HAKA079a	250	0	0															
HAKA99	50	0	0.006	100	0	0	100	0	0	100	0	0	50	0	0.006	100	0	0
HAKA_SVKH	2500	0	0	50	0	0.006	50	0	0.006	50	0	0.006	2500	0	0	50	0	0.006
HOIJ028	50	0	0.006	200	0	0.006	200	0	0.006	200	0	0.006	50	0	0.006	200	0	0.006
HOIJ029	50	0	0.006	200	0	0.006	200	0	0.006	200	0	0.006	50	0	0.006	200	0	0.006
MAHA019	2500	0	0	500	0	0	500	0	0	500	0	0	2500	0	0	500	0	0
MAMO001	50	0	0.006	50	0	0.007	50	0	0.007	50	0	0.007	50	0	0.006	50	0	0.007
MAMO002	50	0	0.006	50	0	0.007	50	0	0.007	50	0	0.007	50	0	0.006	50	0	0.007
MAMO097	50	0	0.006	50	0	0.007	50	0	0.007	50	0	0.007	50	0	0.006	50	0	0.007
NIWA003	50	0	0.006	50	0	0.007	50	0	0.007	50	0	0.007	50	0	0.006	50	0	0.007
NIWA_SVKW	50	0	0.006	50	0	0.007	50	0	0.007	50	0	0.007	50	0	0.006	50	0	0.007
PET1011	2500	0	0	500	0	0	500	0	0	500	0	0	2500	0	0	500	0	0
PET2013	2500	0	0	500	0	0	500	0	0	500	0	0	2500	0	0	500	0	0
PET3008	2500	0	0	500	0	0	500	0	0	500	0	0	2500	0	0	500	0	0
RIHA021	2500	0	0	500	0	0	500	0	0	500	0	0	2500	0	0	500	0	0
WAHA017	2500	0	0	500	0	0	500	0	0	500	0	0	2500	0	0	500	0	0
<i>Zuidrand</i>																		
HAVL042	tabel	tabel	tabel	tabel	tabel	tabel	tabel	tabel	tabel	tabel			tabel	tabel	tabel	tabel	tabel	tabel
HAVL042N											40	1000	0					
HAVL042W											tabel	tabel	tabel					
HAVL042Z											30	2000	0					
HAVL043	100	1	0	100	1	0	100	1	0	10	4000	0	100	1	0	100	1	0
HAVL044	100	1	0	100	1	0	100	1	0	10	2000	0	100	1	0	100	1	0
HAVL045	100	1	0	100	1	0	100	1	0	10	1000	0	100	1	0	100	1	0
HAVL046	100	1	0	100	1	0	100	1	0	10	1000	0	100	1	0	100	1	0
HAVL047	100	1	0	100	1	0	100	1	0	10	1000	0	100	1	0	100	1	0
ZEHV098	50	0	6E-05	50	0	0.006	50	0	6E-05	50	0	0.006	50	0	0.006	50	0	0.006

---

**Tabel 2.2**

Plaatsafhankelijke dispersieinstelling  
van tak HAVLO42 in de verschillende  
versies van het SOBEK-model

---

HOP-D				HOP-H				HOP-HH				HOP-I				NDB1_0_0				NDB1_1_0			
d	f1	f3	f4	d	f1	f3	f4	d	f1	f3	f4	d	f1	f3	f4	d	f1	f3	f4	d	f1	f3	f4
0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	10	4000	0	0	100	0	0	0	100	0	0
1000	100	0	0					1000	100	0	0									1000	100	0	0
2000	200	0	0					2000	200	0	0									2000	200	0	0
3000	300	0	0					3000	300	0	0									3000	300	0	0
4000	500	0	0					4000	500	0	0									4000	500	0	0
5000	1000	0	0					5000	1000	0	0									5000	1000	0	0
6400	50	0	0.006	6400	100	0	0	6400	50	0	0.006	350	10	4000	0	6400	100	0	0	6400	50	0	0.006
6401	50	0	0.006	6401	1	0	0	6401	50	0	0.006	351	1	200	0	6401	1	0	0	6401	50	0	0.006
6412	50	0	0.006	6412	1	0	0	6412	50	0	0.006	362	1	200	0	6412	1	0	0	6412	50	0	0.006
6611	50	0	0.006	6611	100	1	0	6611	50	0	0.006	561	10	4000	0	6611	100	1	0	6611	50	0	0.006

---

---

---



---

## 3.Principesommen

---

### 3.1 Doelstelling

De doelstelling van de principesommen is een verkenning van het verband tussen rivierafvoer, de grootte van de spuiopening van de Haringvlietsluizen tijdens eb en vloed, de waterstanden en de mate van zoutindringing in de Rijn-Maasmonding. Om het gehele bereik van mogelijkheden te bestrijken is voor deze berekeningen niet uitgegaan van werkelijk opgetreden randvoorwaarden, maar zijn deze kunstmatig gegenereerd. Om deze reden worden ze aangeduid als principesommen.

### 3.2 Model en randvoorwaarden

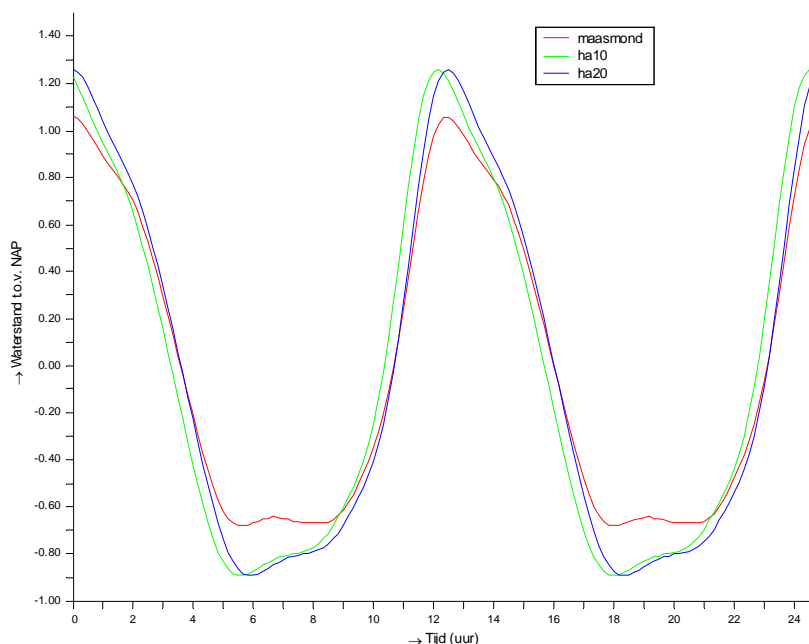
Voor deze verkenning is gebruik gemaakt van het model versie HOP-D. De H-versie was op het moment waarop de berekeningen zijn uitgevoerd nog niet beschikbaar.

De in de berekeningen gebruikte randvoorwaarden zijn:

- De zeeranden (Maasmond, HA10 en HA20) zijn voorzien van het cyclische slotgemiddelde getij 1991.0 (figuur 3.1). Dit getij bevat wel de dagelijkse ongelijkheid, maar geen spring- en doottij.

---

**Figuur 3.1**  
Slotgemiddeld getij 1991.0



- Op de rivieranden (Hagestein, Tiel en Lith) wordt een *permanente* afvoer opgelegd. De grootte van deze afvoer wordt afgeleid van de Bovenrijnafvoer middels de afvoerverdelingstabel 1976 (noot:De nieuwe afvoertabel zoals gebruikt voor het Randvoorwaardenboek 2001 was ten tijde van de berekeningen nog niet beschikbaar voor hoge afvoer). In deze tabel worden voor constante

---

Bovenrijnafvoeren tussen 600 en 20000 m<sup>3</sup>/s de bijbehorende afvoeren via Lek en Waal gegeven alsmede de afvoer van de Maas volgens de 50%-relatie.

- De Haringvlietsluizen bestaan in het model uit 17 parallelle openingen. De gewenste spuiopening wordt ingesteld door alle 17 openingen even ver te openen.
- Op alle modelranden wordt een constante zoutconcentratie opgelegd. Deze is bij Maasmond 31 kg/m<sup>3</sup>, bij Haringvliet 34 kg/m<sup>3</sup> en bij Hagestein, Tiel en Lith 0.4 kg/m<sup>3</sup>.
- Het Haringvliet is bij aanvang van de berekening volledig zoet.
- De rekenperiode loopt van 1 januari 1991 00:00 uur tot 3 maart 1991 00:00 uur. De berekeningen kennen geen inspeelperiode voorafgaand aan 1 januari.
- De parameters waterstand, debiet en zoutconcentratie worden op alle gridpunten van het model uitgevoerd.

### 3.3 Uitvoering

Voor het verkennen van de te onderzoeken relaties worden een groot aantal berekeningen uitgevoerd waarbij de randvoorwaarden rivierafvoer en spuiopening Haringvlietsluizen stelselmatig worden gevarieerd. Voor elke combinatie van rivierafvoer en spuiopening wordt een berekening uitgevoerd. Als N verschillende rivierafvoeren en M verschillende spuiopeningen worden gekozen, dan levert dit dus N \* M berekeningen.

Elke berekening is in de Sobek User Interface een "case". Om de gewenste cases snel en foutloos te genereren is het programma SOBSET ontwikkeld. Dit leest de te gebruiken waarden van de randvoorwaarden uit een stuurbestand en maakt vervolgens voor iedere combinatie een case. In bijlage E.1 wordt het gebruik van het programma SOBSET beschreven.

Na het uitvoeren van de SOBSEK berekening in iedere case, resulteren evenzovele resultatenbestanden voor de in §3.2 genoemde rekenperiode. Om de omvang van de resultaten te reduceren worden uit deze periode met het programma NFKNIP drie deelperioden geknipt:

- De situatie na 5 dagen : 6 januari 00:00 uur t/m 7 januari 23:50 uur
- De situatie na 2 weken : 15 januari 00:00 uur t/m 16 januari 23:50 uur
- De situatie na 2 maanden : 1 maart 00:00 uur t/m 2 maart 23:50 uur

In bijlage E.2 wordt het gebruik van het programma NFKNIP beschreven.

Voor het produceren van figuren voor de resultaten uit alle gecombineerde cases is gebruik gemaakt van MATLAB. Met de programma's HOPTAB en ZOZOZO worden uit de Sobekresultaten van een verzameling cases voor MATLAB bruikbare invoergegevens gemaakt. Deze programma's worden beschreven in de bijlagen E.3 en E.4.

### 3.4 Berekeningen

Er zijn diverse varianten berekend. Deze varianten zijn in twee groepen te verdelen:

1. Verkenningen voor een Bovenrijnafvoer tussen 1000 m<sup>3</sup>/s en 3500 m<sup>3</sup>/s
2. Verkenningen voor een Bovenrijnafvoer tussen 2500 m<sup>3</sup>/s en 9500 m<sup>3</sup>/s

In groep 1 worden 15 waarden van de Bovenrijnafvoer doorgerekend. De afvoerverdeling is gegeven in tabel 3.1.

.....  
**Tabel 3.1**  
 Afvoerverdeling voor berekeningen uit groep 1.

$Q_{br}$ m <sup>3</sup> /s	$Q_{Hagestein}$ m <sup>3</sup> /s	$Q_{Tiel}$ m <sup>3</sup> /s	$Q_{Lith}$ m <sup>3</sup> /s
1000	20	785	90
1150	20	898	112
1300	20	1010	130
1450	60	1102	150
1600	150	1160	180
1750	230	1230	202
1900	300	1305	220
2050	348	1398	238
2200	385	1490	260
2350	420	1588	278
2500	450	1690	300
2750	505	1855	360
3000	555	2025	460
3250	606	2192	520
3500	660	2355	585

In groep 2 worden 9 waarden van de Bovenrijnafvoer doorgerekend. De afvoerverdeling is gegeven in tabel 3.2.

.....  
**Tabel 3.2**  
 Afvoerverdeling voor berekeningen uit groep 2.

$Q_{br}$ m <sup>3</sup> /s	$Q_{Hagestein}$ m <sup>3</sup> /s	$Q_{Tiel}$ m <sup>3</sup> /s	$Q_{Lith}$ m <sup>3</sup> /s
2500	450	1690	300
3000	555	2025	460
3500	660	2355	585
4500	870	3005	795
5500	1075	3652	1020
6500	1275	4315	1210
7500	1490	4950	1410
8500	1735	5555	1600
9500	1990	6125	1790

#### 3.4.1. De referentievarianten

De referentievarianten representeren de huidige situatie. Zij bestaan uit berekeningen waarbij de Haringvlietsluizen bediend worden volgens LPH'84. De sluizen zijn tijdens vloed dus altijd gesloten, de sluisopening tijdens eb wordt bepaald door de rivierafvoer.

De variant ref omvat de referentiesommen voor de varianten in groep 1. Er zijn in deze groep 15 waarden voor  $Q_{br}$  en er is één sluisbediening. De variant omvat dus 15 berekeningen. De cases zijn genummerd van 81 t/m 95.

De variant refha omvat de referentiesommen voor de varianten in groep 2. Er zijn in deze groep 9 waarden voor  $Q_{br}$ . De variant omvat dus 9 berekeningen. De cases zijn genummerd van 81 t/m 90.

### 3.4.2. Varianten groep 1

#### Variant d1

In de variant d1 is de spuiopening van de Haringvlietsluizen tijdens eb en vloed gelijk, er wordt gerekend met 0, 100, 200, 300, 400, 500 en 600 m<sup>2</sup> spuiopening. Deze variant bevat dus 15 x 7 = 105 berekeningen. De cases zijn genummerd van 101 t/m 205.

In variant d1x is de lijst met spuiopening uitgebreid met 700, 900, 1100, 1300 en 1500 m<sup>2</sup>. Deze variant kent dus 12 waarden voor de spuiopening. De variatie van  $Q_{br}$  is beperkt tot het gebied tussen 1000 en 2500 m<sup>3</sup>/s. dus er zijn 11 waarden voor  $Q_{br}$ . De variant bestaat dus uit 11 x 12 = 132 berekeningen. De cases zijn genummerd van 301 t/m 432.

#### Variant d2

In de variant d2 is de spuiopening tijdens eb 20% groter dan in variant d1 en tijdens vloed 20% kleiner dan in variant d1. De sluisopeningen zijn gegeven in tabel 3.3. Deze variant bevat 15 x 7 = 105 berekeningen. De cases zijn genummerd van 101 t/m 205.

.....  
Tabel 3.3  
Eb- en vloedopeningen in variant d2.

Nummer	Ebopening m <sup>2</sup>	Vloedopening m <sup>2</sup>
1	0	0
2	120	80
3	240	160
4	360	240
5	480	320
6	600	400
7	720	480

#### Variant d5

In de variant d5 is de sluisopening tijdens eb 50% groter dan in variant d1 en tijdens vloed 50% kleiner dan in variant d1. De sluisopeningen zijn gegeven in tabel 3.4.

Deze variant bevat 15 x 7 = 105 berekeningen. De cases zijn genummerd van 101 t/m 205.

**Tabel 3.4**  
Eb- en vloedopeningen in variant d5.

Nummer	Ebopening m <sup>2</sup>	Vloedopening m <sup>2</sup>
1	0	0
2	150	50
3	300	100
4	450	150
5	600	200
6	750	250
7	900	300

De variant d5a is gelijk aan variant d5 op de vloedopening na. Deze is bij kleine ebopening in twee gevallen verlaagd naar 25 m<sup>2</sup>. De sluisopeningen zijn gegeven in tabel 3.5.

**Tabel 3.5**  
Eb- en vloedopeningen in variant d5a.

Nummer	Ebopening m <sup>2</sup>	Vloedopening m <sup>2</sup>
1	0	0
2	150	25
3	300	25
4	450	150
5	600	200
6	750	250
7	900	300

De variant d5b is een detaillering van d5a. Voor de 4 laagste waarden van de afvoer is gerekend met de sluisopeningen in tabel 3.6. Deze variant bevat  $4 \times 7 = 28$  berekeningen. De cases zijn genummerd van 101 t/m 128.

**Tabel 3.6**  
Eb- en vloedopeningen in variant d5b.

Nummer	Ebopening m <sup>2</sup>	Vloedopening m <sup>2</sup>
1	0	0
2	75	12.5
3	150	25
4	225	25
5	300	25
6	375	87.5
7	450	150

### 3.4.3. Varianten groep 2

#### Variant dha1

De variant dha1 is een verkenning van de effecten bij hogere rivierafvoer. De ebopening is hierbij steeds gelijk gekozen aan de ebopening volgens LPH'84 bij de betreffende rivierafvoer. De vloedopening is gevarieerd tussen 0 en 3500 m<sup>2</sup>. Alle gebruikte sluisopeningen zijn gegeven in tabel 3.7.

Deze variant bevat  $9 \times 12 = 108$  berekeningen. De cases zijn genummerd van 101 t/m 208.

Tabel 3.7  
Eb- en vloedopeningen in variant dha1.

Nummer	Ebopening m <sup>2</sup>	Vloedopening m <sup>2</sup>
1	lph	0
2	lph	100
3	lph	200
4	lph	300
5	lph	400
6	lph	800
7	lph	1200
8	lph	1600
9	lph	2000
10	lph	2500
11	lph	3000
12	lph	3500

### 3.5 Resultaten

Met het oog op de eisen die aan het HOP worden gesteld, zijn figuren gemaakt van de volgende parameters:

- De toename van de maximale chlorideconcentratie bij Bernisse t.o.v. de situatie met bediening volgens LPH (figuur 3.2)
- De toename van de maximale chlorideconcentratie bij Middelharnis (figuur 3.3)
- De toename van de maximale chlorideconcentratie bij Krimpen a/d IJssel (figuur 3.4)
- De minimale waterstand bij Moerdijk (figuur 3.5)

voor de varianten d1, d2, d5 en d5a na een rekentijd van 5 dagen, 2 weken en 2 maanden.

In figuur 3.6 zijn bovenstaande figuren voor variant d5b na een rekentijd van 5 dagen weergegeven.

Tevens is er voor elke parameter een figuur voor de variant dha1 na een rekentijd van 5 dagen (figuur 3.7).

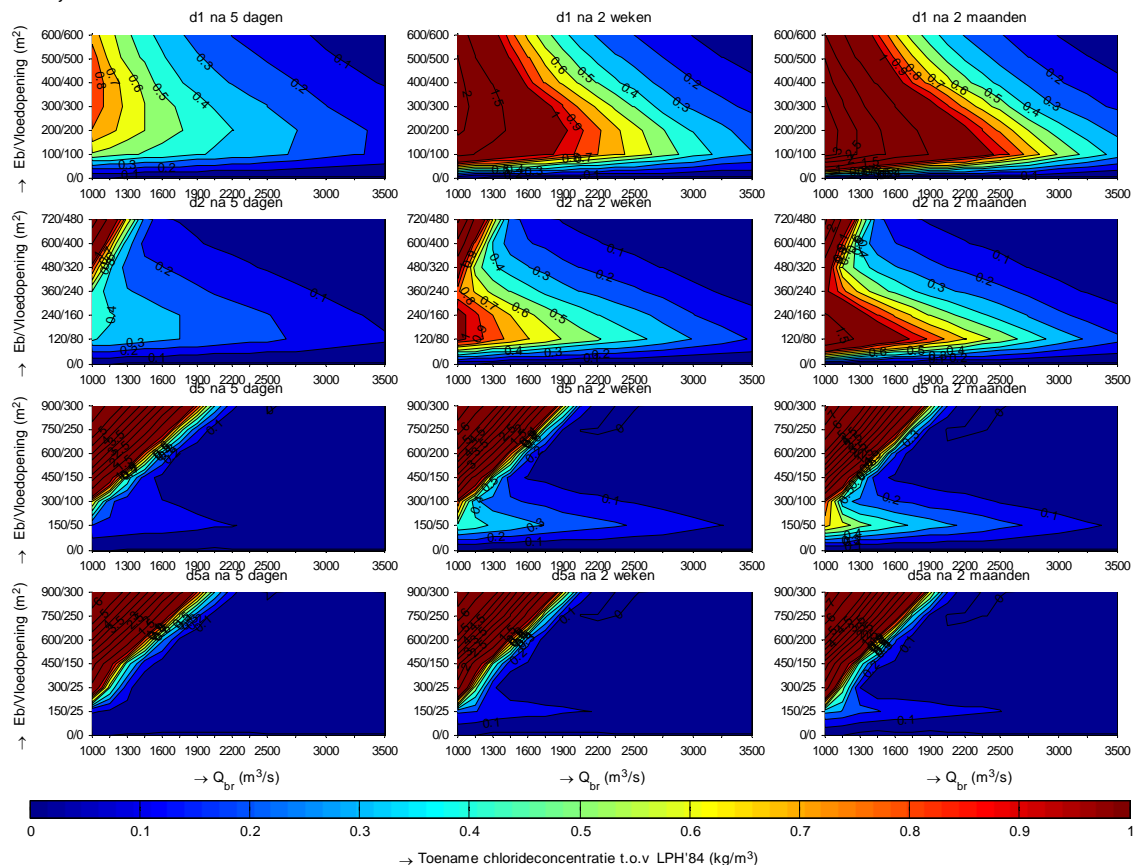
In figuur 3.8 is de ligging van de zoet-zout overgang in het Haringvliet aangegeven tijdens het getij voor verschillende varianten en spuiopeningen bij een Bovenrijnafvoer van  $1600 \text{ m}^3/\text{s}$ . De Haringvlietsluizen zijn hierbij als nulpunt aangehouden. Het positieve deel van de x-as (naar rechts) beschrijft het Haringvliet, het negatieve deel van de x-as de Voordelta.

In de figuur 3.2 (Bernisse) en vooral in figuur 3.3 (Middelharnis) doet zich een merkwaardig fenomeen voor. Bij een vaste rivierafvoer blijkt dat bij toenemende spuiopening de verzilting eerst toe te nemen, dan weer af te nemen en vervolgens weer toe te nemen. Dit veroorzaakt in de figuren een horizontaal uitstekende 'bult', die vooral bij de situaties met langere inspeeltijd duidelijk zichtbaar wordt. Voor het afleiden van het HOP is de aanwezigheid van deze bult een vervelende complicatie.

De bult loopt precies door het gebied waarin men het HOP gedacht had.

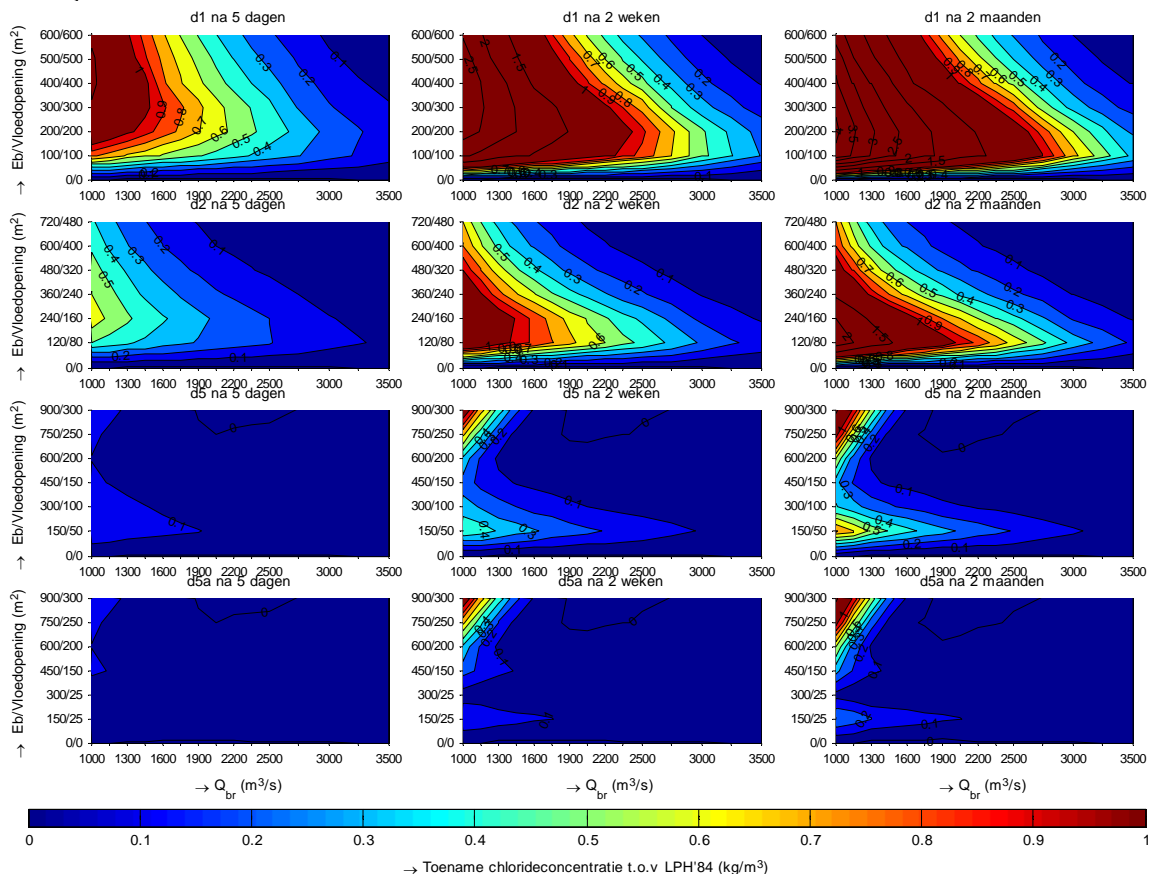
De verklaring van dit op het eerste gezicht onlogische verschijnsel wordt gegevens in bijlage f. Kort samengevat komt het erop neer dat de bult veroorzaakt wordt door het feit dat op de x-as de Bovenrijnafvoer is weergegeven. Langs de y-as worden de Haringvlietsluizen steeds verder geopend. Dit veroorzaakt twee elkaar tegenwerkende processen. Door de grotere sluisopening neemt de verzilting toe. De grotere sluisopening veroorzaakt echter ook een wijziging van de debietverdeling in de Rijn-Maasmonding. Bij grote opening stroomt meer water door het Haringvliet naar zee en dit doet de verzilting juist weer afnemen. Deze twee processen bepalen samen de verzilting. Indien op de x-as de restafvoer door het Haringvliet wordt uitgezet i.p.v. de Bovenrijnafvoer dan ontstaat weer een figuur waarbij de verzilting altijd toeneemt bij toenemende sluisopening.

**Figuur 3.2**  
Toename van de maximale chlorideconcentratie bij Bennisse



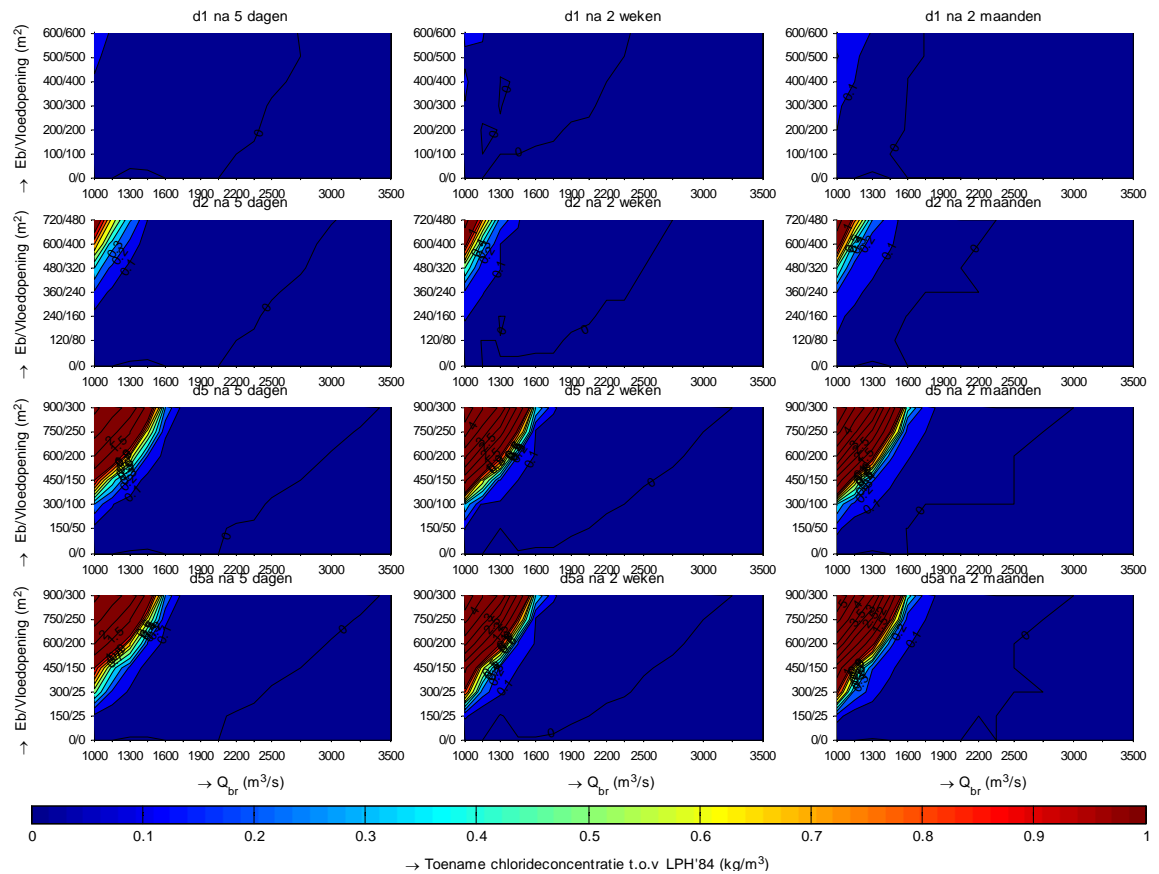
**Figuur 3.3**

Toename van de maximale chlorideconcentratie bij Middelharnis



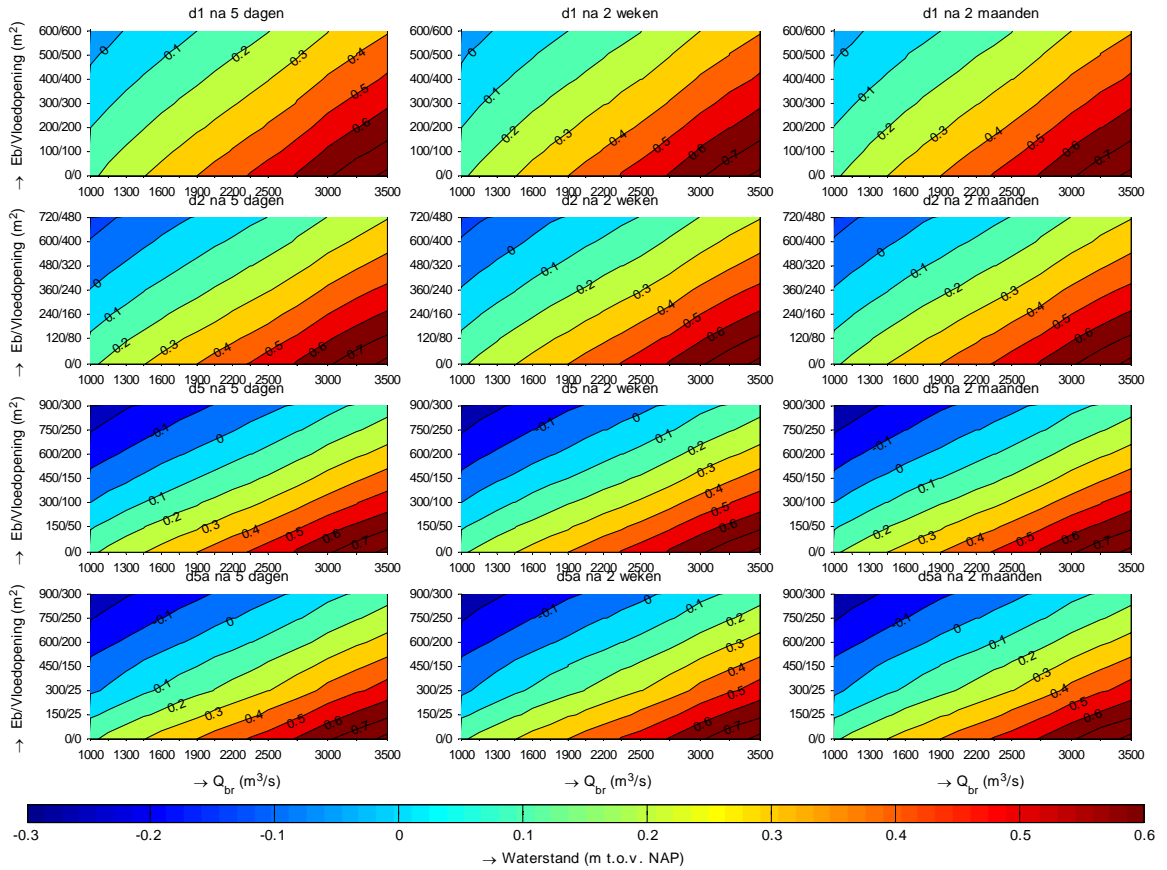
**Figuur 3.4**

Toename van de chlorideconcentratie bij Krimpen a/d IJssel

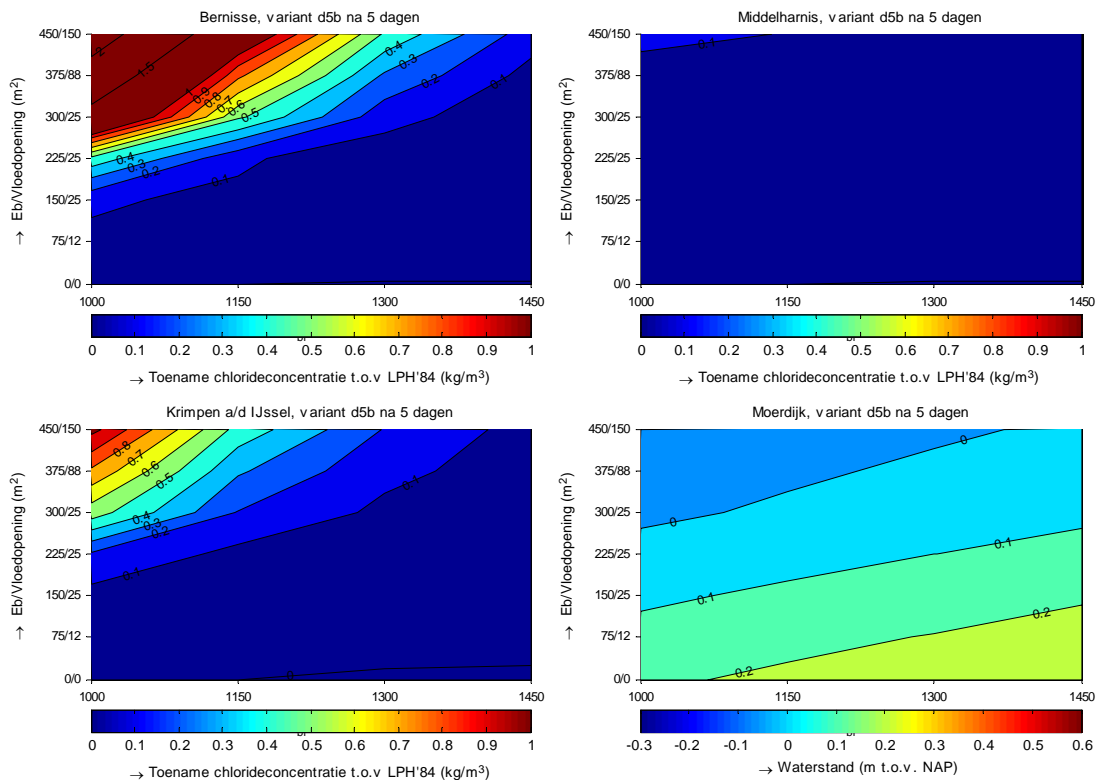




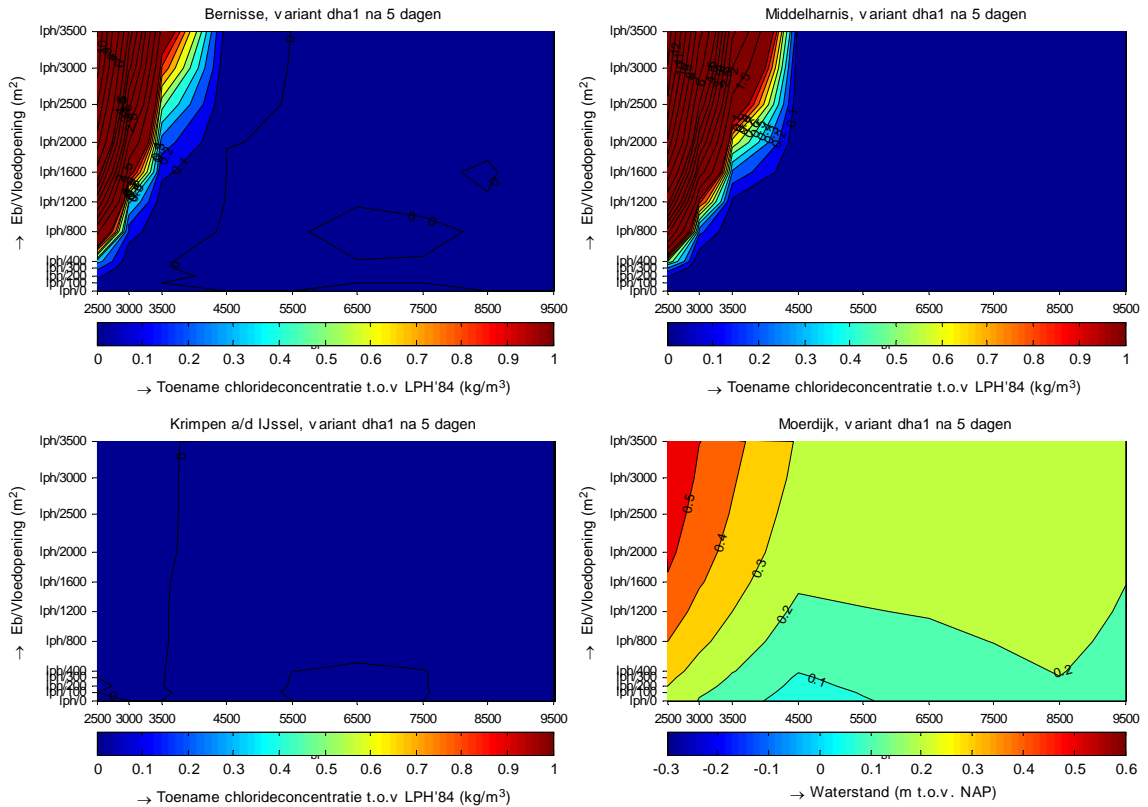
**Figuur 3.5**  
Toename van de minimale waterstand bij Moerdijk.



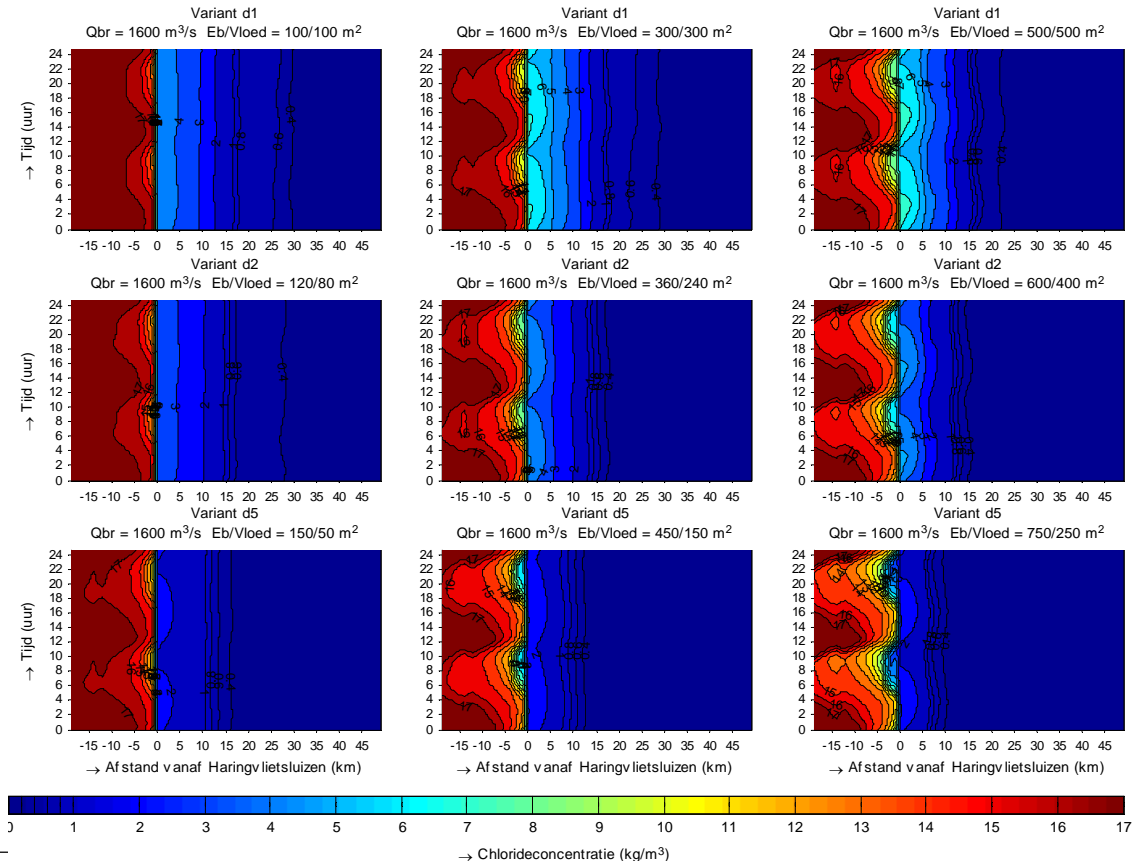
**Figuur 3.6**  
Effecten in variant d5b.



**Figuur 3.7**  
Effecten in variant dha1.



**Figuur 3.8**  
Beweging van de zoet-zout overgang in het Haringvliet gedurende het getij bij een Bovenrijnafvoer van 1600 m<sup>3</sup>/s



### 3.6 Afleiding van HOP

De eisen die aan het HOP worden gesteld kunnen in grote lijnen worden afgedekt door de volgende vier voorwaarden

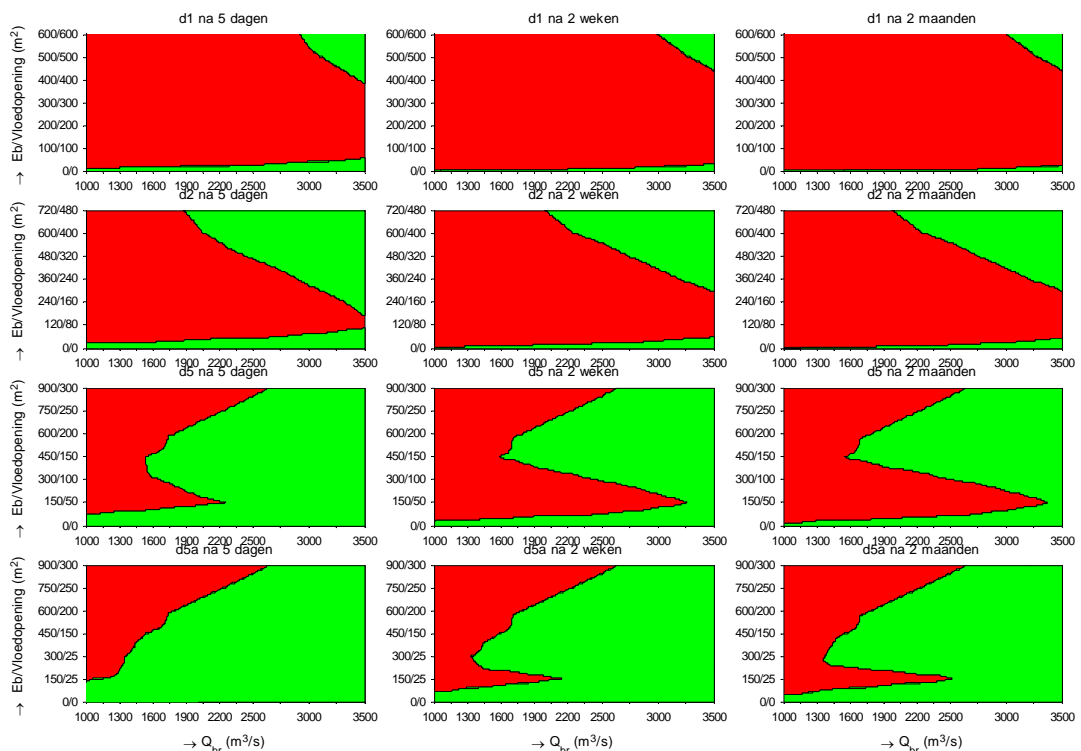
- Geen verzilting ten oosten van Middelharnis
- Geen toename van de verzilting bij de inlaat van de Bernisse aan het Spui (Zuidland)
- Geen toename van de verzilting bij de monding van de Hollandsche IJssel.
- De waterstand bij Moerdijk dient niet lager te worden dan NAP.

Deze eisen zijn gecombineerd in figuur 3.9. In het groene gebied wordt aan alle eisen voldaan. In het rode gebied wordt aan één of meer eisen niet voldaan.

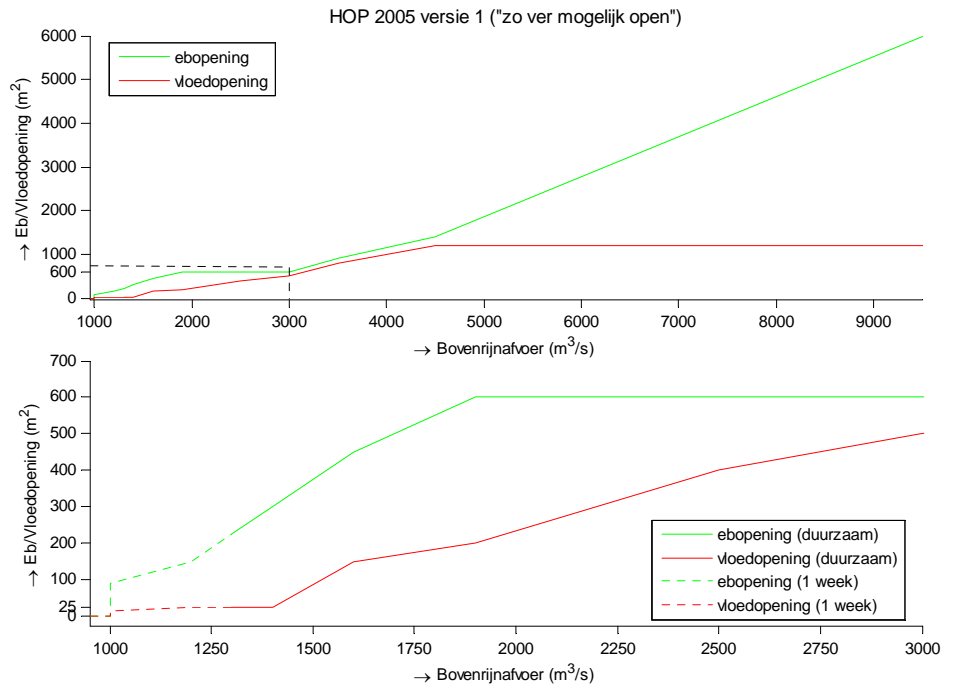
Het HOP kan nu worden vastgesteld door in figuur 3.9 bij elke afvoer een punt in het groene gebied te zoeken. Bij elk punt hoort een eb- en een vloedopening. Door deze openingen voor alle gekozen punten te verbinden tot een lijn ontstaat een bedieningsprogramma voor de Haringvlietsluizen. Bij de keuze van de punten is gezocht naar de variant waarbij de sluisen zover mogelijk open staan, zonder in het rode gebied terecht te komen. Een probleem hierbij vormt het tijdsafhankelijke gedrag van de zoutindringing in het Haringvliet. In de figuur linksonder, variant d5a na 5 dagen is het goed mogelijk een HOP-lijn te schetsen. Bij kleine spuiopeningen en lage afvoer is deze echter niet duurzaam. In de figuren in de kolommen ernaast, na 2 weken of 2 maanden, blijkt dat dan toch niet aan de eisen kan worden voldaan.

Bij het afleiden van de eerste versie van HOP2005 is dit laatste bezwaar genegeerd. Het resulterende HOP is weergegeven in figuur 3.10. De mogelijkheden voor opening van de Haringvlietsluizen bij een Rijnafvoer lager dan 1200 m<sup>3</sup>/s zijn zeer beperkt.

**Figuur 3.9**  
Zoekgebied voor HOP



**Figuur 3.10**  
HOP versie 1



---

## 4. Jaarsommen

---

### 4.1 Doelstelling

De doelstelling van de jaarsommen is het uitvoeren van een “praktijktest” met het uit de principesommen afgeleide HOP. Dit gebeurt door de resultaten van het nieuwe bedieningsprogramma te beoordelen bij toepassing op een aantal representatieve jaren uit het verleden. Aan de hand van deze beoordeling wordt het HOP in een iteratief proces bijgesteld. Zo wordt een HOP-variant verkregen die wel aan de eisen voldoet.

### 4.2 Model en randvoorwaarden

Voor de jaarsommen is gebruik gemaakt van het model HOP-H. De sommen beslaan de periode 1988 t/m 1990. Deze drie jaren zijn geselecteerd omdat zij tezamen representatief zijn voor langjarig gemiddelde omstandigheden. Wegens beperkingen van Sobek is deze periode niet in één keer doorgerekend maar gesplitst in drie delen van één jaar. De drie sommen starten niet op elkaar door. Iedere som heeft zijn eigen inspeelperiode van ruim 11 dagen in de decembermaand van het voorgaande jaar.

De in de berekeningen gebruikte randvoorwaarden zijn:

- Uurwaarden uit Donar voor het debiet op de rivierranden bij Hagestein, Tiel en Lith.
- Uurwaarden uit Donar voor de waterstand op de zeerand HA10.
- Een 10-minuten tijdreeks van Hoek van Holland uit Donar voor de waterstand op de zeerand Maasmond.
- De zouttrandvoorwaarden zijn constant. De rivierranden zijn voorzien van een zoutconcentratie van  $0.3613 \text{ kg/m}^3$  ( $200 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$ ). Bij HA10 is de constante zoutconcentratie  $34.32 \text{ kg/m}^3$  ( $19 \text{ g Cl}^-/\text{l}$ ) en bij Maasmond is deze  $30.71 \text{ kg/m}^3$  ( $17 \text{ g Cl}^-/\text{l}$ ).
- De windsnelheid is  $0 \text{ m/s}$ .
- De opening van de Haringvlietsluizen wordt gelijkelijk verdeeld over de 17 sluisen.
- Bij aanvang van de berekening is het Haringvliet volledig zoet.
- Waterstanden en zoutconcentraties worden voor een beperkt aantal locaties uitgevoerd. Deze locaties zijn opgenomen in de tabel in bijlage b.

---

### 4.3 Beoordeling van het HOP

De beoordeling van de prestaties van het HOP in de jaarsommen vindt plaats door vergelijking met jaarsommen met identieke randvoorwaarden waarin de sluizen echter bediend worden volgens LPH'84. De vergelijking tussen de jaarsommen vindt plaats door het vergelijken van relevante statistische grootheden op een aantal kenmerkende locaties.

In tabel 4.1 is beschreven welke bewerkingen op de resultaten van de jaarsommen zijn toegepast, welke statistische grootheden deze bewerkingen opleveren en welke parameters een bewerking vereist.

.....  
**Tabel 4.1**

Verklaring van de bewerkingscode.

.....  
**Code Beschrijving van de bewerking**  
.....

ON	Voor een bepaalde grootheid (bijvoorbeeld waterstand) op een gegeven locatie wordt een lijst gemaakt van alle onderschrijdingen van een bepaalde gegeven waarde. Uit deze lijst onderschrijdingen worden vier grootheden berekend: <ul style="list-style-type: none"><li>• Het aantal onderschrijdingen.</li><li>• De totale duur van alle onderschrijdingen tezamen.</li><li>• De gemiddelde onderschrijdingsduur.</li><li>• De kleinst opgetreden waarde van de betreffende grootheid</li></ul>
OV	Voor een bepaalde grootheid (bijvoorbeeld chlorideconcentratie) op een gegeven locatie wordt een lijst gemaakt van alle overschrijdingen van een bepaalde gegeven waarde. Uit deze lijst onderschrijdingen worden vier grootheden berekend: <ul style="list-style-type: none"><li>• Het aantal overschrijdingen.</li><li>• De totale duur van alle overschrijdingen tezamen.</li><li>• De gemiddelde overschrijdingsduur.</li><li>• De grootst opgetreden waarde van de betreffende grootheid</li></ul>
TOV	Voor een bepaalde grootheid op een gegeven locatie wordt een lijst gemaakt van alle overschrijdingen van een bepaalde gegeven waarde die langer duren dan een gegeven duur. Uit deze lijst onderschrijdingen worden vier grootheden berekend: <ul style="list-style-type: none"><li>• Het aantal overschrijdingen.</li><li>• De totale duur van alle overschrijdingen tezamen.</li><li>• De gemiddelde overschrijdingsduur.</li><li>• De grootst opgetreden waarde van de betreffende grootheid</li></ul>
JG	Voor een bepaalde grootheid op een gegeven locatie wordt de gemiddelde waarde over de volledige periode bepaald.
OF	Voor een bepaalde grootheid op een gegeven locatie wordt de overschrijdingsfrequentielijn berekend.
OFX	Voor een bepaalde grootheid (waterstand) op een gegeven locatie worden voor ieder getij het maximum, het minimum, het gemiddelde en het tijverschil bepaald. Van ieder van deze getijgrootheden wordt vervolgens een overschrijdingsfrequentielijn berekend.

Tabel 4.2 geeft een overzicht van de in de vergelijking onderzochte grootheden en locaties.

**Tabel 4.2**

Overzicht van locaties en grootheden.

Locatie	Sobek gridpunt	Bewer- king	Grootheid	Parameters
Moerdijk	HODI055_722.50	ON	Waterstand	0.00 m t.o.v. NAP
Moerdijk	HODI055_722.50	ON	Waterstand	-0.10 m t.o.v. NAP
Moerdijk	HODI055_722.50	ON	Waterstand	-0.20 m t.o.v. NAP
Moerdijk	HODI055_722.50	OFX	Waterstand	
Beerenplaat (Spui)	SPUI084_1736.00	TOV	Chloridegehalte	225 mg/l, 48 uur
Innamepunt Schilthuis	NIMA_Rotterdam_.00	TOV	Chloridegehalte	225 mg/l, 48 uur
Monding Hollandsche IJssel	HOIJ028_2114.00	JG	Chloridegehalte	
Inlaat Bernisse	SPUI084_12007.00	TOV	Chloridegehalte	225 mg/l, 48 uur
Inlaat Bernisse	SPUI084_12007.00	TOV	Chloridegehalte	400 mg/l, 48 uur
Haringvlietsluizen	Hvl_1	OF	Debiet	
Ridderkerk	NIMA026_1981.00	JG	Chloridegehalte	
Noodinlaat Kralingen	NIMA025_1407.00	TOV	Chloridegehalte	225 mg/l, 8 uur
Noodinlaat Kralingen	NIMA025_1407.00	TOV	Chloridegehalte	225 mg/l, 48 uur
Hevel van Rhoon/Poortugaal	OUMA_Spijkenisse_3 755.00	TOV	Chloridegehalte	225 mg/l, 48 uur
Gat van de Kerksloot	AMER061_5410.00	ON	Waterstand	0.00 m t.o.v. NAP
Middelharnis	HAVL047_1061.00	TOV	Chloridegehalte	225 mg/l, 48 uur
Gouda, Snelle Sluis	HOIJ029_3938.00	TOV	Chloridegehalte	225 mg/l, 48 uur

## 4.4 Berekeningen

### 4.4.1. Van HOP versie 1 naar versie 4

De prestaties van HOP versie 1 (figuur 3.10) zijn weergegeven in tabel 4.3.

**Tabel 4.3**

Prestaties HOP versie 1

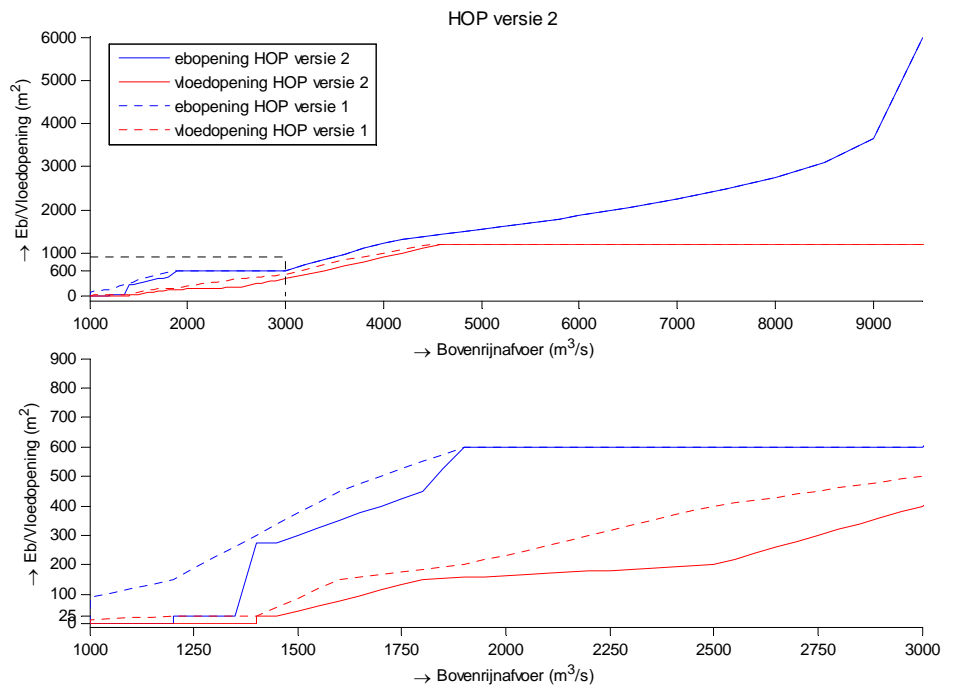
Locatie		LPH'84 HOP v1	
Moerdijk	Waterstand onder NAP	Aantal	106 449
		Totale duur (uur)	274 1278
		Gemiddelde duur (uur)	2:34 2:50
Bernisse	5%-overschrijdingswaarde achtergrondgehalte chloride met meer dan 200 mg/l gedurende meer dan 48 uur	Waterstand (m t.o.v. NAP)	0.00 -0.13
		Aantal	1 12
		Totale duur (uur)	50 1427
		Maximale duur (uur)	50 382
Monding Hollandsche IJssel	Chlorideconcentratie	Gemiddelde duur (uur)	50 119
		3-jaargemiddelde (mg Cl <sup>-</sup> /l)	
Middelharnis	Overschrijding van het achtergrondgehalte chloride met meer dan 25 mg/l gedurende meer dan 48 uur	Aantal	252 453
		Totale duur (uur)	10 16
		Maximale duur (uur)	2508 9223
		Gemiddelde duur (uur)	1025 2453
Gouda	Overschrijding van het achtergrondgehalte chloride met meer dan 25 mg/l gedurende meer dan 48 uur	Aantal	251 576
		Totale duur (uur)	13 11
		Maximale duur (uur)	3695 14232
		Gemiddelde duur (uur)	599 4582
Haringvlietsluizen	Percentage van de tijd geopend	Tijdens eb (%)	284 1294
		Tijdens vloed (%)	57 61
		Totaal (%)	1 35
			58 96

De conclusie is dat HOP versie 1 niet aan de eisen voldoet. De waterstanden bij Moerdijk zijn vaak te laag. Middelharnis, Bernisse en de Hollandsche IJssel verzilten te veel en te vaak.

Uitgaande van versie 1 is een voorzichtiger HOP opgesteld, versie 2. Deze versie is weergegeven in figuur 1.1.



**Figuur 4.1**  
HOP versie 2



In versie 2 wordt pas bij een Bovenrijnafvoer groter dan 1400 m<sup>3</sup>/s zout water ingelaten. De opening van de Haringvlietsluizen tijdens vloed is bovendien verkleind tot aan een afvoer van 4500 m<sup>3</sup>/s. De ebopening is tussen 1000 en 1900 m<sup>3</sup>/s Bovenrijnafvoer fors kleiner gemaakt. Onder de 1200 m<sup>3</sup>/s zijn de sluisen volledig gesloten, net als bij LPH'84 het geval is. Door deze wijzigingen wordt tijdens vloed minder zout binnengelaten. Doordat er bij eb flink minder gespuid wordt, zal de waterstand op Haringvliet en Hollandsch Diep minder dalen. Als neveneffect zal de debietverdeling in de Rijn-Maasmonding wijzigen. Er zal meer water via de noordrand het gebied verlaten dan in versie 1. Dit is gunstig voor de verlaging van de verzilting langs de noordrand. Voor de verzilting van het Haringvliet is dit juist ongunstig, maar deze is door de verkleining van de vloedopening al beperkt.

De prestaties van HOP versie 2 zijn weergegeven in tabel 4.4.

**Tabel 4.4**  
Prestaties HOP versie 2 ten opzichte van versie 1

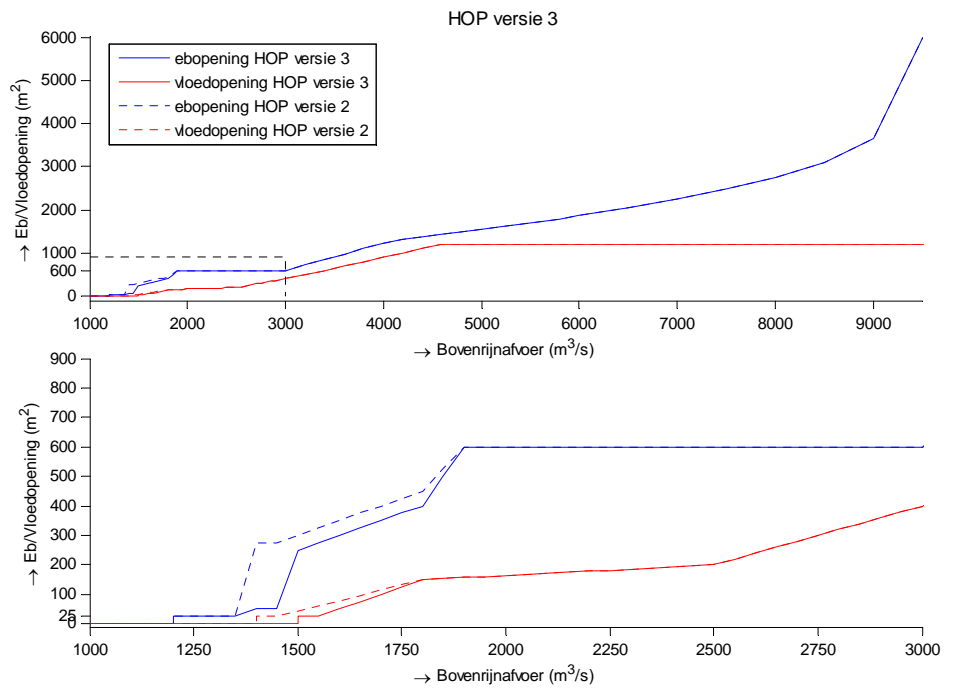
Locatie		LPH'84 HOP v1 HOP v2			
Moerdijk	Waterstand onder NAP	Aantal	106	449	336
		Totale duur (uur)	274	1278	998
		Gemiddelde duur (uur)	2:34	2:50	2:43
Bernisse	5%-onderschrijdingswaarde Overschrijding van het achtergrondgehalte chloride met meer dan 200 mg/l	Waterstand (m t.o.v. NAP)	0.00	-0.13	-0.11
		Aantal	1	12	2
		Totale duur (uur)	50	1427	138
		Maximale duur (uur)	50	382	72
Monding Hollandsche IJssel	gedurende meer dan 48 uur Chlorideconcentratie	Gemiddelde duur (uur)	50	119	69
		3-jaargemiddelde (mg Cl <sup>-</sup> /l)	252	453	303
Middelharnis	Overschrijding van het achtergrondgehalte chloride met meer dan 25 mg/l	Aantal	10	16	16
		Totale duur (uur)	2508	9223	10197
		Maximale duur (uur)	1025	2453	3587
Gouda	gedurende meer dan 48 uur Overschrijding van het achtergrondgehalte chloride met meer dan 25 mg/l	Gemiddelde duur (uur)	251	576	637
		Aantal	13	11	25
		Totale duur (uur)	3695	14232	7606
Haringvlietsluizen	Percentage van de tijd geopend	Maximale duur (uur)	599	4582	796
		Gemiddelde duur (uur)	284	1294	304
		Tijdens eb (%)	57	61	55
		Tijdens vloed (%)	1	35	25
		Totaal (%)	58	96	80

HOP versie 2 presteert aanzienlijk beter dan versie 1. Alleen de verzilting bij Middelharnis neemt toe. De prijs voor deze verbetering is een daling van de totale openingstijd van de sluisen van 96% naar 80%.

Toch zijn de verbeteringen niet groot genoeg om aan de eisen te voldoen. In versie 3 (figuur 4.2) is daarom nog een stap verder gegaan. Bij deze versie blijven de sluisen tijdens vloed tot 1500 m<sup>3</sup>/s Bovenrijnafvoer gesloten. De vloedopening is tot 1800 m<sup>3</sup>/s verder verlaagd, en ook de ebopening is tussen 1400 en 1800 m<sup>3</sup>/s verder verminderd. Door de verkleinde vloedopening wordt nog minder zout ingelaten. De verlaagde ebopening verhoogt de waterstand bij Moerdijk en vermindert de verzilting van de noordrand. Door de ebopening bij afvoeren onder de 1400 m<sup>3</sup>/s niet te verlagen wordt bereikt dat bij dalende afvoer, voor een periode dat de sluisen gedurende langere tijd gesloten blijven, er toch nog een gedeelte van het in het Haringvliet aanwezige zout wordt afgevoerd. Dit is gunstig voor de verzilting van Middelharnis en Bernisse. De verzilting op deze locaties is namelijk overwegend toe te schrijven aan dispersie van zout uit het Haringvliet tijdens volledig gesloten Haringvlietsluizen.

De prestaties van HOP versie 3 zijn weergegeven in tabel 4.5.

**Figuur 4.2**  
HOP versie 3



**Tabel 4.5**  
Prestaties HOP versie 3 ten opzichte van versie 2

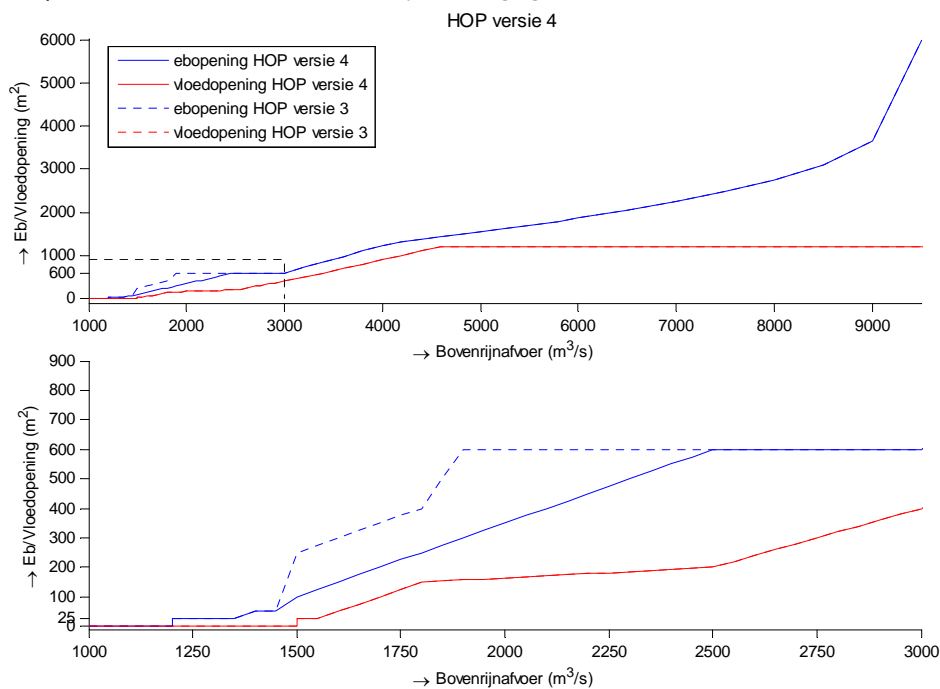
Locatie		LPH'84 HOP v2 HOP v3			
Moerdijk	Waterstand onder NAP	Aantal	106	336	313
		Totale duur (uur)	274	998	827
		Gemiddelde duur (uur)	2:34	2:43	2:38
Bernisse	5%-onderschrijdingswaarde Waterstand (m t.o.v. NAP)	Aantal	0.00	-0.11	-0.10
	Overschrijding van het achtergrondgehalte chloride met meer dan 200 mg/l	Totale duur (uur)	50	138	137
		Maximale duur (uur)	50	72	77
		Gemiddelde duur (uur)	50	69	69
Monding Hollandsche IJssel	Chlorideconcentratie	3-jaargemiddelde (mg Cl <sup>-</sup> /l)	252	303	277
Middelharnis	Overschrijding van het achtergrondgehalte chloride met meer dan 25 mg/l	Aantal	10	16	16
		Totale duur (uur)	2508	10197	11772
		Maximale duur (uur)	1025	3587	2747
Gouda	gedurende meer dan 48 uur	Gemiddelde duur (uur)	251	637	736
	Overschrijding van het achtergrondgehalte chloride met meer dan 25 mg/l	Aantal	13	25	16
		Totale duur (uur)	3695	7606	4887
		Maximale duur (uur)	599	796	674
		Gemiddelde duur (uur)	284	304	305
Haringvlietsluizen	Percentage van de tijd geopend	Tijdens eb (%)	57	55	55
		Tijdens vloed (%)	1	25	23
		Totaal (%)	58	80	78

In HOP versie 3 vermindert de verzilting langs de noordrand flink. Het op peil houden van de waterstand bij Moerdijk verbetert marginaal t.o.v. versie 2. De verzilting in het Haringvliet en bij Bernisse blijft ongeveer gelijk. De tijd dat de Haringvlietsluizen geopend zijn daalt in geringe mate tot 78% van de tijd.

Om de waterstand bij Moerdijk beter boven NAP te houden is HOP versie 4 (figuur 4.3) opgesteld. Hierin is de ebopening tussen 1400 m<sup>3</sup>/s en 1900 m<sup>3</sup>/s Bovenrijnafvoer flink verlaagd.

**Figuur 4.3**  
HOP versie 4

De prestaties van HOP versie 4 zijn weergegeven in tabel 4.6.



**Tabel 4.6**  
Prestaties HOP versie 4 ten opzichte van versie 3

Locatie			LPH'84	HOP v3	HOP v4
Moerdijk	Waterstand onder NAP	Aantal	106	313	139
		Totale duur (uur)	274	827	321
		Gemiddelde duur (uur)	2:34	2:38	2:18
Bernisse	5%-onderschrijdingswaarde achtergrondgehalte chloride met meer dan 200 mg/l gedurende meer dan 48 uur	Waterstand (m t.o.v. NAP)	0.00	-0.10	-0.02
		Aantal	1	2	45
		Totale duur (uur)	50	137	6666
		Maximale duur (uur)	50	77	595
Monding Hollandsche IJssel	Chlorideconcentratie	Gemiddelde duur (uur)	50	69	148
		3-jaargemiddelde (mg Cl <sup>-</sup> /l)	252	277	256
Middelharnis	Overschrijding van het achtergrondgehalte chloride met meer dan 25 mg/l gedurende meer dan 48 uur	Aantal	10	16	11
		Totale duur (uur)	2508	11772	16641
		Maximale duur (uur)	1025	2747	5148
Gouda	Overschrijding van het achtergrondgehalte chloride met meer dan 25 mg/l gedurende meer dan 48 uur	Aantal	13	16	13
		Totale duur (uur)	3695	4887	3898
		Maximale duur (uur)	599	674	614
Haringvlietsluizen	Percentage van de tijd geopend	Tijdens eb (%)	284	305	300
		Tijdens vloed (%)	57	55	55
		Totaal (%)	1	23	23
			58	78	78

Het voorkomen van NAP-onderschrijding is in HOP versie 4 goed geslaagd. De situatie bij LPH'84 wordt dicht benaderd. Dit gaat niet ten koste van de tijd dat de Haringvlietsluizen geopend zijn. Wel neemt de verzilting bij Middelharnis en Bernisse toe. Deze toename van de verzilting treedt op tijdens perioden van lage afvoer, als de sluisen

volledig of bijna volledig gesloten zijn. Het achtergebleven zout in het Haringvliet verspreidt zich dan vrij sterk door het dispersiemechanisme in het ééndimensionale Sobek model. De verspreiding is zo sterk, dat betwijfeld kan worden of dit onder deze omstandigheden realistisch is. Van het gedrag van het systeem onder dergelijke omstandigheden bestaan geen metingen. In §5.1 wordt een onderzoek naar dit verschijnsel met 3D-model Zeedelta beschreven.

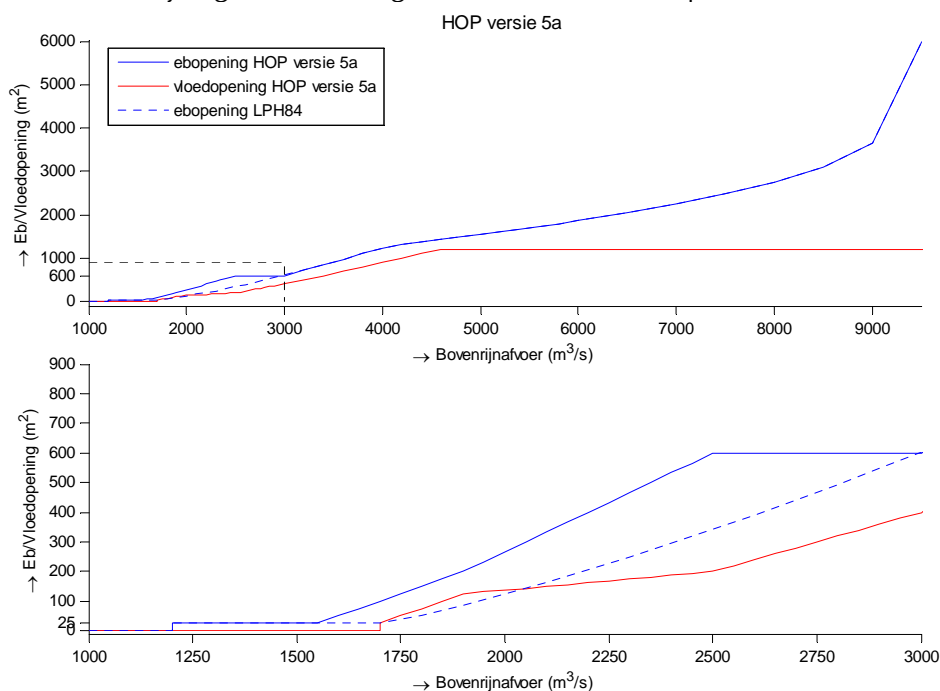
#### 4.4.2. HOP versie 5

Geen van de HOP versies 1 t/m 4 voldoet volledig aan de eisen die aan HOP2005 worden gesteld. In de versies 2, 3 en 4 wordt telkens aan een andere deelverzameling van de eisen voldaan. Bij het afleiden van HOP versie 5 is een poging gedaan een versie op te stellen waarin wel aan alle (niet ecologische) randvoorwaarden voldaan wordt, zelfs als dit vereist dat de sluisen tot bij hoge Bovenrijnafvoer dicht moeten blijven. Hiertoe zijn 5 HOP versies afgeleid, genummerd 5a t/m 5e.

##### Versie 5a

In deze versie (figuur 4.4) blijven de Haringvlietsluisen bij vloed gesloten tot een Bovenrijnafvoer van 1700 m<sup>3</sup>/s. Bij eb gaan de sluisen open volgens LPH'84 tussen een Bovenrijnafvoer van 1200 m<sup>3</sup>/s tot 1550 m<sup>3</sup>/s. Bij hogere afvoeren gaan de sluisen verder open.

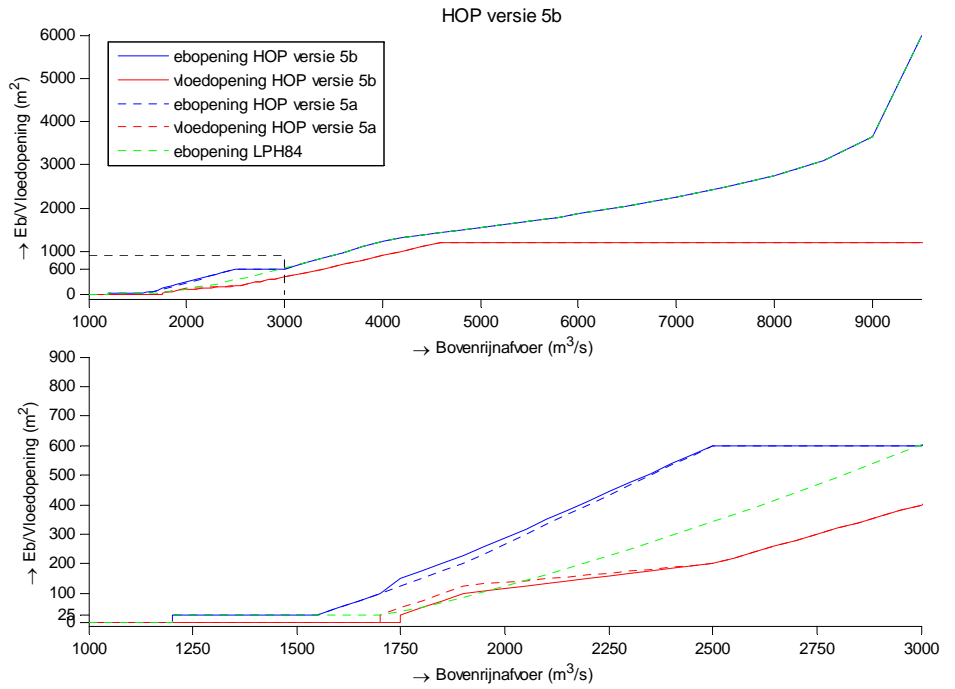
Figuur 4.4  
HOP versie 5a



##### Versie 5b

In deze versie (figuur 4.5) zijn de Haringvlietsluisen bij vloed gesloten tot 1750 m<sup>3</sup>/s Bovenrijnafvoer. Ten opzichte van versie 5a is tussen 1700 m<sup>3</sup>/s en 2500 m<sup>3</sup>/s rivierafvoer de ebopening vergroot en vloedopening verkleind.

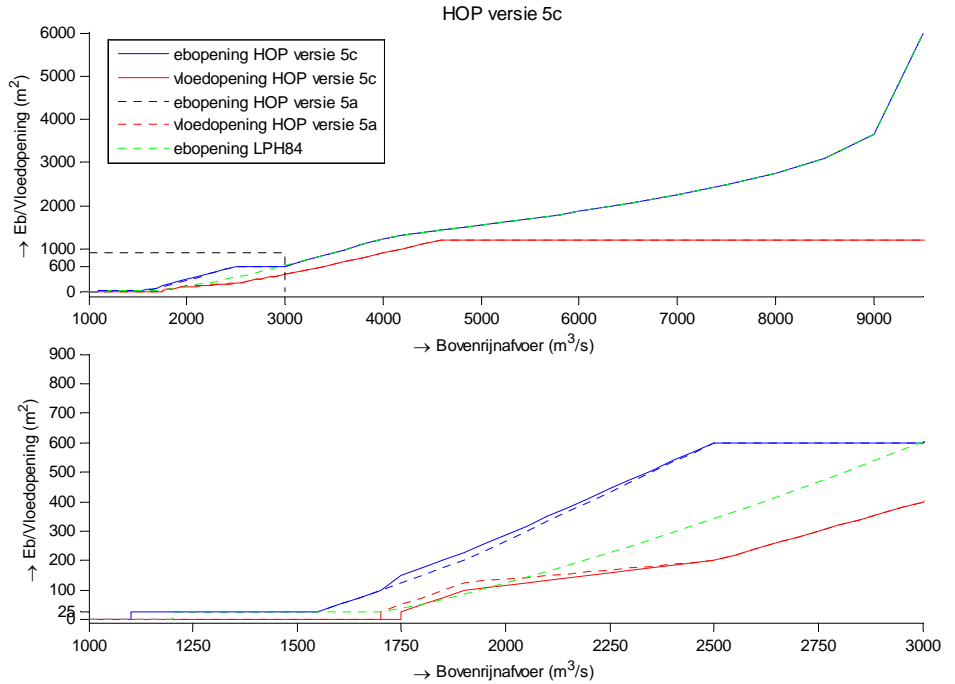
**Figuur 4.5**  
HOP versie 5b



**Versie 5c**

Deze versie (figuur 4.6) is gelijk aan versie 5b, maar de Haringvlietsluizen worden bij eb met 25 m<sup>2</sup> geopend vanaf een Bovenrijnafvoer van 1100 m<sup>3</sup>/s in plaats van 1200 m<sup>3</sup>/s.

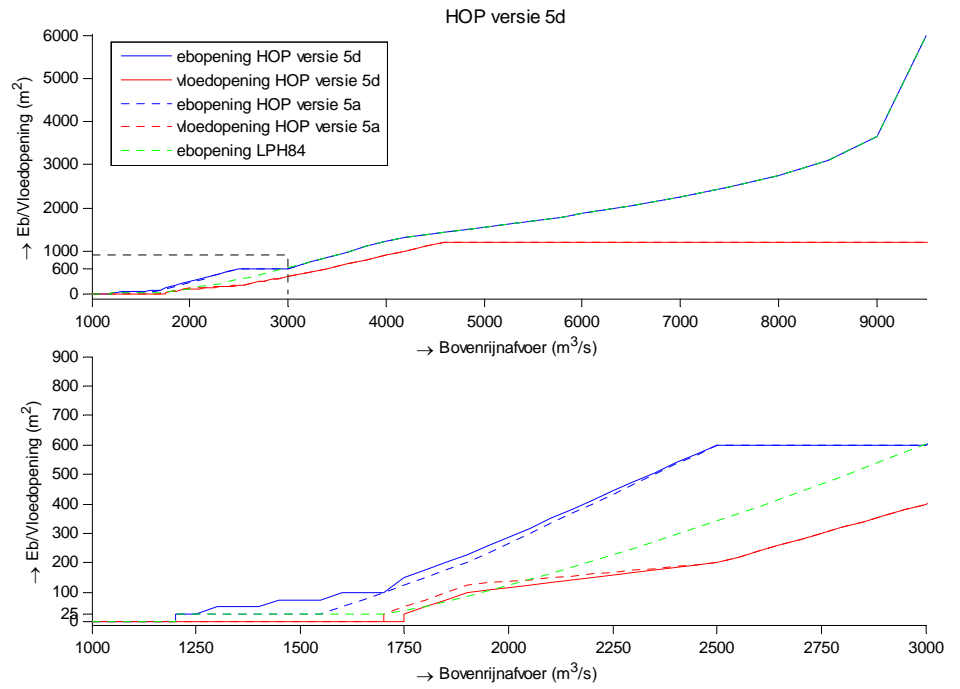
**Figuur 4.6**  
HOP versie 5c



**Versie 5d**

Deze versie (figuur 4.7) is gelijk aan versie 5b, maar de Haringvlietsluizen worden in het traject van 1300 tot 1750 m<sup>3</sup>/s Bovenrijnafvoer, als de sluisen bij vloed al gesloten zijn, bij eb verder geopend.

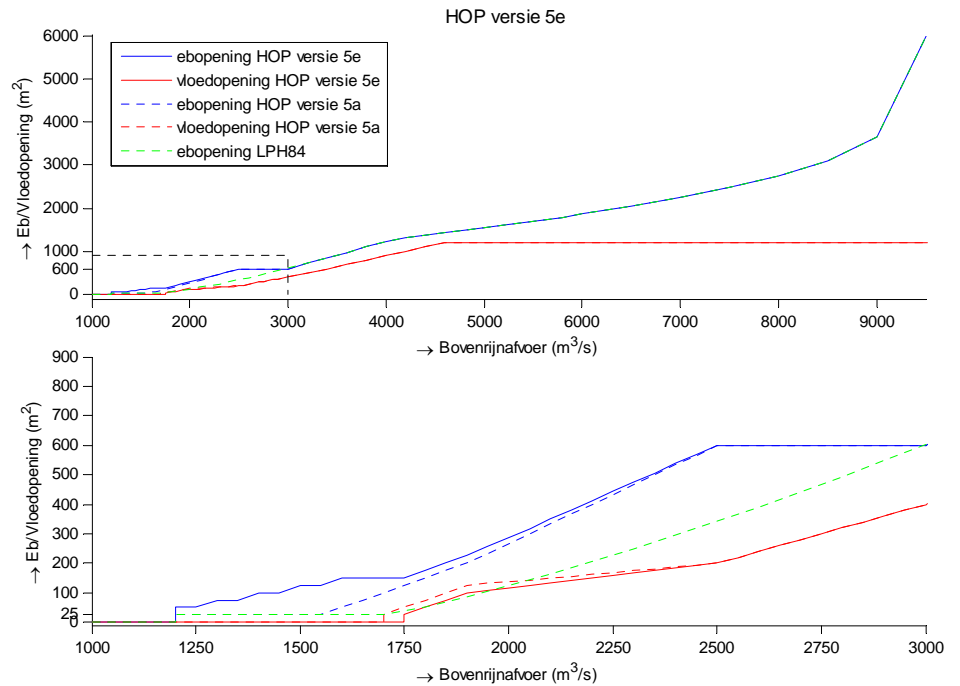
**Figuur 4.7**  
HOP versie 5d



**Versie 5e**

Ook in deze versie (figuur 4.8) worden, net als in versie 5d, de Haringvlietsluizen in het traject van 1300 tot 1750 m<sup>3</sup>/s Bovenrijnafvoer bij eb verder geopend, maar in nog sterkere mate dan bij versie 5d.

**Figuur 4.8**  
HOP versie 5e



**Evaluatie**

In tabel 4.7 zijn de prestaties van de versies 5a t/m 5e in beeld gebracht.

**Tabel 4.7**

Prestaties HOP versie 5a t/m 5e ten opzichte van versie 4

Locatie			LPH	v4	v5a	v5b	v5c	v5d	v5e		
Moerdijk	Waterstand onder NAP	Aantal	106	139	109	114	114	118	132		
		Totale duur (uur)	274	321	253	265	265	280	316		
		Gemiddelde duur (uur)	2:34	2:18	2:19	2:19	2:19	2:22	2:23		
Bernisse	5%-overschrijdingswaarde achtergrondgehalte chloride met meer dan 200 mg/l gedurende meer dan 48 uur	Waterstand (m t.o.v. NAP)	0.00	-0.02	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02		
		Aantal	1	45	33	5	6	2	1		
		Totale duur (uur)	50	6666	4499	762	712	346	110		
		Maximale duur (uur)	50	595	645	359	261	211	110		
Monding Hollandsche IJssel	Chlorideconcentratie	3-jaargemiddelde (mg Cl <sup>-</sup> /l)	252	256	253	253	255	256	263		
		Middelharnis	Overschrijding van het achtergrondgehalte chloride met meer dan 25 mg/l gedurende meer dan 48 uur	Aantal	10	11	11	15	15	17	19
				Totale duur (uur)	2508	16641	16651	15587	15614	14597	12672
Maximale duur (uur)	1025			5148	3780	3456	3483	2612	2581		
Gouda	Overschrijding van het achtergrondgehalte chloride met meer dan 25 mg/l gedurende meer dan 48 uur	Gemiddelde duur (uur)	251	1513	1514	1039	1041	859	667		
		Aantal	13	13	13	13	13	13	13		
		Totale duur (uur)	3695	3898	3780	3781	3973	3942	4203		
Haringvlietsluizen	Percentage van de tijd geopend	Tijdens eb (%)	57	55	56	56	59	56	55		
		Tijdens vloed (%)	1	23	18	18	17	17	18		
		Totaal (%)	58	78	74	74	76	73	73		

In versie 5a voldoen de waterstand bij Moerdijk en zoutindringing langs de noordrand. Bernisse is iets beter dan in versie 4, maar nog steeds erg slecht t.o.v. LPH'84. Door de hoge middenstand van het Hollandsch Diep/Haringvliet stroomt er veel zoet water via de noordrand. Het zout kan zich in het Haringvliet daardoor verder oostwaarts verplaatsen en het Spui bereiken. Bernisse lijdt daardoor aan voorwaartse verzilting.

In versie 5b voldoen de waterstand bij Moerdijk en de verzilting langs de noordrand nog steeds. De verzilting bij Bernisse is flink minder geworden, maar nog steeds te groot.

De wijziging in versie 5c t.o.v. versie 5b heeft nauwelijks enig effect.

In versie 5d verslechtert de noordrand enigszins, en daalt de waterstand bij Moerdijk, maar Bernisse verbetert verder. Het resultaat is echter nog steeds onvoldoende.

In versie 5e begint de zoutindringing langs de noordrand en de daling van de waterstand bij Moerdijk door te zetten. De situatie van Bernisse gaat er weer flink op vooruit en komt in de buurt van versie 3. Ook de verzilting bij Middelharnis verbetert in deze versie duidelijk, maar is nog steeds erg ver verwijderd van de situatie bij LPH'84. Het lijkt erop dat deze versie de dichtst mogelijke benadering is van het gezochte HOP dat aan alle eisen voldoet.



---

Een evaluatie van alle versies maakt duidelijk dat er een belangenstrijd is tussen

- Verzilting langs de noordrand en waterstand Moerdijk
- Verzilting via zuidrand
- HOP

Het blijkt dat deze drie (groepen van) belangen onderling strijdig zijn. Verbetering van één van de drie leidt altijd tot schade aan de andere twee.

### **Beschouwing**

De problemen ontstaan vaak tijdens langdurige perioden van lage afvoer. Het debiet van de Bovenrijn neemt altijd geleidelijk af en de Haringvlietsluizen gaan geleidelijk dicht, eerst bij vloed, later ook bij eb. Er ontstaat dan een situatie met een aanzienlijke hoeveelheid zout water in het Haringvliet. Dit zout kun je niet meer uit het Haringvliet wegspoelen met de nog resterende afvoer. Zodra het restdebiet door het Haringvliet klein of nul wordt, begint dit zout zich door dispersie (menging) te verspreiden door het Haringvliet en Spui. Deze dispersie is een eendimensionale benadering van verschillende mengprocessen (zoals het effect van wind, maar ook het 'uitzakken' van horizontale dichtheidsverschillen bij het wegvallen van het restdebiet). De vraag is in hoeverre het 1D model deze processen goed beschrijft. Denkbaar is dat het zout naar de diepe putten in het Haringvliet zakt (die niet in detail in de eendimensionale modelbeschrijving verwerkt zijn) en daar blijft totdat een voldoende hoge afvoer alles weer verzoet, en dat de gevolgen van dit dispersieve transport in het model overschat worden.

Anderzijds kan wellicht door sterke wind het zout zich gaan verspreiden en dan wel zo ver komen als Sobek nu berekent.

Hierbij is het goed zich te realiseren dat de zoutindringing in het Haringvliet in het gebruikte Sobek model is afgeregeld op metingen tijdens een situatie met een sluisopening van 900 m<sup>2</sup> en een Rijnafvoer van meer dan 2000 m<sup>3</sup>/s terwijl de problemen in het HOP zich bij veel kleinere sluisopeningen en Rijnafvoeren afspelen, waarvoor de afregeling wellicht minder goed voldoet.

#### *Wat kun je regelen aan het systeem ?*

Bij grote afvoeren is er geen enkel probleem en maakt het voor de verzilting weinig uit hoe de sluisen bediend worden.

Bij lage afvoeren moet de sluisopening verkleind worden om het zout niet te ver het Haringvliet op te laten komen. Belangrijker is dat door de keuze van de ongelijkheid in eb- en vloedopening zowel het restdebiet als de middenstand van het Haringvliet gewijzigd kan worden.

Als de ebopening wordt vergroot en/of de vloedopening verkleind daalt de middenstand en neemt het restdebiet toe. Dit betekent dus minder dispersie in het Haringvliet, dus de verzilting van Middelharnis neemt af. De waterstand te Moerdijk wordt lager en de zoutindringing langs de noordrand neemt toe. Het noordelijke gerichte restdebiet door het Spui neemt af of keert om in zuidwaartse richting. Bernisse krijgt hierdoor meer last van achterwaartse verzilting (Oude Maas) en minder

---

van voorwaartse (Haringvliet). In de tegenovergestelde situatie is de verzilting in Middelharnis en Bernisse door dispersie zorgelijk (maar wellicht niet realistisch), maar zijn de andere randvoorwaarden goed. HOP versie 5e zit zo dicht mogelijk tegen de eerste situatie aan. Er wordt bij lage afvoer zoveel extra zoet water naar het zuiden geleid, dat de waterstandsval bij Moerdijk en de verzilting aan de noordrand binnen de perken blijft. Door deze extra afvoer via het Haringvliet wordt het dispersie-effect bestreden, wat gunstig is voor Middelharnis en de voorwaartse verzilting van Bernisse. De achterwaartse verzilting neemt binnen redelijke grenzen toe.

#### *Waar zit er nog ruimte ?*

Er wordt in de variant 5e veel zoet water (en visintrek-tijd) verspild om dispersie te bestrijden, waarvan de vraag is of dit in de door Sobek berekende mate optreedt. Indien deze dispersie bij lage afvoer op grond van kennis, onderzoek of praktijkervaring "ongeldig" kan worden verklaard, ontstaat een hoop ruimte voor verbetering. Daarnaast is er vermoedelijk ook nog beperkte ruimte door een HOP te bedenken dat anticipeert op verwachte waterstand te Maasmond en verwachte afvoer te Lobith.

#### **4.4.3. Keuze van de beste HOP versie**

Uit de in voorgaande paragrafen doorgerekende HOP-versies blijkt dat de sluisopeningen bij eb en vloed aanzienlijk verkleind moeten worden (t.o.v. de waarden zoals die in het MER genoemd waren) om de zoutindringing, zowel via de Haringvlietsluizen als via de Nieuwe Waterweg, zoveel te beperken dat de huidige functionaliteit van de innamepunten van landbouw- en drinkwater bij toekomstig beheer van de sluisen behouden blijft. Dit gaat direct ten koste van het hoofddoel van De Kier: op korte termijn bevorderen van de migratiemogelijkheden van vis. In het overleg met de waterschappen en drinkwaterbedrijven is de huidige functionaliteit gedefinieerd als zijnde de huidige hydrodynamische situatie ( $t_0$ ), gecombineerd met een voor elk innamepunt geldende innamestrategie. In het MER was al aangekondigd dat op enkele innamepunten een toename van overschrijdingen van kritische chlorideconcentraties bij invoering van De Kier niet te vermijden was; de verwachting is uitgesproken dat, met name bij de Bernisse, dit op te vangen zou zijn door een aanpassing van de innamestrategie.

Uit de SOBEK-berekeningen blijkt nu dat, met de huidige instellingen van het model en zonder extra maatregelen, nooit op alle innamepunten aan het behoud van functionaliteit kan worden voldaan. Hierbij is alleen gekeken naar effecten op de hydrodynamische situatie; aanpassingen van de innamestrategie zijn niet meegenomen omdat

- de mogelijkheid van deze aanpassingen niet bekend is en
- omdat de waterschappen en (in mindere mate) de drinkwaterbedrijven hebben aangegeven uit te willen gaan van het stand-still beginsel: een ander beheer van de Haringvlietsluizen mag niet leiden tot een toename van het aantal overschrijdingen, tot een

toename van de gemiddelde duur van een overschrijding, noch tot een toename van de piekwaarde binnen een overschrijding. Deze onmogelijkheid tot behoud van functionaliteit wordt mede veroorzaakt door het feit dat verschillende gebruikers verschillende eisen stellen aan het sluisprogramma. Bijvoorbeeld, voor de zeescheepvaart naar Moerdijk en inname van drinkwater in de Brabantse Biesbosch is een beperking van het restdebiet door de Haringvlietsluizen gunstig (vanwege de toenemende waterstand die hiermee gepaard gaat), terwijl een toename van dit restdebiet de zoutindringing in het Haringvliet juist tegengaat, en zo de inname van landbouwwater nabij Middelharnis veilig stelt.

In de afleiding naar het optimale HOP2005 is, vanwege de in de vorige paragraaf beschreven problemen met de dispersie op het Haringvliet, de afvoer waarbij de sluisen bij vloed opengaan steeds verder opgeschoven; van 1000 m<sup>3</sup>/s bij de versie zoals die in het Kierbesluit staat naar uiteindelijk 1750 m<sup>3</sup>/s bij HOP versie 5e. Dit betekent dat de perioden waarin de sluisen bij vloed dicht staan steeds langer worden, wat de kans op zuurstofloosheid vergroot. Bovendien worden de kansen voor vismigratie uiteraard sterk verminderd, terwijl dit toch de hoofddoelstelling van een ander beheer volgens De Kier is

### Vergelijking van drie varianten

In het licht van bovenstaande beschouwingen en onzekerheden zijn de effecten van drie varianten op enkele locaties met elkaar vergeleken op basis van de procentuele verbetering of verslechtering ten opzichte van de huidige situatie (in tabel 4.8 is een verbetering aan gegeven met het plusteken, een verslechtering met een minteken). Naast deze drie varianten zijn ook de getallen gegeven voor de MER-Kier variant.

**Tabel 4.8**  
 Relatieve veranderingen van een aantal gebruiksfuncties ten opzichte van de huidige situatie (beheer volgens LPH'84) bij 4 varianten van het HOP2005

Variant	Effect op visintrek	Kans op zuurstofloosheid	Jaargem. Cl- concentratie Ridderkerk	Tot. duur van overschrijding Schilthuis 48 u 25 mg/l	Waterstand Moerdijk (totale duur <NAP)	Tot. duur van overschrijding Middelharnis 48u 25mg/l	Tot. duur van overschrijding Bernisse 48u 200mg/l	Tot. duur van overschrijding Den Bommel 48u 25mg/l
V3	++	--	-10%	-38%	-202%	-369%	-174%	-536%
V4	++*	--	-2%	-11%	-17%	-564%	-13232%	-3859%
V5e	+	---	-4%	-26%	-15%	-405%	-120%	-384%
MER	+++	-	-8%	-200%	-64%	-4812%	-25450%	geen data

\* Het percentage van de tijd waarin de sluisen openstaan is bij varianten v3 en v4 gelijk (zowel bij eb als bij vloed); de ebopeningen in variant v4 zijn echter kleiner (ten gunste van de waterstand bij Moerdijk).

De conclusie uit tabel 4.8 is dat alle varianten het in het algemeen beter doen dan in het MER voor De Kier voorspeld was, maar dat de prijs die daarvoor betaald moet worden een geringere vergroting van de migratiemogelijkheden voor vis is, in combinatie met een verhoogde kans op zuurstofloosheid. Vergelijking van de drie varianten onderling levert V5e als variant waarbij de effecten minimaal zijn. Hierbij wordt veel moeite gestopt in het terugdringen van de effecten van dispersie langs de zuidrand (Middelharnis, Bernisse en Den Bommel) ten koste

---

van een geringe verslechtering van de zoutindringing langs de noordrand (t.o.v. v4), een verdere afname van de kansen voor vismigratie en een nog grotere kans op zuurstofloosheid.

Uit de tabel blijkt indirect ook het belang van een correcte schatting van de effecten van dispersie: als deze effecten in SOBEK overdreven worden weergegeven, dan zou variant v4 wel eens de optimale variant kunnen zijn. Bovendien blijkt uit de tabel indirect dat door prioritering van gebruiksfuncties (bijvoorbeeld Moerdijk t.o.v. Bernisse en Middelharnis) de keuze van de meest optimale variant kan veranderen.

### **Conclusie**

In §5.1 wordt een vergelijkend onderzoek beschreven tussen het 1D-model Sobek en het 3D-model Zeedelta. Hieruit blijkt dat de verspreiding van zout in het Haringvliet in het 1D-model bij gesloten sluizen veel sterker is dan in het 3D-model. Dit versterkt het vermoeden dat de dispersie in het 1D-model onder deze omstandigheden onjuist is, al wordt hiermee de onzekerheid niet nul.

Bij een sterke afname van de overschrijdingen als gevolg van dispersie komt variant v4 als voorkeursvariant naar voren, omdat hierbij de effecten op de noordrand het kleinst zijn, en er enige ruimte overblijft voor vismigratie. Immers, door elke verdere beperking van de opening (grootte en tijd) raken we verder verwijderd van de uiteindelijke doelstelling van De Kier, namelijk het bevorderen van de vismigratie. Bovendien is de kans van voorkomen van een afvoer kleiner dan 1750 m<sup>3</sup>/s aanzienlijk groter dan de kans van voorkomen van een afvoer kleiner dan 1500 m<sup>3</sup>/s (37% om 25% op basis van de afvoeren van 1978 tot en met 1998), zodat bij variant v4 de kans op zuurstofloosheid ook aanzienlijk kleiner is. Variant v4 is dan ook als optimaal HOP2005 vastgesteld. Nader onderzoek is vereist om de effecten van dispersief transport beter in beeld te brengen.

## 4.5 Overig onderzoek

### 4.5.1. Vergelijking Zwendl en Sobek

Voor de MER Haringvlietsluizen zijn berekeningen gemaakt met het model Zwendl. De Zwendl schematisatie van de Rijn-Maasmonding dateert uit 1976 en is afgeregeld op waterstanden en zoutindringing via de noordrand. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de inlaatproef in maart 1997. Afregeling op zoutindringing in het Haringvliet was dus niet mogelijk.

Om een vergelijking te maken tussen de modellen Zwendl en Sobek zijn de MER berekeningen LPH en de Kier herhaald met Sobek (HOP-H). In tabel 4.9 worden de resultaten hiervan gepresenteerd.

**Tabel 4.9**  
Vergelijking tussen Zwendl en Sobek

Locatie			LPH'84 Zwendl	De Kier Zwendl	LPH'84 Sobek	De Kier Sobek	
Moerdijk	Waterstand onder NAP	Aantal	57	77	106	183	
		Totale duur (uur)	142	199	274	449	
		Gemiddelde duur (uur)	2:29	2:34	2:34	2:27	
Bernisse	5%-overschrijdingswaarde Overschrijding van het achtergrondgehalte chloride met meer dan 200 mg/l gedurende meer dan 48 uur	Waterstand (m t.o.v. NAP)	0.07	0.03	0.00	-0.04	
		Aantal	1	19	1	23	
		Totale duur (uur)	58	14819	50	16085	
		Maximale duur (uur)	58	4933	50	4946	
Monding Hollandsche IJssel Middelharnis	Chlorideconcentratie	3-jaargemiddelde (mg Cl <sup>-</sup> /l)	207	223	252	300	
		Overschrijding van het achtergrondgehalte chloride met meer dan 25 mg/l gedurende meer dan 48 uur	Aantal	1	11	10	12
		Totale duur (uur)	424	20825	2508	21267	
Gouda	Overschrijding van het achtergrondgehalte chloride met meer dan 25 mg/l gedurende meer dan 48 uur	Maximale duur (uur)	424	6034	1025	6047	
		Gemiddelde duur (uur)	424	1893	251	1772	
		Aantal	0	0	13	13	
		Totale duur (uur)	0	0	3695	6918	
Haringvlietsluizen	Percentage van de tijd geopend	Maximale duur (uur)	0	0	599	2408	
		Gemiddelde duur (uur)	0	0	284	532	
		Tijdens eb (%)			57	62	
		Tijdens vloed (%)			1	34	
		Totaal (%)			58	96	

De laagwaterstanden bij Moerdijk zijn in Sobek iets lager. De zoutindringing is in Sobek op alle locaties groter dan in Zwendl, de dispersie-effecten in het Haringvliet zijn in beide modellen ongeveer even sterk.

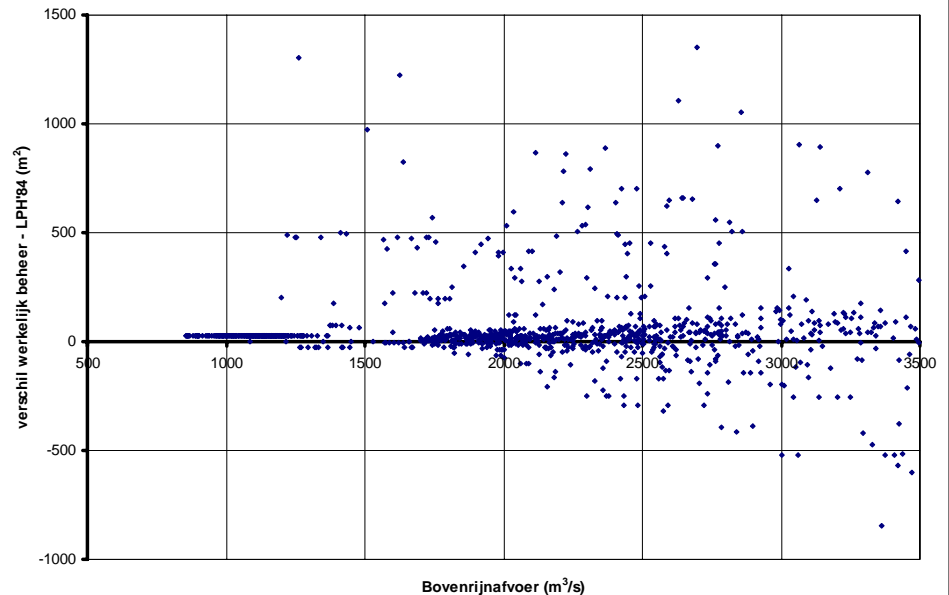
### 4.5.2. Invloed van werkelijk beheer en wind

Voor de bepaling van het effect van HOP2005 wordt in de jaarsommen de vergelijking gemaakt met de situatie waarin de Haringvlietsluizen volgens LPH'84 bediend worden. Deze referentieberekening kan echter niet zonder meer met de werkelijkheid vergeleken worden. De LPH berekening verschilt namelijk op drie punten met de werkelijkheid:

- De bediening van de Haringvlietsluizen wijkt in de praktijk vaak af van LPH'84. De aansturing van de sluizen is in de LPH-berekeningen uitgevoerd volgens het huidige lozingsprogramma LPH'84, waarin de opening van de sluizen bij eb alleen afhankelijk is van de afvoer van de Rijn bij Lobith. In de overige berekeningen is de daadwerkelijk toegepaste spuiopening voor iedere spuiperiode gebruikt. In de praktijk wordt namelijk met enige regelmaat

afgeweken van de opening zoals die door het LPH'84 wordt voorgeschreven, vaak om de waterstand bij Moerdijk op peil (lees: boven NAP) te houden, maar ook wel om andere redenen. Deze afwijkingen vertalen zich zowel in te kleine als in te grote openingen ten opzichte van LPH'84. Voor elke spuiperiode in de jaren 1988 t/m 1990 is het verschil tussen de spuioeningen volgens LPH en de werkelijk gebruikte spuioeningen bepaald. In figuur 4.9 zijn deze verschillen uitgezet tegen de tijdens de spuiperiode opgetreden Bovenrijnafvoer.

**Figuur 4.9**  
Verskil werkelijk beheer – LPH'84 in  
1988-1990 als functie van  
Bovenrijnafvoer



- Wind. Alle jaarsommen zijn uitgevoerd zonder dat in het model met interne wind wordt gerekend.
- Zoutrandvoorwaarden. De jaarsommen zijn uitgevoerd met een constante chlorideconcentratie in het door de rivieren aangevoerde water van 200 mg/l. De werkelijke chlorideconcentratie in de rivieren is variabel. Tegenwoordig is deze gemiddeld veel lager dan 200 mg/l.

### Berekeningen

Er zijn in eerste instantie vier sets berekeningen uitgevoerd. Deze berekeningen zijn gelijk wat randvoorwaarden op zee- en rivierranden betreft. Ze verschillen in een tweetal aspecten: de aansturing van de Haringvlietsluizen, en het wel of niet meenemen van de directe effecten van de wind (het indirecte effect van de wind op de waterstand op de zeeranden wordt wel in alle berekeningen op dezelfde manier meegenomen). De aansturing van de sluisen is in twee sets berekeningen uitgevoerd volgens het huidige lozingsprogramma (LPH'84, waarin de opening van de sluisen bij eb alleen afhankelijk is van de afvoer van de Rijn bij Lobith), terwijl in de andere twee sets het de daadwerkelijk toegepaste openingen per getijperiode zijn ingevoerd. Naast bovengenoemde berekeningen is er nog een vijfde set uitgevoerd, waarin de zoutrandvoorwaarden op de rivieren is aangepast, in combinatie met het werkelijk gevoerde beheer van de Haringvlietsluizen en met inbegrip van wind. Deze berekeningen

vormen de basis voor een vergelijking met metingen uit het regionale zoutmeetnet (in de Rijn-Maasmonding). In tabel 4.10 wordt een overzicht gegeven van de uitgevoerde driejaars-sommen.

**Tabel 4.10**  
Overzicht uitgevoerde berekeningen

Naam	beheer	intern	zoutrandvoorwaarden
	Haringvlietsluizen	windveld	rivierranden
LPH	LPH'84	uit	200 mg/l
LPHw	LPH'84	aan	200 mg/l
WBH	werkelijke openingen	uit	200 mg/l
WBHw	werkelijke openingen	aan	200 mg/l
WBHw+z	werkelijke openingen	aan	volgens metingen

De laatste berekening sluit het beste aan op de werkelijkheid en biedt een mogelijkheid de reproductie van het SOBEK-model te toetsen aan de werkelijkheid. De resultaten van deze toetsing zijn van belang voor een inschatting van de nauwkeurigheid van het SOBEK-model als het gaat om de juiste weergave van overschrijdingen van bepaalde waterstanden en overschrijdingen van bepaalde chlorideconcentraties. Deze onder- en overschrijdingen zijn bepalend voor de functionaliteit van innamepunten van drinkwater en landbouwwater.

Het werkelijk uitgevoerde beheer van de Haringvlietsluizen wordt vastgelegd in spuirapporten. Voor elke spuiperiode wordt in het spuirapport vastgelegd hoe ver elke sluisdeur wordt geopend, alsmede het moment van openen en van sluiten. Uit deze spuirapporten is voor elke getijperiode het totale spuioppervlak berekend. Het spuioppervlak is vervolgens omgerekend naar een hefhoogte gelijkelijk verdeeld over alle 17 sluisen.

In de berekeningen met werkelijk beheer worden de sluisen geopend en gesloten op het moment dat is aangegeven in de spuirapporten. Als op het moment dat het verval over de sluisen omkeert en het water weer naar binnen begint te stromen, de sluisen volgens het spuirapport nog niet gesloten zijn, dan worden ze in het model alsnog gesloten. Voor deze laatste toevoeging is gekozen omdat op deze wijze voorkomen wordt dat kleine waterstandsverschillen tussen werkelijkheid en model tot gevolg hebben dat er gedurende enige tijd zout water het Haringvliet instroomt.

#### **Resultaten: beheersvarianten onderling**

De resultaten van de berekeningen, alsmede van de analyse van de metingen, worden gepresenteerd in tabellen met daarin het aantal onder- of overschrijdingen van waterstanden en chlorideconcentraties. Voor de eerste vier berekeningen vindt vergelijking van de effecten vooral plaats op innamepunten van landbouw- en drinkwater. De vergelijking van de laatste set berekeningen met de metingen vindt uiteraard slechts plaats op locaties waarop gemeten is (regionaal zoutmeetnet). In bijlage c en bijlage g zijn alle resultaten in tabelvorm resp. grafieken bijgevoegd. Hier worden slechts de effecten op enkele belangrijke locaties besproken. Allereerst blijkt uit tabel 4.11 dat netto de sluisen vaker (of langer) geopend zijn als gevolg van de afwijkingen ten opzichte van LPH'84. Er wordt dus iets vaker gespuid dan

voorgeschreven wordt. Overigens zegt dit nog niets over de grootte van de opening; nadere analyse van de gegevens leert dat van de 2118 getijden in de periode 1988-1990 in 1239 gevallen is afgeweken van de door LPH'84 voorgeschreven opening (met een verschil groter dan 10 m<sup>2</sup> – de kleinere verschillen zijn uit de vergelijking weggelaten). In 272 getijden betrof het een kleinere opening (met een gemiddelde verschil van 363 m<sup>2</sup>), en in 967 getijden een grotere opening dan in LPH'84 (met een gemiddeld verschil van 128 m<sup>2</sup>). Overigens is in bijna 82% van de afwijkingen het verschil met LPH'84 kleiner dan 200 m<sup>2</sup> (groter of kleiner). In figuur 4.9 is te zien dat bij lagere afvoeren (kleiner dan 2000 m<sup>3</sup>/s) de afwijkingen veelal positief zijn (d.w.z., er wordt meer gespuid dan volgens LPH'84 zou moeten). Bij hogere afvoeren komen zowel positieve als negatieve afwijkingen voor.

**Tabel 4.11**

Percentage van de tijd dat de Haringvlietsluizen zijn geopend in de periode 1988-1990

Haringvlietsluizen		LPH	LPHw	WBH	WBHw
Geopend	%	58	58	60	60

#### *Waterstand Zuidrand*

Het effect van deze afwijkingen op de waterstand langs de Zuidrand van de Rijn-Maasmonding is merkbaar uit de vergelijking tussen de resultaten bij Moerdijk. In tabel 4.12 is zijn de details gegeven van de onderschrijdingen van een waterstand van 0 m NAP op deze locatie bij de verschillende varianten.

**Tabel 4.12**

Onderschrijdingen van een waterstand van 0 m t.o.v. NAP bij Moerdijk

Moerdijk		LPH	LPHw	WBH	WBHw
Aantal		106	109	55	63
Totale duur	uur	274	291	103	121
Gemiddelde duur	uur	02:34	02:40	01:52	01:54
Maximale onderschrijding	m	-0.45	-0.46	-0.20	-0.23

Uit de resultaten blijkt duidelijk dat gemiddeld over de drie jaren de laagwaterstanden bij Moerdijk hoger zijn als gevolg van de afwijkingen van LPH'84. Grofweg wordt het aantal onderschrijdingen van 0 m t.o.v. NAP met de helft verminderd. Er wordt weliswaar vaker teveel gespuid dan te weinig, maar de negatieve afwijkingen (kleinere opening dan in LPH'84) zijn vaak groter en bovendien zijn deze er vooral op gericht een verwachte onderschrijding de waterstand van NAP bij Moerdijk tegen te gaan. Zoals gezegd treden deze afwijkingen vooral op bij hogere afvoeren.

#### *Chlorideconcentraties*

Het feit dat de opening van de Haringvlietsluizen ingesteld wordt zodat er bij Moerdijk (in bepaalde gevallen) een bepaalde minimale waterstand wordt bereikt heeft gevolgen voor de water- en zoutbeweging in de rest van de Rijn-Maasmonding. Dit wordt bevestigd door de resultaten voor de jaargemiddelde chlorideconcentratie langs de noordrand van het gebied (de Nieuwe Maas – tabel 4.13 en tabel 4.14).



**Tabel 4.13**  
Karakteristieken van de verzilting bij Ridderkerk in de periode 1988-1990

Ridderkerk	LPH	LPHw	WBH	WBHw	
Jaargemiddelde concentratie	mg/l	225	230	233	238

**Tabel 4.14**  
Karakteristieken van de verzilting bij Kralingen in de periode 1988-1990

Noodinlaat Kralingen	LPH	LPHw	WBH	WBHw	
Aantal overschrijdingen > 25 mg/l, > 8 uur		98	97	119	122
Totale duur	uur	2229	2367	2726	2884
Gemiddelde duur	uur	23	24	23	24
Maximale duur	uur	180	181	184	184

Door afwijkingen van LPH'84 neemt de zoutindringing langs de noordrand dus in sterkte en frequentie toe. Dit heeft vooral te maken met de aard van de afwijkingen onder die omstandigheden, waarin zoutindringing sowieso optreedt, namelijk bij voldoende lage afvoeren (en eventueel een stormopzet op zee). Bij afvoeren lager dan ongeveer 2000 m<sup>3</sup>/s is in geval van afwijkingen de opening vaak groter dan voorgeschreven wordt door LPH'84 (zie figuur 1.1). Er gaat dan meer zoet water via de Haringvlietsluizen naar zee, en er blijft dus minder over om de zoutindringing via de Nieuwe Waterweg te bestrijden. Deze situaties zijn dus andere dan die, die zorgen voor een hogere waterstand bij Moerdijk.

#### Resultaten: werkelijk beheer en metingen

In deze paragraaf worden de resultaten van de laatste set berekeningen (variant WBHw+z; werkelijk beheer met wind en gemeten zouttrandvoorwaarden) vergeleken met beschikbare metingen. Deze vergelijking is voor de zoutindringing slechts uitgevoerd voor het jaar 1990, omdat er in de tijdreeks van de zoutmetingen van de jaren 1988-1989 hiaten voorkomen. Overigens zijn de berekeningen uitgevoerd met dichte Beerdam (in tegenstelling tot de eerste vier varianten die hierboven besproken zijn) om de verschillen tussen modelschematisatie en werkelijke situatie zo klein mogelijk te maken. De Beerdam is eind 1997 doorgegraven.

#### Waterstand Zuidrand

Tabel 4.15 geeft de vergelijking tussen werkelijk beheer en metingen voor de overschrijding van de waterstand 0 m t.o.v. NAP bij Moerdijk.

**Tabel 4.15**  
Overschrijdingen van een waterstand van 0 m t.o.v. NAP bij Moerdijk in de periode 1988-1990

Moerdijk	WBHw+z	Metingen	
Aantal		45	18
Totale duur	uur	91	31
Gemiddelde duur	uur	02:01	01:42
Maximale overschrijding	m	-0.21	-0.17

Hieruit blijkt dat het model de (laag-)waterstanden iets te laag weergeeft ten opzichte van de werkelijkheid. In bijlage g is in de tijdreeksen van de waterstanden bij Moerdijk voor het jaar 1990 te zien

dat onder gemiddelde omstandigheden vooral de laagwaters te laag berekend worden. Dit heeft onder andere te maken met het feit dat het model is afgeregeld op een periode in 1998 (augustus tot en met november) en in de simulatie gebruikt is voor een periode ver daarvoor; veranderingen in bodemligging etc. kunnen in de loop der jaren zorgen voor afwijkingen van het model ten opzichte van de werkelijkheid. Daarentegen worden de (laag-)waterstanden in perioden met waterstandsverhogingen (als gevolg van windopzet) wél nauwkeuriger gemodelleerd. Overigens heeft het SOBEK model van de Rijn-Maasmonding als kalibratie-eis een modelbrede weergave van de waterstanden met een gemiddelde afwijking van maximaal 5 cm (en een standaarddeviatie van nog eens 5 cm).

#### *Chlorideconcentraties*

Bij vergelijking tussen gemeten chlorideconcentraties en modelresultaten van SOBEK moet in acht genomen worden dat de modelresultaten in principe een profielgemiddelde concentratie berekenen, terwijl de metingen op één of enkele specifieke dieptes worden uitgevoerd, waarbij de meetpunten vaak langs de oever geplaatst zijn, en in de meeste gevallen de diepere lagen van de waterkolom niet bemeten.

In tabel 4.16 t/m tabel 4.18 zijn van een drietal stations langs het traject Nieuwe Maas - Noord de karakteristieken gegeven van de gemodelleerde en gemeten zoutindringing in 1990.

**Tabel 4.16**  
Karakteristieken van de zoutindringing bij Brienoordbrug in 1990

Van Brienoordbrug	WBHw+z metingen		metingen
	-2.5 m NAP		-6.5 m NAP
Aantal overschrijdingen > 25 mg/l, > 48 uur	13	9	18
Totale duur	uur 2214	972	1849
Maximale duur	uur 479	168	222
Maximale overschrijding	kg/m <sup>3</sup> 6.564	3.558	4.310

**Tabel 4.17**  
Karakteristieken van de zoutindringing bij Krimpen aan de IJssel in 1990

Krimpen aan de IJssel	WBHw+z metingen	
	-4.0 m NAP	
Aantal overschrijdingen > 25 mg/l, > 48 uur	12	2
Totale duur	uur 2167	650
Maximale duur	uur 481	373
Maximale overschrijding	kg/m <sup>3</sup> 4.792	1.899

**Tabel 4.18**  
Karakteristieken van de zoutindringing bij Alblasserdam in 1990

Alblasserdam	WBHw+z metingen	
	-2.5 m NAP	
Aantal overschrijdingen > 25 mg/l, > 48 uur	11	2
Totale duur	uur 1652	104
Gemiddelde duur	uur 401	55
Maximale overschrijding	kg/m <sup>3</sup> 4.440	0.315

Uit de tabellen blijkt dat het aantal overschrijdingen redelijk goed door het model wordt weergegeven, tenminste in het westelijk deel van het traject. Verder naar het oosten vindt een overschatting van de zoutindringing plaats. Dit is ook te concluderen uit de vergelijking van de maximale duur en de maximale concentraties. In bijlage g (figuur B7.2) zijn als voorbeeld de tijdreeksen van modelresultaten en metingen bij de Van Brienoordbrug weergegeven. Hieruit blijkt dat het model toch regelmatig kortdurende perioden van zoutindringing voorspelt, die niet in de metingen zijn terug te vinden. Deze overschrijdingen zijn te kort (minder dan een getijperiode) om meegeteld te worden in de analyse die ten grondslag ligt aan de bovenstaande tabellen.

In tabel 4.19 en tabel 4.20 zijn van een tweetal stations langs het traject Oude Maas - Spui de karakteristieken gegeven van de gemodelleerde en gemeten zoutindringing in 1990.

**Tabel 4.19**  
Karakteristieken van de zoutindringing bij Beerenplaat in 1990

<b>Beerenplaat (Oude Maas)</b>	<b>WBHw+z</b>	<b>metingen</b>
		<b>-2.0 m NAP</b>
Aantal overschrijdingen > 25 mg/l, > 48 uur	9	3
Totale duur	uur 1514	246
Maximale duur	uur 454	93
Maximale overschrijding	kg/m <sup>3</sup> 14.462	12.744

**Tabel 4.20**  
Karakteristieken van de zoutindringing bij inlaat Bernisse in 1990

<b>Spui (inlaat Bernisse)</b>	<b>WBHw+z</b>	<b>metingen</b>
		<b>-3.0 m NAP</b>
Aantal overschrijdingen > 25 mg/l, > 48 uur	9	1
Totale duur	uur 1473	58
Maximale duur	uur 469	58
Maximale overschrijding	kg/m <sup>3</sup> 11.874	12.102

Ook hier geldt dat het SOBEK model de werkelijkheid overschat. Echter, meer nog dan bij de vergelijking langs de noordrand (in tabel 4.16 t/m tabel 4.18) geldt hier dat de positie van de meetapparatuur in sterke mate de vergelijking bemoeilijkt. De bodem in de Oude Maas en Spui ter hoogte van de meetstations ligt op respectievelijk ongeveer 12 en 8 meter diepte ten opzichte van NAP; de chlorideconcentraties worden dus bovenin de waterkolom gemeten, waarbij opgemerkt dient te worden dat in dit traject zoutindringing vaak in gelaagde vorm voorkomt (zouttong langs de bodem). In figuur g.3 van bijlage g zijn de tijdreeksen van chlorideconcentraties bij het inlaatpunt Bernisse (in het Spui) weergegeven. Ook hier geldt een overschatting van het aantal malen dat zoutindringing vanuit zee optreedt (zoals bij de Van Brienoordbrug), al worden moment en duur van de perioden waarin de metingen een sterke zoutindringing laten zien redelijk goed benaderd.

### Conclusies

Er vinden regelmatig afwijkingen plaats in het spuibeheer van de Haringvlietsluizen ten opzichte van het standaardprogramma LPH'84.

---

Deze afwijkingen kunnen resulteren in zowel meer als minder spuidebiet dan ten opzichte van het debiet dat zou optreden bij toepassing van LPH'84. Analyse van het werkelijk beheer in de jaren 1988 tot en met 1990 laat zien dat teveel spuien juist bij lagere afvoeren voorkomt, terwijl te weinig spuien (ten gunste van de waterstand bij Moerdijk) voornamelijk voorkomt bij afvoeren hoger dan 2000 m<sup>3</sup>/s). De effecten van deze afwijkingen zijn op basis van modelberekeningen vastgesteld en resulteren in:

- een toename van de zoutindringing langs de noordrand (voornamelijk bij lagere afvoeren);
- een toename van de laagwaterstanden bij Moerdijk (voornamelijk bij gemiddeld tot hogere afvoeren).

Daarnaast zijn voor het jaar 1990 modelberekeningen en metingen met elkaar vergeleken, om een inschatting te verkrijgen van de reproductienauwkeurigheid van het 1D model SOBEK-NDB ten aanzien van waterstanden en chlorideconcentraties. Uit deze vergelijking volgt dat:

- de (laag-)waterstanden bij Moerdijk door het model iets te laag worden berekend (orde 5 cm),
- de chlorideconcentraties langs het oostelijk deel van de noordrand (oostelijk deel van de Nieuwe Maas en langs de Noord) en in de Oude Maas en Spui door het model enigszins overschat worden.

Echter, vergelijking van metingen en modelresultaten wordt bemoeilijkt door het feit dat het model profielgemiddelde gegevens uitvoert, terwijl de metingen op specifieke locaties (zowel in het dwarsprofiel als in de diepte van de rivier) bepaald worden.

#### **4.5.3. De Spleet**

De Spleet is een zeer beperkte variant van de Kier waarbij de functionaliteit van het innamepunt Zuiderdiep wordt behouden. Dit is het dichtst bij de Haringvlietsluizen gelegen innamepunt. Invoering van de Spleet in plaats van de Kier is dan mogelijk zonder dat de kosten van het verplaatsen van de innamepunten in het westelijk deel van het Haringvliet gemaakt hoeven te worden.

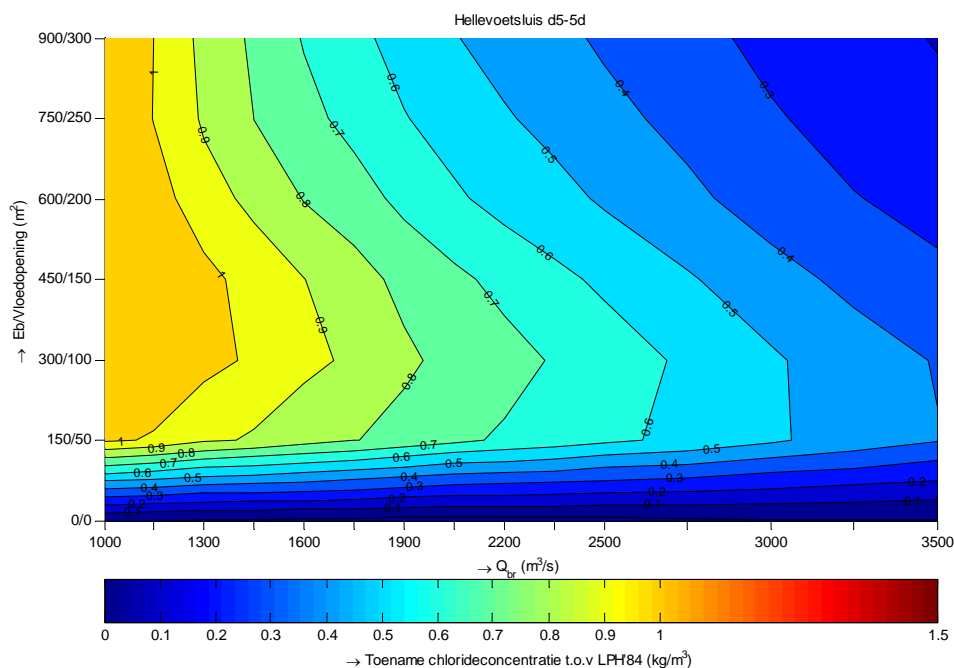
Het Zuiderdiep ligt recht tegenover Hellevoetsluis. In het Sobek model is dit hetzelfde punt in dezelfde tak. In het vervolg wordt dus gebruik gemaakt van de uitvoer voor Hellevoetsluis.

De principesommen voor Hellevoetsluis, uitgevoerd met het Sobekmodel HOP-D, leveren in de voor de zoutindringing in het Haringvliet meest gunstige varianten (d5 resp. d5a) de resultaten in de figuren 4.10 (d5) en 4.11 (d5a).

Beide figuren gelden voor de niet stabiele situatie 5 dagen na het openen van de sluisen. De figuren van de stabiele situatie zijn nog ongunstiger.

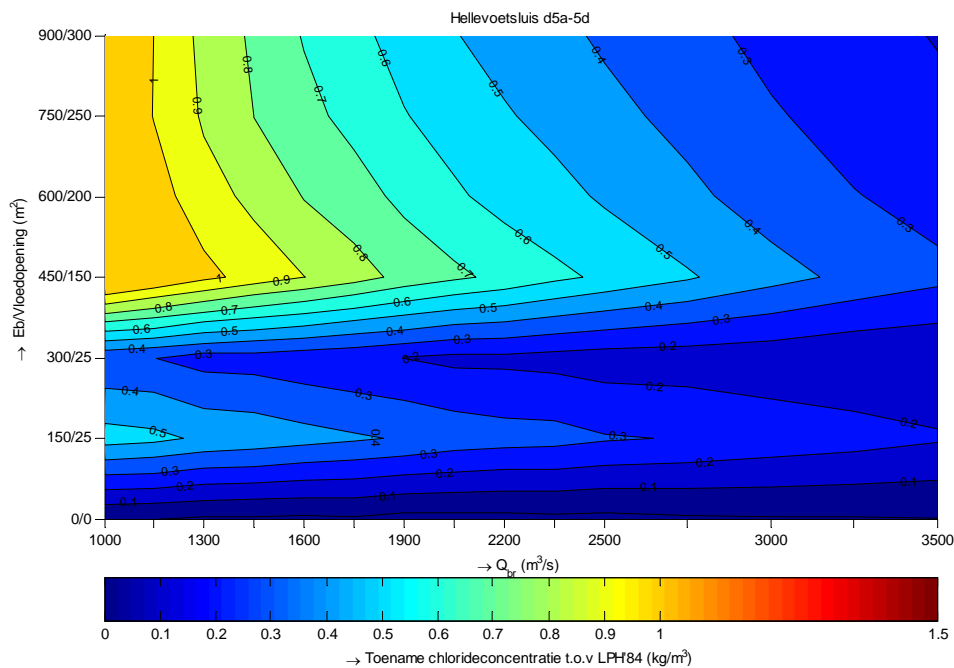
**Figuur 4.10**

Toename van de chlorideconcentratie bij Hellevoetsluis in de variant d5 ten opzichte van LPH'84 5 dagen na opening van de sluisen



**Figuur 4.11**

Toename van de chlorideconcentratie bij Hellevoetsluis in de variant d5a ten opzichte van LPH'84 5 dagen na opening van de sluisen



Op basis van het uitgangspunt dat het (dieptegemiddelde) chloridegehalte maximaal 100 mg/l mag toenemen volgt uit de figuren dat bij vloed tussen 1000 en 3500 m<sup>3</sup>/s Bovenrijnafvoer een sluisopening van tussen de 5 en 10 m<sup>2</sup> mogelijk is. De minimale toegestane opening van de Haringvlietsluizen is 25 m<sup>2</sup>. Dit betekent dat de Haringvlietsluizen bij afvoeren onder de 3500 m<sup>3</sup>/s bij vloed gesloten zullen moeten blijven. De mogelijkheden voor de Spleet zijn dus beperkt tot afvoeren boven de 3500 m<sup>3</sup>/s. In de praktijk zijn dit afvoergolven dit slechts enkele keren per jaar voorkomen.

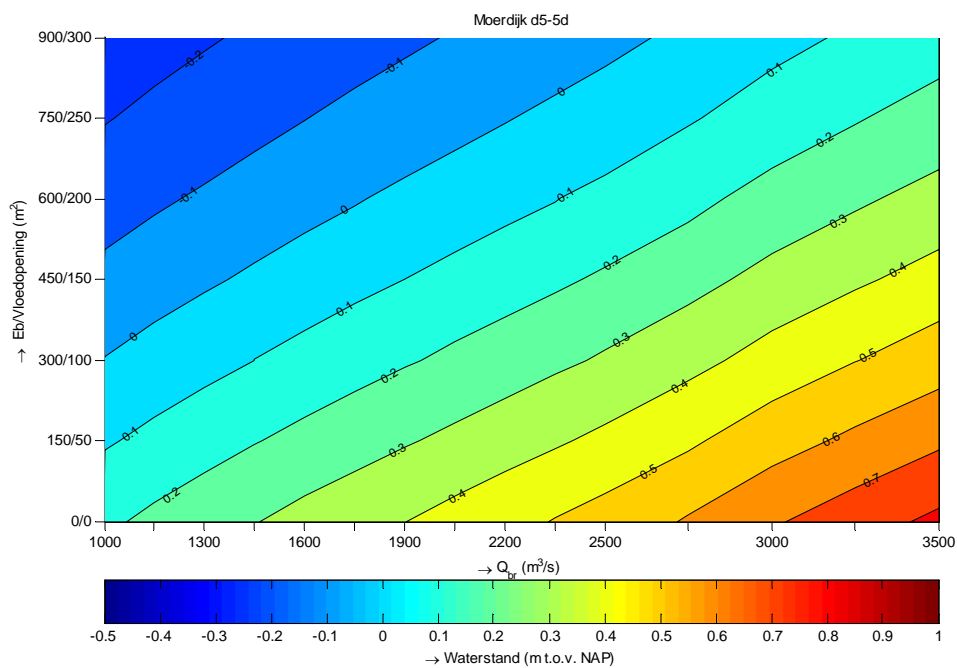
Kanttekeningen bij deze conclusie:

- Bij de Spleet zal sprake zijn van kleine sluisopeningen. Het vermoeden bestaat dat de huidige versie van het Sobek model in deze situaties een te hoge dispersie laat zien. Het gevolg is dat het zout zich in het model te ver over het Haringvliet verspreidt. In een model met lagere dispersie zal het zout dichterbij de sluis blijven. Aangezien het Zuiderdiep niet ver van de sluis ligt, is nog onbekend of dit voor deze locatie gunstig (zoeter) of ongunstig (zouter) uitpakt.
- Een ééndimensionaal model rekent een dieptegemiddelde concentratie uit. Innamepunten nemen water in uit de bovenste 1 of 2 meter van de waterkolom. Als het systeem bij de Spleet voldoende gelaagd is, zijn er misschien meer mogelijkheden dan het Sobek model aangeeft. Er is dan uiteraard een groter risico op ernstige verzilting als de gelaagdheid door windstromingen verminderd wordt.

Als, gezien deze laatste kanttekening, de toelaatbare toename van de dieptegemiddelde chlorideconcentratie wat hoger wordt gesteld, rond de 200 mg Cl<sup>-</sup>/l dan volgt uit de figuur dat van een afvoer van 1750 m<sup>3</sup>/s de sluisen geopend kunnen worden met 300 m<sup>2</sup> bij eb en 25 m<sup>2</sup> bij vloed.

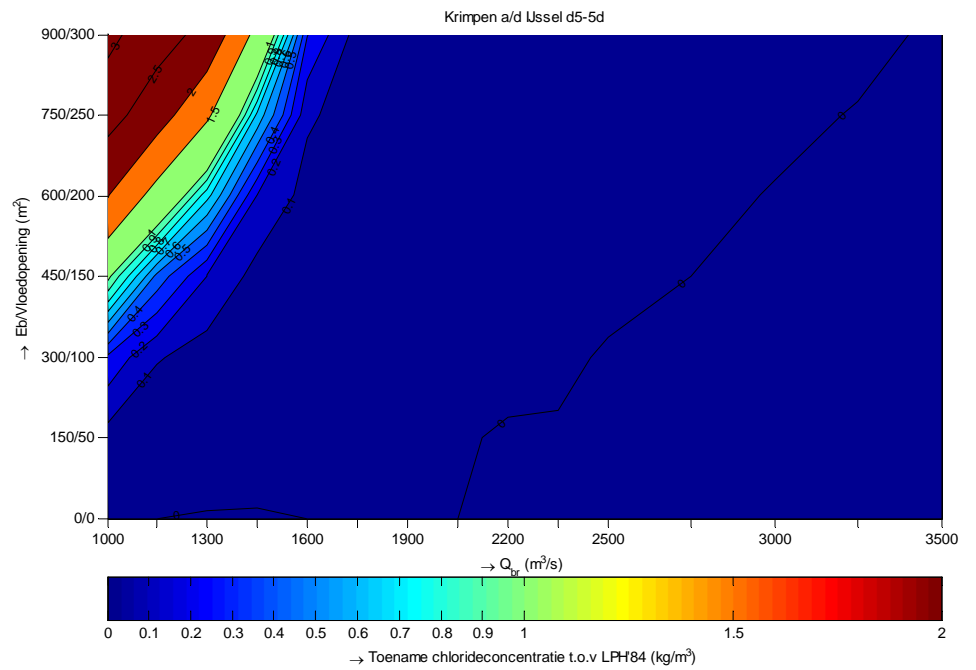
De andere eisen die aan het HOP worden gesteld vormen bij de Spleet geen probleem. De waterstand bij Moerdijk (figuur 4.12) blijft boven NAP, de monding van de Hollandsche IJssel (figuur 4.13) blijft zoet. Ook bij de inlaat van de Bernisse (figuur 4.14) treden geen verziltingsproblemen op.

**Figuur 4.12**  
Effecten van de Spleet op de waterstand bij Moerdijk



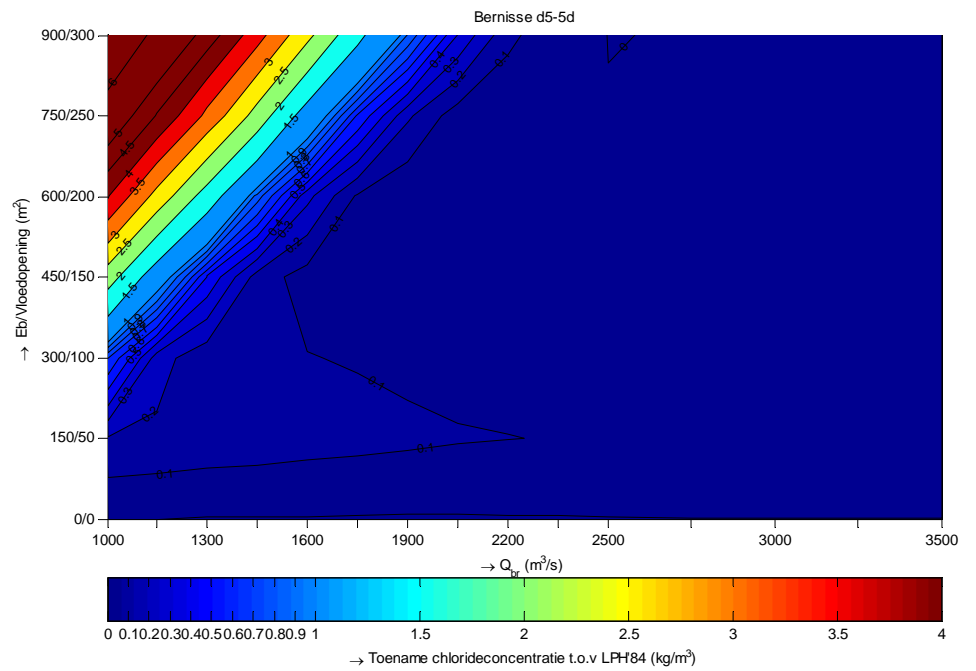
**Figuur 4.13**

Effecten van de Spleet op de chlorideconcentratie bij Krimpen aan de IJssel



**Figuur 4.14**

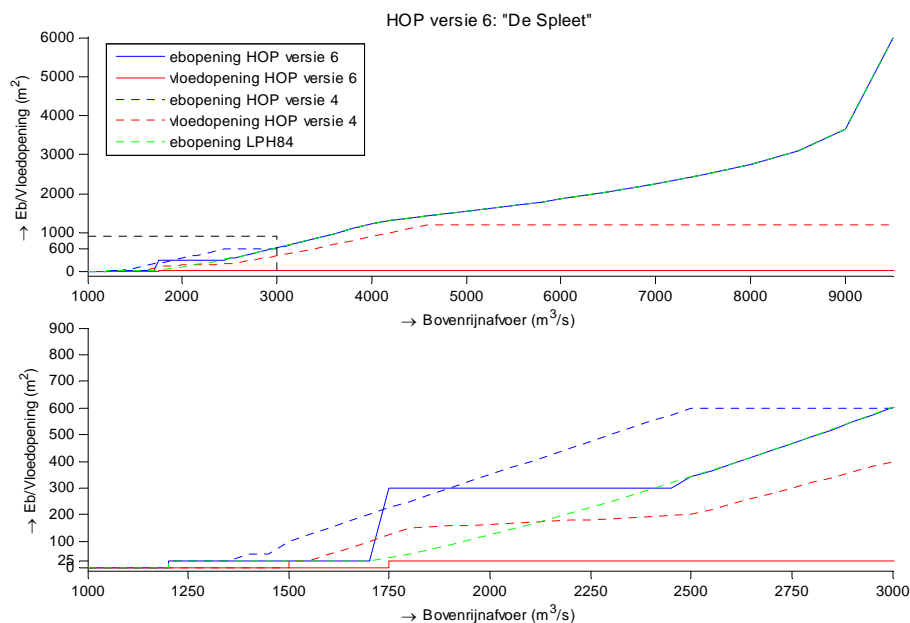
Effecten van de Spleet op de chlorideconcentratie bij de inlaat van de Bernisse



In de "praktijk" van een jaarsom kan dit anders uitvallen. Daarom zijn de jaarsommen uitgevoerd met een nieuwe HOP versie 6 (de Spleet). De sluisopeningen van deze versie zijn weergegeven in figuur 4.15. Ter vergelijking zijn ook de openingen van HOP versie 4 in deze figuur toegevoegd.

De resultaten van de met de Spleet berekende jaarsommen zijn weergegeven in tabel 4.21.

**Figuur 4.15**  
HOP versie 6: "De Spleet"



**Tabel 4.21**  
Prestaties van HOP versie 6 (De Spleet)

Locatie			LPH'84	HOP v4	HOP v6
Moerdijk	Waterstand onder NAP	Aantal	106	139	124
		Totale duur (uur)	274	321	335
		Gemiddelde duur (uur)	2:34	2:18	2:42
Bernisse	5%-onderschrijdingswaarde	Waterstand (m t.o.v. NAP)	0.00	-0.02	-0.02
	Overschrijding van het achtergrondgehalte chloride met meer dan 200 mg/l gedurende meer dan 48 uur	Aantal	1	45	1
		Totale duur (uur)	50	6666	97
		Maximale duur (uur)	50	595	97
Gemiddelde duur (uur)	50	148	97		
Monding Hollandsche IJssel	Chlorideconcentratie	3-jaargemiddelde (mg Cl/l)	252	256	253
Middelharnis	Overschrijding van het achtergrondgehalte chloride met meer dan 25 mg/l gedurende meer dan 48 uur	Aantal	10	11	16
		Totale duur (uur)	2508	16641	11313
		Maximale duur (uur)	1025	5148	1958
		Gemiddelde duur (uur)	251	1513	707
Gouda	Overschrijding van het achtergrondgehalte chloride met meer dan 25 mg/l gedurende meer dan 48 uur	Aantal	13	13	13
		Totale duur (uur)	3695	3898	3762
		Maximale duur (uur)	599	614	599
		Gemiddelde duur (uur)	284	300	289
Haringvlietsluizen	Percentage van de tijd geopend	Tijdens eb (%)	57	55	56
		Tijdens vloed (%)	1	23	17
		Totaal (%)	58	78	73

De waterstand bij Moerdijk en de verzilting bij de monding van de Hollandsche IJssel en bij Bernisse zijn goed. Bij het Zuiderdiep treedt maximaal 200 mg/l verzilting op. Aangezien Sobek dieptegemiddelde chloridegehalten berekend, is de verwachting dat in een gelaagd systeem de bovenste waterlaag bij het innamepunt altijd zoet zal blijven.

De conclusie is dan ook dat de variant van de Spleet mogelijk lijkt. Misschien is zelfs een iets verdergaande variant wel mogelijk. Dit vereist



---

echter nauwkeuriger kennis over de snelheid waarmee het zout zich in het Haringvliet zal verspreiden en de mate van gelaagdheid van het systeem.

Een mogelijke ecologisch gunstiger implementatie voor de Spleet zou eruit kunnen bestaan dat de sluisen bij vloed altijd gesloten zijn, maar dat rond kentering één sluis gedurende korte tijd (een half uur?) een flink stuk wordt geopend (enkele meters?). De hoeveelheid zout water die dan wordt binnengelaten is dan wellicht ook zo gering dat dit bij het Zuiderdiep niet tot problemen leidt. Deze variant is niet verder onderzocht.

Een mogelijk beperking is de technische randvoorwaarde dat de hefhoogte van twee aangrenzende sluisdeuren niet meer dan 2.50 m mag verschillen. Bij een onderzoek van deze variant zal dus ook moeten worden onderzocht of wellicht deze randvoorwaarde voor de stromingscondities zoals deze rond kentering optreden kan worden afgezwakt.

#### **4.5.4. (Half) getemd getij**

Het uiteindelijke doel van het project Ander Beheer Haringvlietsluizen was, bij het uitkomen van de MER in 1998, het invoeren van getemd getij. HOP2005 kan beschouwd worden als een tussenstap op weg naar deze doelstelling.

Belangrijke eisen aan HOP2005 zijn het niet verder verzilten van het innamepunt bij de Bernisse aan het Spui en de Hollandsche IJssel.

Indien bij getemd getij de monding van de Hollandsche IJssel wel mag verzilten, dan vormt de monding van de Lek, niet zoveel verderop het volgende knelpunt.

De vraag is dus of het mogelijk is bij de invoering van getemd getij of een variant daarvan aan de volgende eisen te voldoen:

- Geen verdere verzilting van de inlaat Bernisse
- Geen verdere verzilting van de monding van de Lek

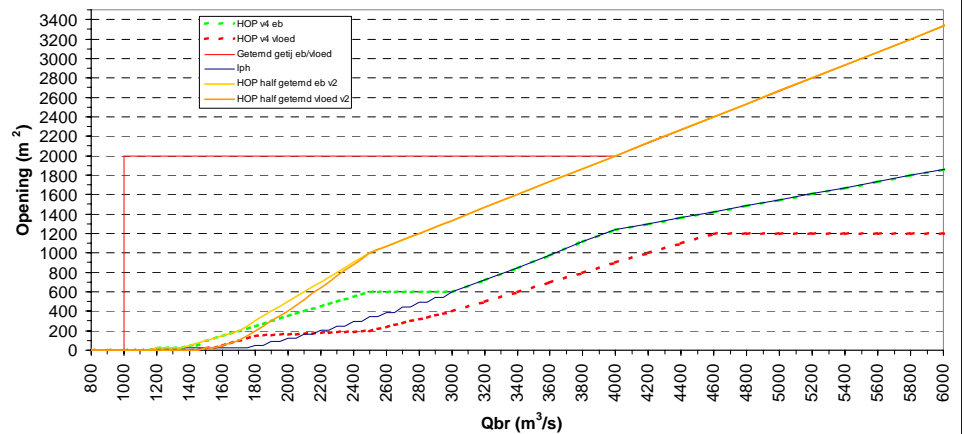
Er zijn twee jaarsommen 1988-1990 uitgevoerd met het Sobek HOP-model versie H.

- Berekening met getemd getij zoals gebruikt in de MER, code GG-v0.
- Berekening met *half* getemd getij, code HGG-v1.

De variant half getemd getij is tot een Bovenrijnafvoer van 1700 m<sup>3</sup>/s gelijk aan HOP versie 4. Bij grotere afvoer worden grotere eb- en vloedopeningen gebruikt. De ebopening blijft hierbij steeds wat groter dan de vloedopening. Het verschil tussen eb- en vloedopening neemt langzaam af bij toenemende afvoer. Boven een Bovenrijnafvoer van 4000 m<sup>3</sup>/s is deze variant gelijk aan getemd getij. In figuur 4.16 zijn de openingen bij de verschillende sluisprogramma's weergegeven.

Bovenstaande berekeningen zijn vergeleken met LPH'84 en HOP versie 4.

**Figuur 4.16**  
Getemd getij en half getemd getij



### Verzilting Lek

De verzilting aan de monding van de Lek is beoordeeld aan de hand van de Sobek-resultaten bij het zoutmeetstation Kinderdijk. Voor elke variant is het aantal malen geteld dat het achtergrondgehalte overschreden wordt met meer dan 25 mg/l gedurende een periode langer dan 48 uur.

**Tabel 4.22**  
Karakteristieken van de zoutindringing bij Kinderdijk in de periode 1988-1990

Kinderdijk	LPH'84	HOP-v4	GG-v0	HGG-v1
Aantal overschrijdingen	2	3	21	3
Totale overschrijdingsduur (uur)	170	230	3414	230

Zowel bij HOPv4 als bij Half Getemd Getij neemt de verzilting bij Kinderdijk ten opzichte van LPH'84 nauwelijks toe. Bij Getemd Getij treedt veel vaker verzilting op.

### Verzilting Bernisse

De verzilting bij Bernisse is moeilijker te beoordelen, daar dit station in het Sobek model bij alle varianten waarbij zout water op het Haringvliet wordt ingelaten, last heeft van een forse dispersie van zout uit het Haringvliet, die in werkelijkheid hoogstwaarschijnlijk niet of in mindere mate op zal treden.

Om de effecten van deze dispersie enigszins uit te filteren is ervoor gekozen voor elke variant het aantal malen te tellen dat het achtergrondgehalte wordt overschreden met meer dan 200 mg/l gedurende een periode langer dan 48 uur.

**Tabel 4.23**  
Karakteristieken van de zoutindringing bij Bernisse in de periode 1988-1990

Bernisse	LPH'84	HOP-v4	GG-v0	HGG-v1
Aantal overschrijdingen	1	45	48	23
Totale overschrijdingsduur (uur)	50	6666	6320	7518

HOP versie 4 presteert volgens tabel 4.22 wat betreft verzilting bij Bernisse erg veel slechter dan LPH'84. Uit tijdreeksfiguren van de zoutindringing blijken dit allemaal langdurige overschrijdingen te zijn in perioden van lage afvoer en dus hoge dispersie. De verzilting is dan zo hoog dat de bovengenoemde grens van 200 mg/l wordt overschreden. Een verdere verhoging van de grens van 200 mg/l is echter niet

toelaatbaar. Dit heeft namelijk tot gevolg dat ook perioden met achterwaartse verzilting worden uitgefilterd.

Bij (half) getemd getij neemt de ernst van de verzilting (qua overschrijdingsduur) niet verder toe ten opzichte van HOP versie 4. Door de grotere sluisopeningen vermindert het dispersie-effect in Sobek zodanig dat dit het effect van extra zout op het Haringvliet compenseert.

De achterwaartse verzilting is in tijdreeksfiguren te herkennen aan korte pieken in het zoutgehalte. Deze verzilting is altijd binnen één of enkele getijden weer verdwenen. De invoering van HOP 2005 of (half) getemd getij heeft over de hele periode 1988-1990 geen negatief effect op de achterwaartse verzilting. In sommige omstandigheden verbetert de situatie t.o.v. LPH'84. In andere omstandigheden verslechtert deze.

De verzilting bij Bernisse die in werkelijkheid op zal treden, wordt dus voornamelijk bepaald door de voorwaartse verzilting. Deze is op basis van deze berekeningen niet te beoordelen.

### Waterstand Moerdijk

De waterstand bij Moerdijk wordt beoordeeld aan het aantal malen dat deze onder NAP komt.

**Tabel 4.24**

Karakteristieken van de waterstand bij Moerdijk in de periode 1988-1990

Moerdijk	LPH'84	HOP-v4	GG-v0	HGG-v1
Aantal overschrijdingen van NAP	106	139	1673	430
Totale overschrijdingsduur (uur)	274	321	6527	1105
Gemiddelde laagwaterstand (m)	0.31	0.27	-0.17	0.19

Aan het streven de waterstand bij Moerdijk boven NAP te houden kan bij (half) getemd getij niet meer worden voldaan. De totale overschrijdingsduur bij half getemd getij is vier keer langer dan in de huidige situatie. De gemiddelde laagwaterstand daalt met 12 cm.

### Getijslag

Een belangrijke doelstelling van getemd getij is het herstel van het getij.

**Tabel 4.25**

Karakteristieken van de getijslag bij Moerdijk in de periode 1988-1990

Moerdijk	LPH'84	HOP-v4	GG-v0	HGG-v1
5% overschrijdingswaarde (m)	0.64	0.74	1.29	1.11
50% overschrijdingswaarde (m)	0.31	0.34	1.02	0.37
95 % overschrijdingswaarde (m)	0.18	0.20	0.70	0.20

In de variant half getemd getij is er geen herstel van het getij onder dagelijkse omstandigheden. Alleen bij hogere afvoer treedt een duidelijke toename van de getijslag op.

### Conclusie

- Er treedt geen toename van de achterwaartse verzilting bij de inlaat van de Bernisse op bij invoering van HOP versie 4 of (half) getemd getij.
- Er treedt geen verzilting van de monding van de Lek op bij HOP versie 4 en half getemd getij, wel bij getemd getij.

- 
- De laagwaterstanden Moerdijk dalen flink bij (half) getemd getij.
  - Er is geen winst in getijslag onder dagelijkse omstandigheden bij half getemd getij.
  - Voor een goede beoordeling van het risico op voorwaartse verzilting bij de inlaat van de Bernisse zijn Zeedelta berekeningen waarschijnlijk beter geschikt. De uitkomsten van de 'dispersiecontrole-berekening' (§5.1) wijzen uit de verspreiding van zout in het Haringvliet bij kleine openingen van de Haringvlietsluizen waarschijnlijk veel lager is dan het Sobek model berekent.

---

## 4.6 Berekeningen HOP-I

Met het op zoutindringing via de zuidrand afgeregelde HOP-I Sobek model zijn 3 jaarsommen 1988-1990 uitgevoerd waarbij de Haringvlietsluizen werden bediend volgens:

- LPH
- HOPv4
- HOPv4 met zoetspoelen van 180 Mm<sup>3</sup>

In onderstaande paragraaf worden de gebruikte zoetspoelinstellingen beschreven.

### 4.6.1. Zoetspoelberekening voor de HOPi4-180 jaarsommen

Het onderzoek naar zoetspoelen dat heeft geresulteerd in het hierna beschreven zoetspoelvoorschrift wordt beschreven in §5.2 en §5.3.

#### Algoritme zoetspoelen

Er wordt zoetgespoeld zodra de actuele afvoer bij Lobith onder de 1500 m<sup>3</sup>/s daalt en de verwachting is dat de afvoer tenminste 7 dagen onder de 1500 m<sup>3</sup>/s zal blijven. Indien het moment van onderschrijding van de grens van 1500 m<sup>3</sup>/s middenin een spuiperiode valt, dan wordt zoetgespoeld vanaf het begin van de betreffende spuiperiode.

Na het zoetspoelen treedt het bedieningsprogramma volgens HOP versie 4 buiten werking. Er wordt geen water via de Haringvlietsluizen ingelaten. Zolang de afvoer bij Lobith zoals deze 24 uur voorafgaand was boven de 1200 m<sup>3</sup>/s blijft, wordt nog wel gespuid met (niet meer dan) 25 m<sup>2</sup>.

Zodra de actuele afvoer bij Lobith weer boven de 1500 m<sup>3</sup>/s stijgt en de verwachting is dat de afvoer tenminste 7 dagen boven de 1500 m<sup>3</sup>/s zal blijven wordt weer begonnen de sluisen volgens HOP versie 4 te besturen. Is de verwachting dat de afvoer binnen 7 dagen weer lager dan 1500 m<sup>3</sup>/s wordt, dan wordt alleen gespuid met een spuiopening van maximaal 25 m<sup>2</sup>.

Het doel van het zoetspoelen is het naar zee afvoeren van een groot deel van het in het Haringvliet aanwezige brakke water. De resterende hoeveelheid brak water moet zo klein zijn dat dit bij opmenging met het zoete water geen bedreiging vormt voor de functionaliteit van de innamepunten. Dit doel wordt bereikt indien 180 Mm<sup>3</sup> water uit het Haringvliet naar zee wordt gespuid.

Er wordt zoetgespoeld gedurende 6 spuiperioden. De spuiopening neemt in deze 6 spuiperioden stapsgewijs af vanaf 750 m<sup>2</sup>. Er wordt ongeveer gespuid met achtereenvolgens 750 m<sup>2</sup>, 500 m<sup>2</sup>, 400 m<sup>2</sup>, 300 m<sup>2</sup>, 150 m<sup>2</sup>, 100 m<sup>2</sup>. Bij elke zoetspoelperiode worden de spuiopeningen echter aangepast aan de omstandigheden, zodanig dat een totaal ebvolume door de sluisen wordt bereikt dat dicht bij de beoogde 180 Mm<sup>3</sup> uitkomt.

#### De jaren 1988-1990

In de jaren 1988-1990 treden 11 perioden van lage afvoer op (tabel 4.25), waarvoor zoetspoelen volgens bovenbeschreven aanpak toegepast dient te worden.

**Tabel 4.26**

Overzicht van de droge perioden en de gevolgde zoetspoelstrategie

Jaar	Periode	Aanvang	Einde	Duur dag	Spoelstrategie m <sup>2</sup>	Spoelvol. Mm <sup>3</sup>
1988	1	13 augustus	2 september	20	750/400/400/250/150/100	178.4
1988	2	28 september	9 oktober	10	750/500/300/300/100/25	183.6
1988	3	4 november	30 november	26	750/500/400/400/150/100	178.6
1989	1	29 januari	18 februari	21	750/400/400/300/150/50	177.1
1989	2	15 juni	6 juli	21	750/500/500/400/300/150	177.4
1989	3	21 juli	4 augustus	14	750/400/400/350/150/75	171.6
1989	4	18 augustus	3 november	77	750/400/400/300/150/50	179.1
1989	5	13 november	17 december	33	750/500/400/250/100/25	179.9
1990	1	5 januari	25 januari	20	750/450/300/300/100/25	175.8
1990	2	3 mei	8 juni	36	750/500/400/300/150/50	182.4
1990	3	26 juli	1 november	98	750/500/400/300/150/50	182.0

#### 4.6.2. Resultaten

De prestaties van HOP versie 4 met zoetspoelen zijn weergegeven in tabel 4.26. De verzilting langs de zuidrand neemt sterk af. Met name de situatie bij Bernisse verbetert sterk. De verslechtering langs de noordrand is zeer beperkt.

**Tabel 4.27**

Prestaties HOP versie 4 met zoetspoelen (180 Mm<sup>3</sup>) ten opzichte van versie 4

Locatie		LPH'84 HOP v4 HOP v4 zs180			
Moerdijk	Waterstand onder NAP	Aantal	106	139	139
		Totale duur (uur)	274	321	377
		Gemiddelde duur (uur)	2:34	2:18	2:42
Bernisse	5%-overschrijdingswaarde Overschrijding van het achtergrondgehalte chloride met meer dan 200 mg/l	Waterstand (m t.o.v. NAP)	0.00	-0.02	-0.03
		Aantal	1	45	2
		Totale duur (uur)	50	6666	164
		Maximale duur (uur)	50	595	97
Monding Hollandsche IJssel	gedurende meer dan 48 uur Chlorideconcentratie	Gemiddelde duur (uur)	50	148	82
		3-jaargemiddelde (mg Cl <sup>-</sup> /l)	252	256	268
Middelharnis	Overschrijding van het achtergrondgehalte chloride met meer dan 25 mg/l	Aantal	10	11	22
		Totale duur (uur)	2508	16641	13056
		Maximale duur (uur)	1025	5148	2404
		Gemiddelde duur (uur)	251	1513	593
Gouda	Overschrijding van het achtergrondgehalte chloride met meer dan 25 mg/l	Aantal	13	13	14
		Totale duur (uur)	3695	3898	4357
		Maximale duur (uur)	599	614	615
		Gemiddelde duur (uur)	284	300	311
Haringvlietsluizen	Percentage van de tijd geopend	Tijdens eb (%)	57	55	56
		Tijdens vloed (%)	1	23	21
		Totaal (%)	58	78	77

#### 4.6.3. Automatisch zoetspoelen

Het bewerkelijk en iteratieve proces van automatisch zoetspoelen is sinds maart 2005 grotendeels geautomatiseerd. De werkwijze voor automatisch zoetspoelen is beschreven in bijlage j.

## 5. Overige berekeningen

### 5.1 Dispersietest

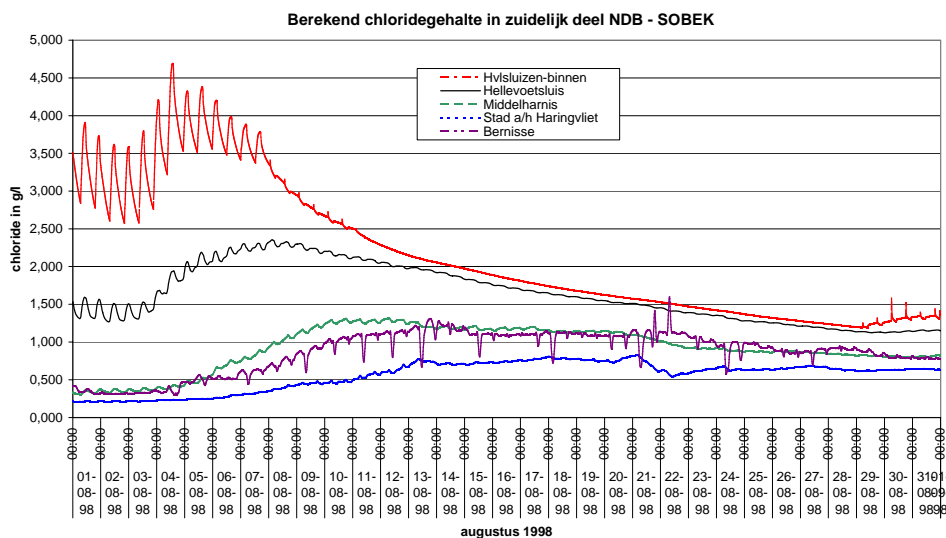
#### Algemeen

Binnen de Productgroep HOP2005 vindt de ontwikkeling plaats van het bedieningsprogramma HOP2005. Volgens dit programma zullen de sluizen na invoering van de Kier worden bediend. Het programma geeft voor verschillende rivierafvoeren bij Lobith de bijbehorende eb- en vloedopeningen. Bij het afleiden van het HOP is gebruik gemaakt van een tweetal waterbewegingsmodellen van de Rijn-Maasmonding: het SOBEK-NDB model (1D) alsmede het Zeedelta-model (3D). Het SOBEK model is ingezet voor de globale bepaling van de sluisopeningen in het HOP. Door middel van principesommen is een eerste versie van het HOP afgeleid. Vervolgens heeft een nadere afregeling plaatsgevonden door het HOP te toetsen aan de randvoorwaarden uit het Kierbesluit voor de drie werkelijk opgetreden jaren 1988 t/m 1990. Dit heeft uiteindelijk geresulteerd in HOP-versie 4. Het Zeedelta-model is ingezet voor de verificatie en controle van deze SOBEK-berekeningen. Deze paragraaf richt zich op de resultaten van de met Zeedelta uitgevoerde controleberekeningen t.b.v. SOBEK.

#### Probleemstelling

Bij het met SOBEK afleiden van het globale HOP aan de hand van de jaarsommen is geconstateerd dat wanneer de sluizen als gevolg van een lage rivierafvoer tijdens vloed gesloten worden (en er dus geen zout water meer via de sluizen naar binnenkomt), er een oostwaarts transport plaatsvindt van het reeds in het Haringvliet aanwezige zoute water. Dit transport is dusdanig dat het zout voorbij de lijn monding Spui-Middelharnis geraakt. Figuur 5.1 toont dit verschijnsel voor een periode in augustus 1998.

**Figuur 5.1**  
Verspreiding van zout in het Haringvliet tijdens een periode van lage afvoer.



---

In deze periode is het afvoerverloop dusdanig, dat de sluisen vanaf 8 augustus 0:00 uur tijdens vloed volledig gesloten zijn. Vanaf dat moment komt er geen zout water meer via de sluisen het Haringvliet binnen. Te zien is dat het zoute water dat reeds in het Haringvliet aanwezig was op het moment dat de sluisen tijdens vloed werden gesloten, zich oostwaarts is gaan verplaatsen. Het zout komt zelfs voorbij Bernisse in het Spui en ten oosten van Stad a/h Haringvliet.

Het belangrijkste mechanisme voor dit transport in het SOBEK model is de dispersie. De dispersie wordt in hydrodynamische modellen gebruikt om verspreidingsprocessen in rekening te brengen die niet gemodelleerd zijn. In een 1D model als SOBEK is een kleiner deel van verspreidingsprocessen in de fysische werkelijkheid gemodelleerd dan in een 3D model. Om deze reden speelt de dispersie in een 1D model een grotere rol in de modellering van zoutindringing.

De verwachting is dat de afstand waarover het zout zich volgens de SOBEK-modelberekening oostwaarts heeft verplaatst onder de geschetste omstandigheden, niet in overeenstemming is met wat in werkelijkheid zal optreden. Het vermoeden bestaat dat de dispersie in SOBEK wordt overschat.

De dispersie wordt in SOBEK geformuleerd in de Thatcher-Harleman formulering. De dispersiecoëfficiënt in SOBEK luidt:

$$D = a + b \cdot S_x + c / Q_{eb}$$

waarin a, b, en c constanten zijn.  $S_x$  is de horizontale zoutgradiënt en  $Q_{eb}$  is het ebvolume. Gezien het feit dat SOBEK een 1D-model is zijn enkele belangrijke fysische processen die een 3D-karakter hebben, op vereenvoudigde wijze verdisconteerd in deze dispersiecoëfficiënt. In een 3D-model (zoals Zeedelta) worden deze fysische processen daarentegen expliciet gemodelleerd. Er bestaan geen zoutmetingen waarmee dit vermoeden omtrent de overschatting van de dispersie kan worden onderzocht. Er is daarom voor gekozen om de dispersie in SOBEK te controleren m.b.v. Zeedelta. De verwachting is namelijk dat het door Zeedelta berekende zouttransport onder invloed van dispersie realistischer is dan voor SOBEK.

### **Doelstelling**

Het doel van onderhavig onderzoek is om middels een Zeedelta-berekening te onderzoeken of in SOBEK het door dispersie veroorzaakte oostwaartse zouttransport in het Haringvliet wordt overschat. Indien vast komt te staan dat door SOBEK de dispersie daadwerkelijk wordt overschat, zal aangegeven worden wat de consequenties hiervan zijn voor het HOP.

### **Aanpak**

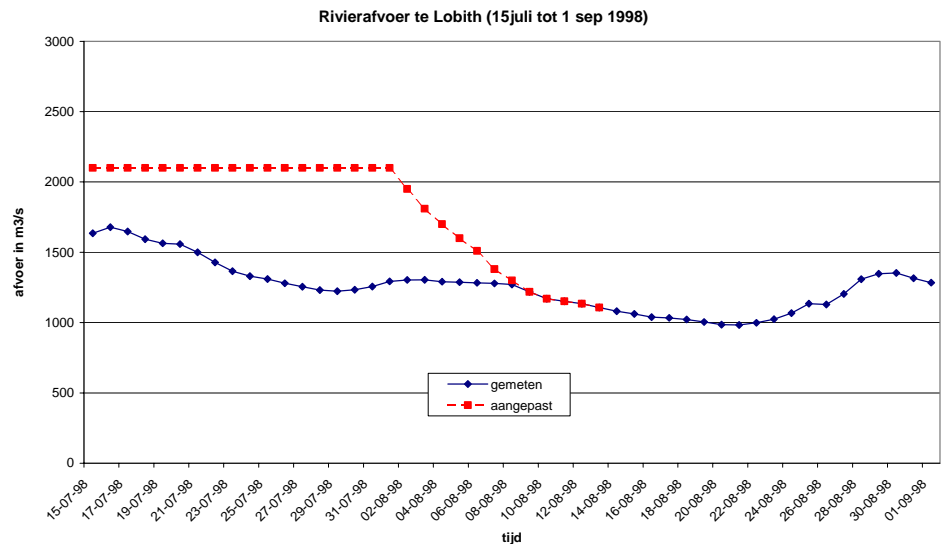
Teneinde de dispersie in SOBEK te controleren, is met SOBEK en Zeedelta een principesom gemaakt voor de periode 15 juli t/m 31 augustus 1998. De berekeningen zijn uitgevoerd met Sobek model HOP-H (§2.2) en Zeedelta-versie 7. Hieronder worden de verschillende modelrandvoorwaarden in de principesom beschreven.



- **afvoerverloop**

In deze principesom wordt uitgegaan van een afvoerverloop, dat afwijkt van de werkelijk gemeten afvoer bij Lobith. Het in de berekening gehanteerde afvoerverloop is middels de rode lijn weergegeven, de werkelijk opgetreden afvoer wordt weergegeven door de blauwe lijn. Uitgaande van HOP-versie 4 gaan vanaf 8 augustus 0.00 uur de sluisen dicht gedurende de vloedperiodes. Vanaf 11 augustus 0.00 uur is de afvoer dusdanig laag geworden, dat de sluisen ook gedurende de ebperiode gesloten zijn.

**Figuur 5.2**  
Bovenrijnafvoer in de periode 15 juli tot 1 september 1998



- **zoutrandvoorwaarde op de zeerand**

In SOBEK worden de randvoorwaarden voor wat betreft de voordelta van het Haringvliet opgelegd op HA-10 en het Hindergat (HA-20). Op beide randvoorwaardenpunten is een chlorideconcentratie van 19 g/l opgelegd, met een returntime van 180 minuten.

De werkelijke zoutconcentratie aan de modelrand is gelijk aan de in het model berekende concentratie zolang het water door de rand het model uit stroomt. Als de stroming omkeert wordt als chlorideconcentratie de randvoorwaarde gebruikt. De chlorideconcentraties in het uitstromende water en de randvoorwaarde kunnen echter aanzienlijk verschillen. Om bij kentering een plotselinge sprong in zoutconcentratie te voorkomen laat het model na kentering de chlorideconcentratie geleidelijk naar de randvoorwaarde toelopen. De periode waarover deze aanpassing wordt uitgevoerd noemt men de returntime.

Op de zeerandvoorwaarde in de Maasmond is een chlorideconcentratie van 17 g/l opgelegd, eveneens met een returntime van 180 minuten. De modelrand van Zeedelta ligt zo'n 60 km uit de kust. De chlorideconcentraties zijn 19.4 g/l op zee en op de noord- en zuidrand in een smalle strook teruglopend naar 15.5 g/l (returntime van 180 minuten).

- **achtergrondgehalte rivierwater**

De achtergrondwaarde van de chlorideconcentratie is voor alle riviertakken op 0.2 g/l gesteld.

- **wind**

In beide berekeningen is de werkelijk opgetreden wind opgelegd, zoals gemeten bij Hoek van Holland. In SOBEK is de beschuttende invloed van het land op de windsnelheid verdisconteerd d.m.v. een beschuttingsfactor (hiding-factor). Deze is voor de verschillende riviertakken in SOBEK als volgt gekozen:

Haringvliet	0.66
Hollandsch Diep	0.66
Bergsche Maas	0.66
Amer	0.66
Lek	0.33
Waal	0.50
Maas	0.66

In de Zeedelta-berekening is echter géén rekening gehouden met de beschuttende invloed van het land op de windsnelheid: overal in het model is de gemeten wind bij Hoek van Holland van toepassing, wat in het rivierengebied een overschatting van de windsnelheid met zich meebrengt.

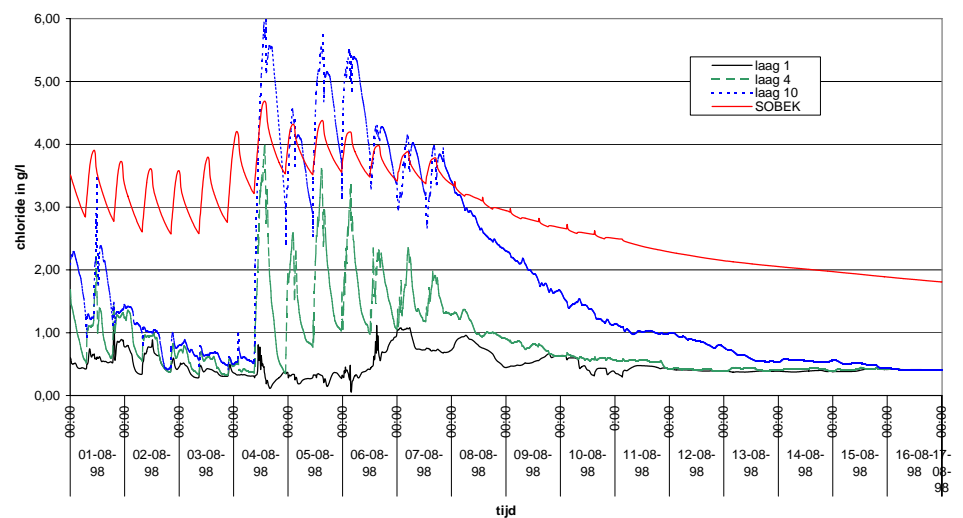
### Resultaten

In figuur 5.3 t/m figuur 5.8 staan de resultaten van de SOBEK- en Zeedeltaberekeningen weergegeven voor de volgende stations:

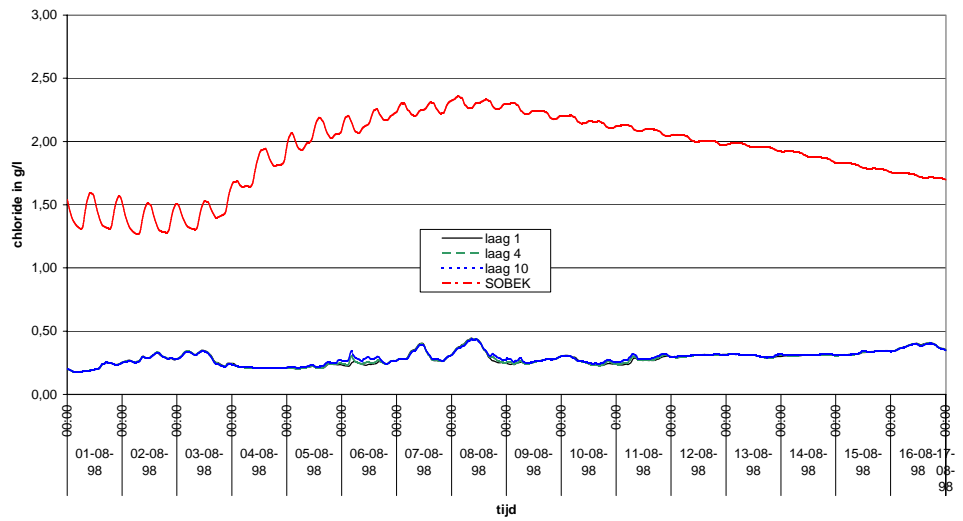
- Haringvlietsluizen-binnen
- Hellevoetsluis
- Delta Nuts
- Middelharnis
- Bernisse
- Beerenplaat-Spui

De chlorideconcentraties in Zeedelta worden gegeven voor de lagen 1, 4 en 10. Laag 1 is vlak onder het wateroppervlak, laag 10 is vlak boven de bodem, laag 4 bevindt zich ongeveer halverwege de waterkolom.

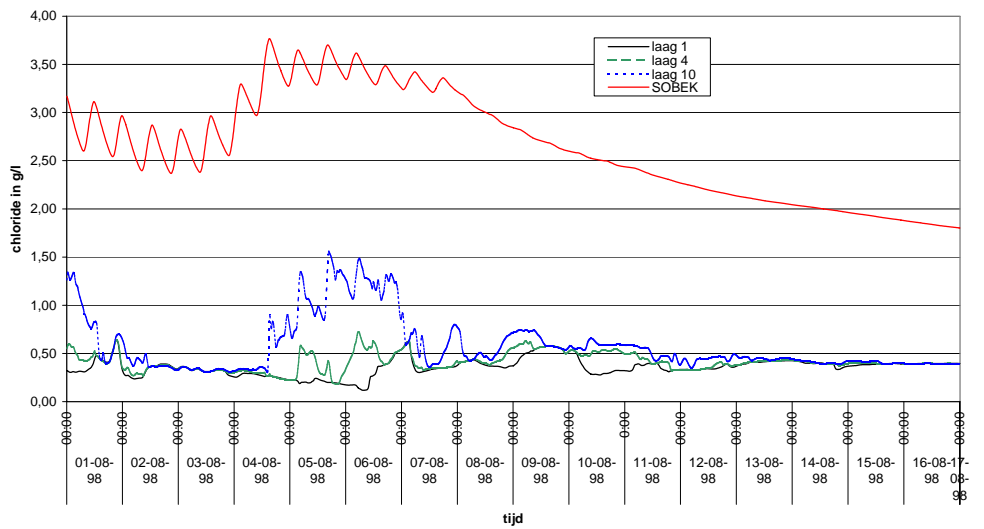
**Figuur 5.3**  
Door Zeedelta en SOBEK berekende chlorideconcentratie aan de binnenzijde van de Haringvlietsluizen



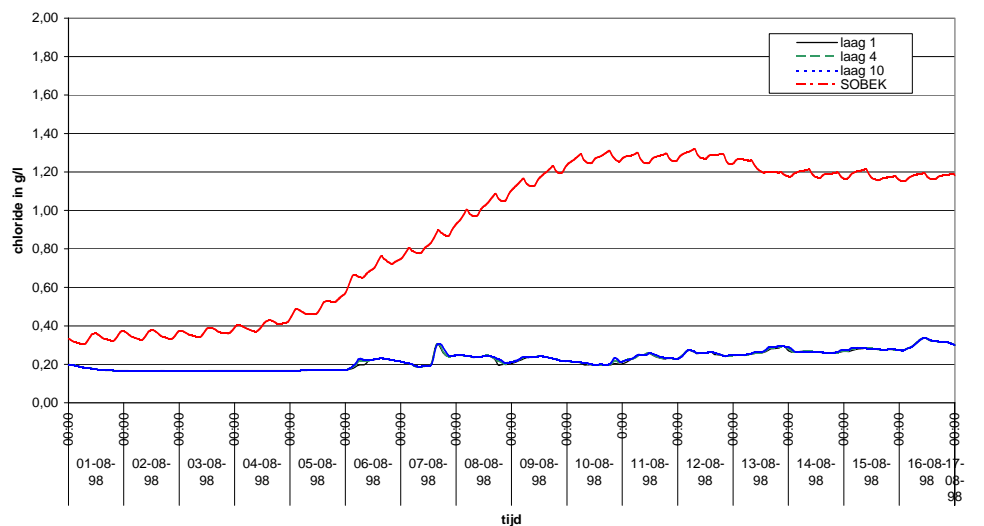
**Figuur 5.4**  
 Door Zeedelta en SOBEK berekende  
 chlorideconcentratie bij Hellevoetsluis



**Figuur 5.5**  
 Door Zeedelta en SOBEK berekende  
 chlorideconcentratie bij Delta Nuts

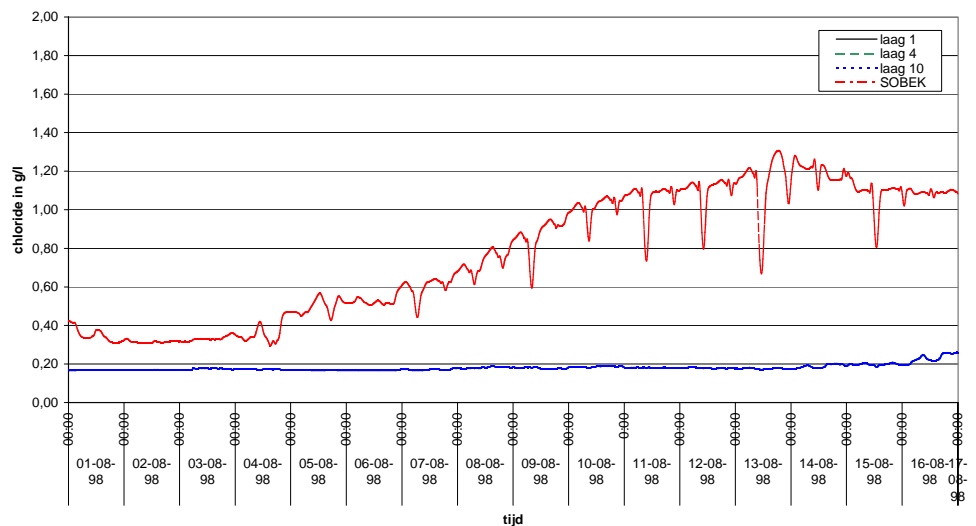


**Figuur 5.6**  
 Door Zeedelta en SOBEK berekende  
 chlorideconcentratie bij Middelharnis



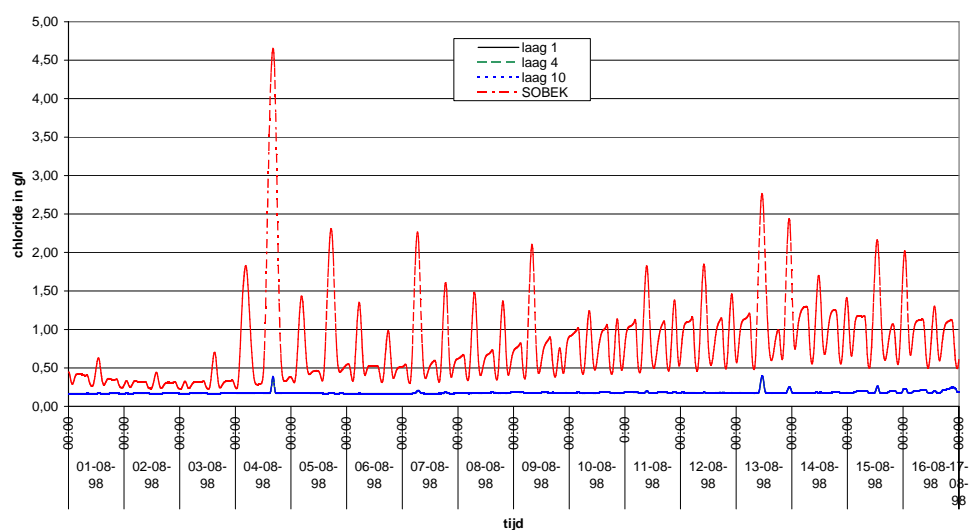
**Figuur 5.7**

Door Zeedelta en SOBEK berekende chlorideconcentratie bij Bernisse



**Figuur 5.8**

Door Zeedelta en SOBEK berekende chlorideconcentratie bij Beerenplaat (Spui)



### Interpretatie

Bij de interpretatie van de SOBEK- en Zeedelta-uitkomsten kunnen o.m. de volgende aspecten genoemd worden:

- Chloride wordt in Sobek op de Haringvlietzeerand bij HA-10 en Hindergat opgelegd. De waarde hiervan bedraagt omgerekend naar saliniteit 34 ppt. Bij de simulatie met Zeedelta is de opgedrukte saliniteit op de westelijke zeerand 35 ppt, waarbij op de zuid- en noordrand de saliniteit nabij de kust vermindert tot 29 ppt. Uit de berekening volgt ter plaatse van HA-10 een saliniteit van ongeveer 32 ppt, terwijl in het Hindergat een waarde van 28 ppt bij dichte Haringvlietssluzen en van 10 tot 25 ppt bij geopende sluzen wordt berekend. Deze verschillen op de Sobek-rand verklaren mogelijk voor een deel de grotere zoutindringing in Sobek t.o.v. Zeedelta.
- De Zeedelta-sommen zijn met een in de tijd variërende uniforme wind uitgevoerd. Hierbij is geen correctie toegepast op de windsnelheid zoals in Sobek (met hidingfactoren). Bij hogere

---

windsnelheden vindt in Zeedelta dan ook behoorlijke menging plaats (3 t/m 5 augustus).

### **Doorontwikkeling HOP versie 4 n.a.v. dispersieberekening Zeedelta**

#### **Resultaten van de dispersiesom**

Uit deze vergelijking blijkt dat Sobek bij omstandigheden zoals in de dispersiesom, waarbij sprake is van een lage rivierafvoer en kleine sluisopeningen, veel hogere chloridegehalten in het Haringvliet berekent dan Zeedelta. Als bij dalende afvoer de sluisen voor langere tijd volledig sluiten is de uitgangssituatie in Sobek dan ook al veel zouter dan in Zeedelta. Hierboven wordt erop gewezen dat dit voor een deel verklaard kan worden uit het feit dat de zeerand in Sobek veel zouter is dan deze volgens het Zeedelta model (dat een groter deel van de Noordzee omvat) zou moeten zijn. Het resterende verschil wijst erop dat de verspreidingsprocessen onder deze omstandigheden in Sobek veel sterker zijn dan in Zeedelta.

Bij gesloten sluisen verspreidt het zout zich ook in Zeedelta door het Haringvliet en richting Spui. De verzilting die deze verspreiding veroorzaakt is echter aanmerkelijk geringer. Toch blijkt na enige tijd zowel bij Bernisse als bij Middelharnis in de bovenste waterlagen een verhoging van de chlorideconcentraties op te treden die volgens de eisen aan HOP 2005 niet is toegestaan.

#### **Consequenties voor HOP**

De hoeveelheid zout die in het Haringvliet achterblijft is volgens Zeedelta kleiner dan volgens Sobek. Bovendien verspreidt deze kleinere hoeveelheid zout zich volgens Zeedelta minder snel. Toch lijkt het niet verstandig op basis van de resultaten van de dispersiesom een HOP-versie te kiezen die meer zout in het Haringvliet toelaat of bij lagere afvoer nog geopend is, dan in versie 4 het geval is. Verspreiding van in het Haringvliet achtergebleven zout is ook in Zeedelta een reëel probleem. Anderzijds biedt het inzicht dat het zout in het Haringvliet zich minder snel verspreidt ook kansen om een stapje verder te gaan dan in versie 4. Onder omstandigheden waarin zeker is dat deze verspreiding niet de kans zal krijgen om problemen op te leveren kunnen de sluisen juist wel een stukje verder worden geopend. In het vervolg van deze paragraaf worden voorstellen gedaan voor een verfijning van HOP versie 4.

#### **Verfijning 1: zoetspoelen bij dalende afvoer**

De Bovenrijnafvoer kan redelijk nauwkeurig voor een vrij lange periode (1-2 weken) voorspeld worden. Dit geeft de mogelijkheid om in een situatie van dalende afvoer geruime tijd voor het moment dat de sluisen volgens HOP versie 4 volledig gesloten zullen worden, het sluisbeheer zo te wijzigen dat de hoeveelheid zout die in het Haringvliet aanwezig is sterk verminderd wordt. Dit kan door het vergroten van de sluisopening tijdens eb en het reduceren van de sluisopening tijdens vloed.

---

De meest drastische aanpak bestaat uit volledig stoppen van de inlaat van zout water. Vervolgens wordt er gedurende een aantal getijperioden zeer fors gespuid. Het Haringvliet wordt dan zoveel mogelijk verzoet. Hierbij zullen de Oude en de Nieuwe Maas, het noordelijk deel van het Spui (tot aan de inlaat van de Bernisse) en de monding van de Hollandsche IJssel tijdelijk verzilten. De waterstand bij Moerdijk zal onder NAP zakken. Dit is weliswaar strijdig met de eisen aan het HOP, het is echter een tijdelijke overtreding, waarmee langdurige problemen in de toekomst voorkomen kunnen worden. In het Sobek onderzoek "Droge zomers" (§5.2) is hier al wat aan gerekend. Hierbij bleek inderdaad de hoeveelheid zout in het Haringvliet fors te kunnen worden verminderd, ten koste van tijdelijke verzilting van genoemde riviertakken. In §5.3 wordt dit idee verder uitgewerkt.

### **Verfijning 2: periodiek spuien tijdens lage afvoerperioden**

Als tijdens een lage-afvoer periode de Haringvlietsluizen langere tijd volledig gesloten zijn, zal het achtergebleven zout zich gaan verspreiden. Als het zout Middelharnis of Bernisse dreigt te bereiken kan het zout weggespoeld worden door gedurende één getijde flink te spuien via de Haringvlietsluizen. Ook dan zal er langs de noordrand tijdelijke verzilting optreden en zal de waterstand bij Moerdijk onder NAP komen. De verzilting langs de noordrand kan dan schadelijker uitvallen dan bij Verfijning 1, omdat gespuid wordt bij lagere afvoeren van de Bovenrijn, en dus de zouttong in de Nieuwe Maas zich al dichterbij de monding van de Hollandsche IJssel zal bevinden.

### **Verfijning 3: grotere sluisopening bij stijgende afvoer**

In situaties waarin de voorspellingen aangeven dat de Bovenrijnafvoer gaat stijgen, kunnen de eb- en vloedopening in HOP wat ruimer gekozen worden, omdat de toename van de hoeveelheid zout in het Haringvliet dan geen problemen op kan gaan leveren. Deze ruimere openingen worden begrensd door de eis dat de noordrand niet mag verzilten en Moerdijk boven NAP moet blijven.

### **De waterstand bij Moerdijk**

Bij het afleiden van HOP versie 4 (en 5) is gebleken dat bestrijding van de verzilting van de noordrand en het handhaven van de waterstand bij Moerdijk op een niveau boven NAP hand in hand gaan. Het afzwakken of vervallen van deze waterstandeis zal dan ook weinig extra mogelijkheden opleveren voor HOP versie 4.

Wel dient opgemerkt te worden dat HOP versie 4 iets lagere waterstanden oplevert bij Moerdijk dan LPH'84. Bovendien zullen de verfijningen 1 en 2 nog tot extra NAP-onderschrijdingen leiden. Een afzwakking van de waterstandeis bij Moerdijk lijkt daarom wel noodzakelijk.

### **Uitvoering van het onderzoek**

Uit de dispersietest is gebleken dat het Sobek model minder geschikt is om de verspreiding van het zout te bepalen in het Haringvliet bij kleine spuiopeningen of gesloten Haringvlietsluizen. Dit zijn juist de omstandigheden waarop de bovengenoemde verfijningen betrekking

---

hebben. Het is wel mogelijk om door middel van een Sobek berekening te bepalen of een bepaalde aanpassing aan het HOP een verbetering of een verslechtering oplevert. Het is echter niet mogelijk om te bepalen of deze aanpassing ook voldoende effectief is om het gestelde doel te bereiken.

---

## 5.2 Droge zomers

Tijdens droge zomers zal bij toepassing van HOP versie 4 de situatie ontstaan dat de Haringvlietsluizen zeer lange tijd achter elkaar gesloten zijn. Als de sluisen bij aanvang van de droge periode sluiten, zal een hoeveelheid zout water in het Haringvliet achterblijven. Dit kan zich in de loop van de droge periode verspreiden en tot verzilting van innamepunten leiden.

Om deze ongewenste situatie te voorkomen is onderzocht hoe de verzilting in lange droge zomers met lage afvoer (Bovenrijnafvoer kleiner dan 1000 m<sup>3</sup>/s) bij toepassing van HOP versie 4 in de hand kan worden gehouden.

Het zout dat bij aanvang van een periode van lage afvoer in het Haringvliet achterblijft vormt de oorzaak van het probleem. Dit zout zal zich afhankelijk van de omstandigheden en de begintoestand (mate van gelaagdheid) gaan verspreiden en kan op den duur zoetwaterinnamepunten bereiken. Door de lage afvoer is er dan geen zoet water meer beschikbaar om hier iets aan te doen.

De oplossing voor deze bedreiging zou eruit kunnen bestaan om bij dalende Bovenrijnafvoer het Haringvliet zo volledig mogelijk te ontzilten op het moment dat er nog voldoende rivierwater beschikbaar is om dit uit te voeren.

### Modelberekening

Deze aanpak is getest met een tweetal Sobek berekening met de volgende kenmerken:

- Rekenperiode 15 juli t/m 30 september 1998.
- Zeerandvoorwaarden als opgetreden.
- De rivierandvoorwaarden zijn volgens de afvoertabel afgeleid van de Bovenrijnafvoer.
- De Bovenrijnafvoer is in de periode van 15 juli tot 1 augustus gelijk gemaakt aan 1700 m<sup>3</sup>/s.
- De Bovenrijnafvoer daalt in de periode van 1 augustus tot 15 augustus lineair tot 900 m<sup>3</sup>/s.
- De Bovenrijnafvoer is in de periode van 15 augustus tot 30 september gelijk aan 900 m<sup>3</sup>/s.

De Haringvlietsluizen worden bediend volgens HOPv4 tot het moment dat de Bovenrijnafvoer daalt onder de 1500 m<sup>3</sup>/s. Vanaf dat moment wordt er geen water meer ingelaten. De spuiopening tijdens eb wordt, ten opzichte van HOP versie 4, in afnemende mate vergroot tot het moment dat de afvoer onder de 1000 m<sup>3</sup>/s daalt. De gebruikte spuiopeningen voor de twee berekeningen zijn gegeven in tabel 5.1.



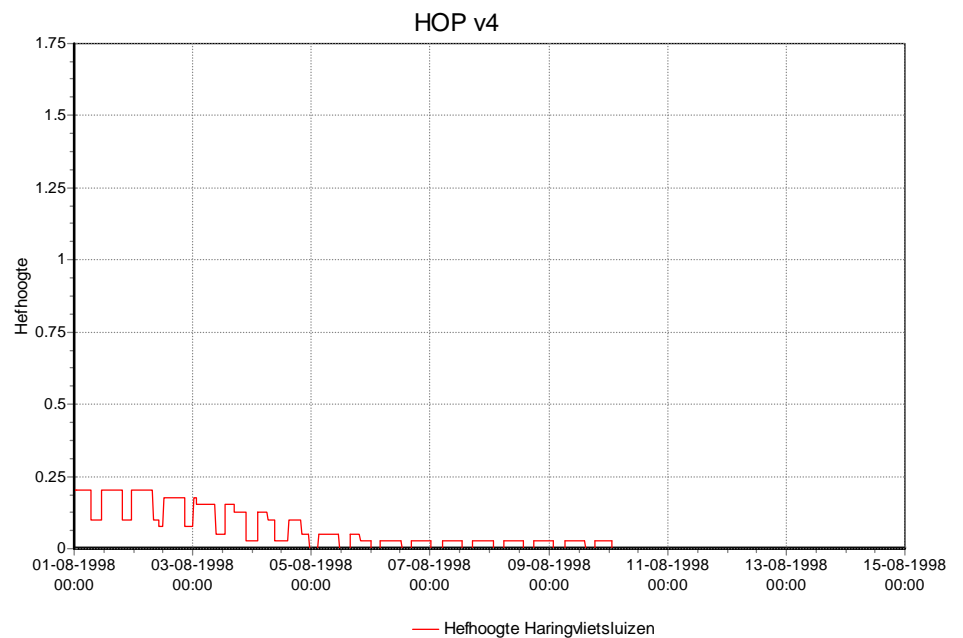
**Tabel 5.1**  
Spuiopeningen Haringvlietsluizen in de twee uitgevoerde berekeningen

Spuiperiode	Afvoer m <sup>3</sup> /s	Spuiopening som 1 m <sup>2</sup>	Spuiopening som 2 m <sup>2</sup>
1	1400-1500	1000	1500
2	1400-1500	1000	1500
3	1300-1400	200	1000
4	1300-1400	200	1000
5	1300-1400	200	1000
6	1300-1400	200	1000
7	1200-1300	150	150
8	1200-1300	150	150
9	1200-1300	150	150
10	1200-1300	150	150
11	1100-1200	100	100
12	1100-1200	100	100
13	1100-1200	100	100
14	1100-1200	100	100
15	1000-1100	50	50
16	1000-1100	50	50
17	1000-1100	50	50
18	1000-1100	50	50
19	900-1000	0	0

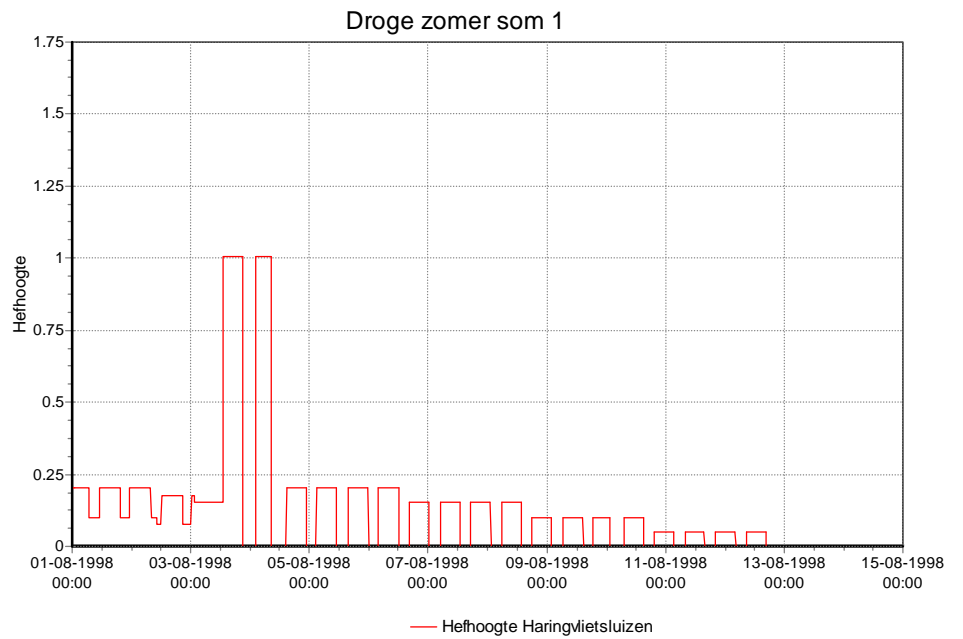
### Hefhoogte

De toegepast hefhoogte van de Haringvlietsluizen voor de drie berekeningen wordt getoond in figuur 5.9 (HOP), figuur 5.10 (som 1) en figuur 5.11 (som 2).

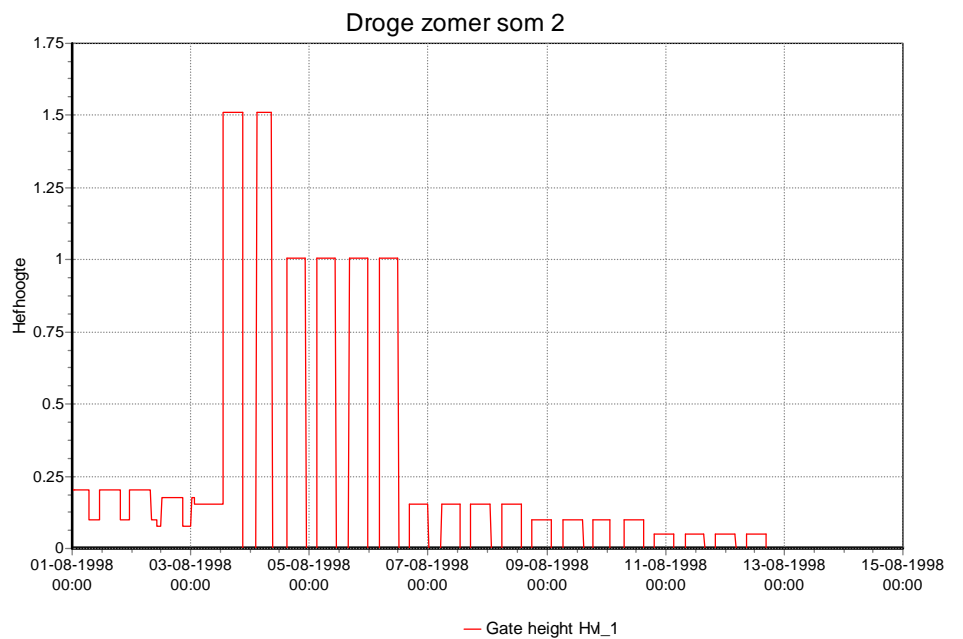
**Figuur 5.9**  
Hefhoogte Haringvlietsluizen bij bediening volgens HOP versie 4



**Figuur 5.10**  
Hefhoogte Haringvlietsluizen in som 1



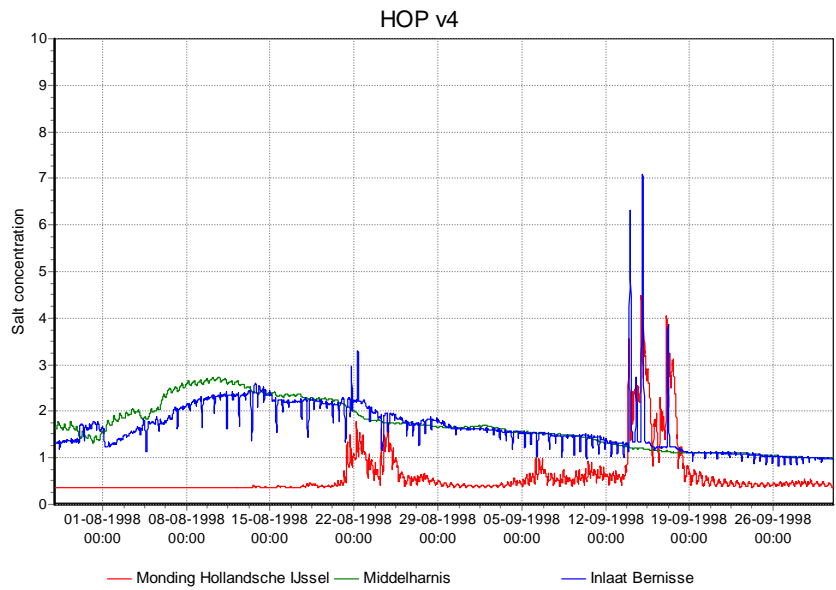
**Figuur 5.11**  
Hefhoogte Haringvlietsluizen in som 2



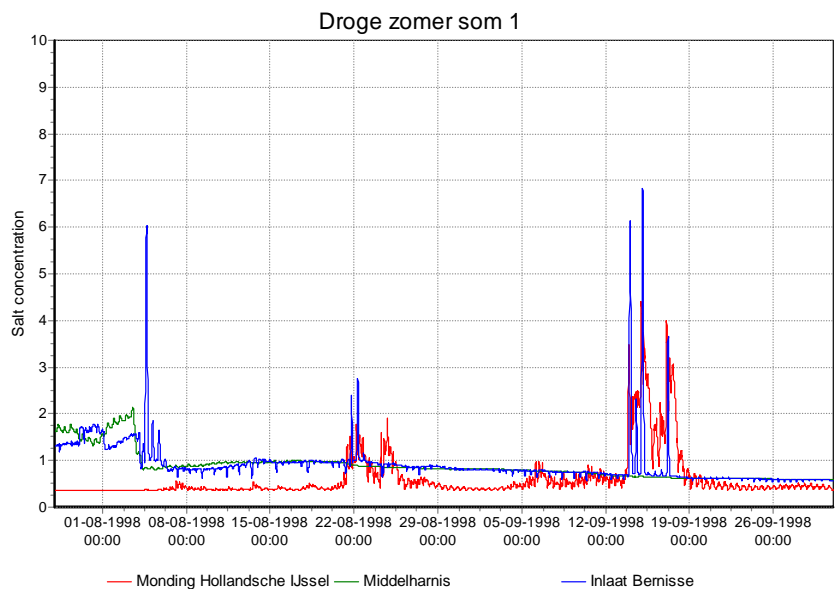
### Zoutindringing

De berekende chlorideconcentratie bij Middelharnis, Bernisse en bij de monding van de Hollandse IJssel wordt getoond in figuur 5.12 t/m figuur 5.14.

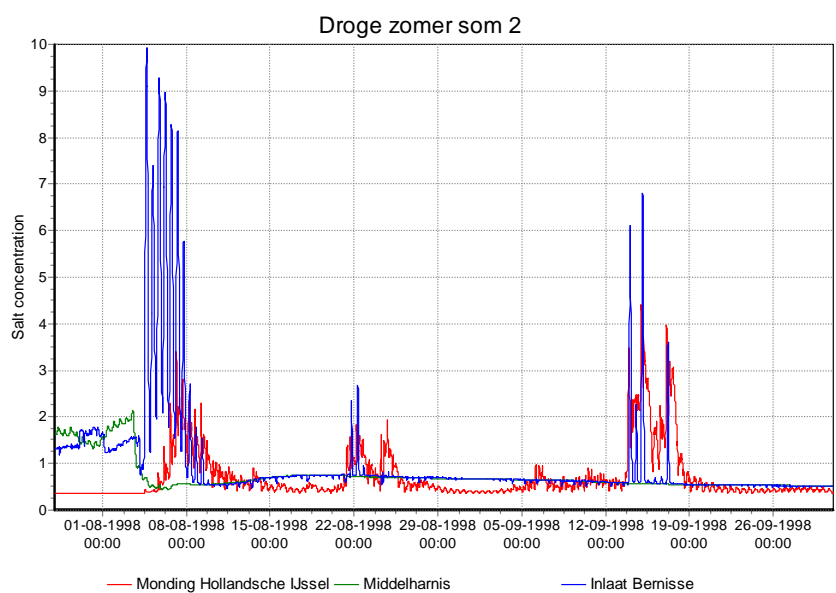
**Figuur 5.12**  
Chlorideconcentraties bij Middelharnis,  
Bernisse en monding Hollandsche IJssel  
bij bediening volgens HOP versie 4



**Figuur 5.13**  
Chlorideconcentraties bij Middelharnis,  
Bernisse en monding Hollandsche IJssel  
in som 1



**Figuur 5.14**  
Chlorideconcentraties bij Middelharnis,  
Bernisse en monding Hollandsche IJssel  
in som 2



---

In HOP v4 blijft er bij Middelharnis in de droge periode 550 mg/l chloride achter, in som 1 is dit 325 mg/l, in som 2 is dit 290 mg/l. Het achtergrondgehalte in de berekeningen is 200 mg/l.

Het is dus goed mogelijk het achterblijvende zout in het Haringvliet voor een groot deel weg te spoelen bij dalende Bovenrijnafvoer tussen 1500 en 1000 m<sup>3</sup>/s.

In som 1 gaat dit niet ten koste van verzilting van de Hollandsche IJssel. In som 2 treedt dit wel op gedurende enkele dagen.

Het lijkt verstandig om deze aanpassing aan HOP versie 4 ook met het Zeedelta model te onderzoeken. Uit de dispersieberekening is al gebleken dat de hoeveelheid zout die in het Haringvliet achterblijft waarschijnlijk geringer is dan in Sobek wordt berekend en dat dit zout zich minder snel verspreid. Denkbaar is dat tijdens het doorspoelen van het Haringvliet voornamelijk de zoete bovenlaag richting zee stroomt. Het doorspoelen is dan in werkelijkheid minder effectief dan uit de Sobek berekening volgt. Ook kan onderzocht worden of het effectiever is éénmalig zeer fors door te spoelen of meerdere malen een kleinere hoeveelheid.

In §5.3 wordt het vervolg van dit onderzoek beschreven.

---

## 5.3 Zoetspoelen

In §5.2 is een eerste onderzoek beschreven naar de effecten van het doorspoelen van het Haringvliet bij aanvang van een periode met lage afvoer. Het bleek dat op deze wijze de hoeveelheid zout in het Haringvliet fors kan worden verminderd. Het doel van het zoetspoelen is het voorkomen van verzilting ten oosten van de lijn monding Spui-Middelharnis.

De wijze waarop deze verfijning in HOP2005 moet worden geïmplementeerd is verder onderzocht d.m.v. Sobek en Zeedelta berekeningen. Dit onderzoek wordt in deze paragraaf beschreven. De uitgevoerde berekeningen hebben betrekking op een periode waarin het zoetspoelen toegepast zou moeten worden. Eerst is onderzocht hoe de randvoorwaarden van dergelijke berekeningen eruit zouden kunnen zien.

### 5.3.1. Onderzoek naar dalende Rijnafvoeren

De dagwaarden van de Bovenrijnafvoer 1901-2002 zijn onderzocht. Binnen deze periode van 102 jaar is gezocht naar perioden met afvoer kleiner dan  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dit treedt 401 keer op. De gemiddelde duur dat de afvoer onder de  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$  blijft is 24.3 dag, de maximale duur is 325 dagen.

Van de 401 perioden met afvoer onder de 1500 zijn er 272 langer dan een week. Dit betekent dat zoetspoelen in HOP2005 ongeveer 2.7 keer per jaar uitgevoerd zou moeten worden. Hierbij is geen rekening gehouden met situaties waarin twee perioden van langer dan een week afvoer onder de  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$  gescheiden worden door een periode korter dan een week met afvoer boven de  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ . In de praktijk zouden deze perioden aaneengeschakeld kunnen worden tot één periode met één keer zoetspoelen. Het getal 2.7 keer per jaar zal dan lager uitvallen.

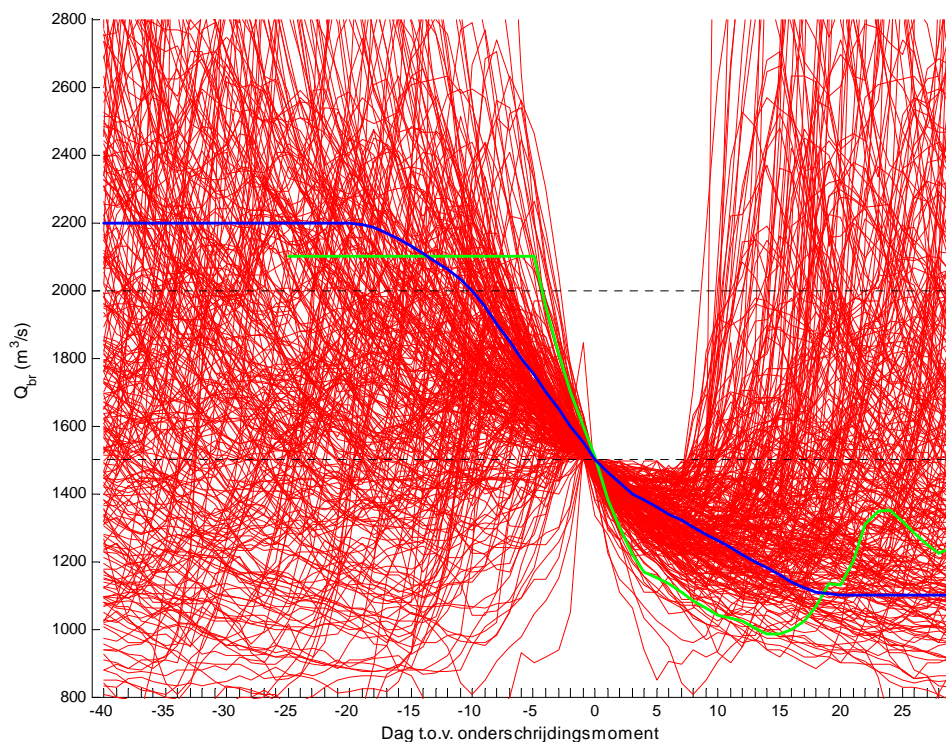
De snelheid waarmee de Bovenrijnafvoer daalt van 2000 naar  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$  geeft aan hoeveel tijd er is om maatregelen te nemen. De gemiddelde daalsnelheid is  $40 \text{ m}^3/\text{s}/\text{dag}$ , de maximale snelheid is  $302 \text{ m}^3/\text{s}/\text{dag}$ . De gemiddelde daalduur is 34.4 dag, de maximale daalduur is 279 dagen.

In figuur 5.15 is (in rood) het debietverloop van de 272 bovengenoemde perioden uitgezet, waarbij de debietreeksen in de tijd zo zijn verschoven dat de onderschrijding van  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$  het nulpunt is. De groene lijn is het debietverloop uit de dispersietestberekening (beschreven in §5.1).

Duidelijk is dat het debietverloop zeer variabel is. Het debietverloop uit de dispersietestsom zit wat betreft daalsnelheid tegen het maximum aan. Als we er van uitgaan dat een snel dalend debiet de mogelijkheden voor het doorspoelen van het Haringvliet beperkt, dan zou deze berekening goed bruikbaar zijn als worstcase scenario. Anderzijds bestaat het vermoeden dat tijdens een periode met een geleidelijk dalend debiet zich meer zout in het Haringvliet accumuleert, terwijl tegelijkertijd de verzoeting van de Voordelta zal afnemen. Zo bezien is een langzaam dalend debiet een worstcase scenario.

Daarom is de keuze gemaakt voor de meer algemeen voorkomende situatie, voorgesteld door de blauwe lijn.

**Figuur 5.15**  
 Gesynchroniseerd verloop van de Bovenrijnafvoer gedurende 272 perioden waarin de afvoer tenminste 7 dagen onder de 1500 m<sup>3</sup>/s daalt.



### 5.3.2. De voorspelbaarheid van de Rijnafvoer

Voor het toepassen van de verfijning zoetspoelen in HOPv4 is het vereist dat de Bovenrijnafvoer een week vooruit goed voorspelbaar is in situaties van lage afvoer. Aan Hendrik Buiteveld (Riza-WRR) is de vraag voorgelegd wat hierover bekend is.

Op dit moment is de Rijnafvoer goed voorspelbaar voor 3 dagen. Deze voorspellingen worden niet dagelijks opgesteld. In 2004 wil men dagelijks 4 dagen vooruit gaan voorspellen. Deze voorspellingen vinden plaats op basis van de uitkomsten van weermodellen. Deze modellen zijn 10 dagen lang (grof model) of 5 à 6 dagen voor meer locale modellen. Wellicht blijken in de toekomst langere voorspellingen mogelijk, bijvoorbeeld 6 dagen.

Over de nauwkeurigheid van lage afvoer voorspellingen is nog niets bekend. De aandacht is tot nu toe vooral uitgegaan naar hoge afvoer omstandigheden.

### 5.3.3. Volledig zoetspoelen van het Haringvliet

Bij aanvang van een droge periode, zal het Haringvliet ten westen van de lijn Middelharnis-monding Spui geheel of gedeeltelijk zijn verzilt. Een manier om er zeker van te zijn dat er voor aanvang van de droge periode voldoende zout uit het Haringvliet verdwijnt, bestaat eruit om zoveel water door te spoelen dat al het water ten westen van de lijn monding Spui-Middelharnis naar zee wordt afgevoerd. Verondersteld wordt dan dat er tijdens het spoelen geen menging van betekenis optreedt en dat er geen gelaagde stroming optreedt.

De inhoud van dit deel van het Haringvliet is ongeveer  $250 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> bij een waterstand van NAP. In diepe putten dieper dan 10 m onder NAP bevindt zich  $30 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>. Verondersteld wordt dat het zoute water in

deze diepe putten achterblijft. Resteert om weg te spoelen een hoeveelheid water van  $220 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

Om de haalbaarheid van deze hoeveelheid te beoordelen, zijn de getijvolumina door de Haringvlietsluizen bepaald zoals die zijn optreden in berekening 1 voor het onderzoek "Droge zomers" (§5.2). In tabel 5.2 zijn de resultaten van de eerste 8 getijperioden tijdens het zoetspoelen na de onderschrijving van de  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$  Bovenrijnafvoer weergegeven.

**Tabel 5.2**  
Spuioppervlak en resulterende ebvolume in de eerste 8 getijperioden van het zoetspoelen in berekening 1

Getijperiode	Spuioppervlak $\text{m}^2$	Ebvolume $\text{Mm}^3$	Cumulatief $\text{Mm}^3$
1	1000	78	78
2	1000	44	122
3	200	19	141
4	200	17	158
5	200	19	177
6	200	20	197
7	150	13	210
8	150	13	223

De effecten op Bernisse en monding Hollandsche IJssel zijn in deze berekening flink negatief, maar wel van korte duur. Het vereiste volume water blijkt dus realiseerbaar.

Het afvoerniveau waarbij het zoetspoelen begint moet zorgvuldig gekozen worden. Hoe hoger de grenswaarde, hoe vaker het Haringvliet wordt zoetgespoeld en hoe langer de periode is dat er in het Haringvliet geen zoet-zout overgang meer aanwezig is. Wanneer deze grenswaarde voor het zoetspoelen echter te laag gekozen wordt, dan zal dit resulteren in een te grote mate van zoutindringing langs de noordrand tijdens het zoetspoelen.

Om een geschikte grenswaarde voor het zoetspoelen te bepalen, zijn er m.b.v. Sobek verkennende berekeningen uitgevoerd. Daaruit is naar voren gekomen dat bij een afvoerniveau van ca.  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$  en onder normale weerscondities (geen harde noordwesterwind) de zoutindringing beperkt blijft.

#### 5.3.4. Scenario's

De uit te voeren Zeedelta berekeningen worden eerst met Sobek verkend. Er worden drie scenario's doorgerekend:

1. Referentieberekening. Bediening Haringvlietsluizen volgens HOP versie 4.
2. Verfijning 1a. Volledig zoetspoelen Haringvliet ( $220 \text{ Mm}^3$ ) na onderschrijving van  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$  Bovenrijnafvoer op 15 augustus 1998. (ZS220)
3. Verfijning 1b. Half zoetspoelen Haringvliet ( $110 \text{ Mm}^3$ , ZS110).

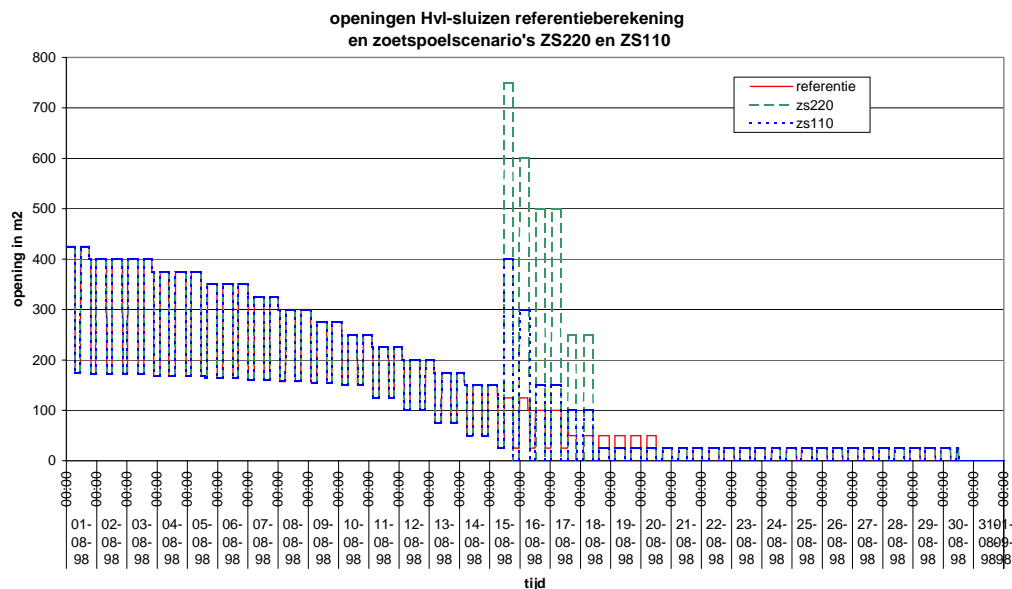
In tabel 5.3 staan de gebruikte spuiopeningen en de gerealiseerde eb- en vloedvolumina van de drie berekeningen.

In figuur 5.16 is dit nog eens schematisch weergegeven. Het zoetspoelen (in de twee scenario's) begint in de berekeningen dus in het tweede getij van 15 augustus, juist nadat de Bovenrijnafvoer beneden de 1500 m<sup>3</sup>/s is gekomen.

**Tabel 5.3**  
Spuiopeningen en ebvolumina van de drie berekeningen.

Getij	Datum	Referentie		ZS220		ZS110	
		Spuiop. Eb/Vloed m <sup>2</sup>	Eb/Vloed Volume Mm <sup>3</sup>	Spuiop. m <sup>2</sup>	Ebvolume Mm <sup>3</sup>	Spuiop. m <sup>2</sup>	Ebvolume Mm <sup>3</sup>
1	15-8	125/25	10/-1	750	54	400	30
2	16-8	125/25	13/-1	600	56	300	30
3	16-8	100/25	9/-1	500	39	150	13
4	17-8	100/25	10/-1	500	41	150	14
5	17-8	50/0	4/0	250	16	100	7
6	18-8	50/0	4/0	250	20	100	9
Totaal			50/-4		226		103

**Figuur 5.16**  
Spuiopeningen van de drie berekeningen



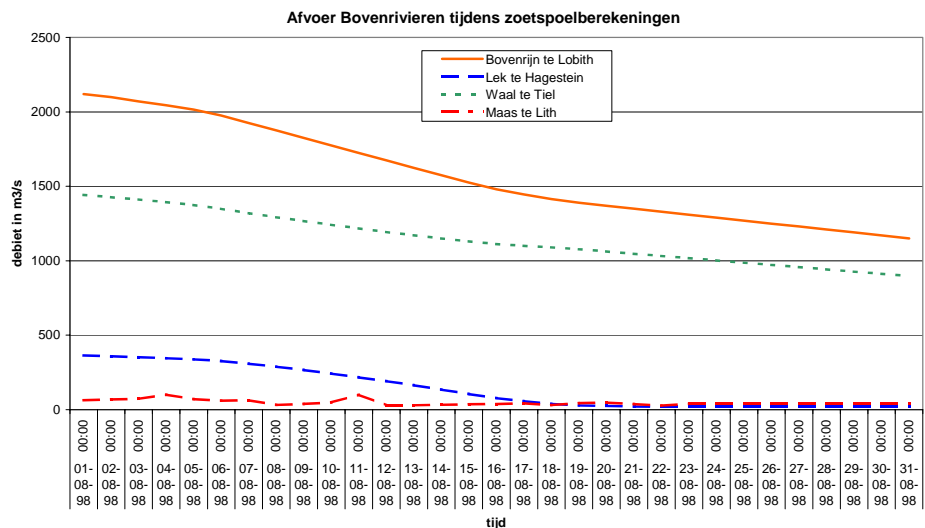
Bij de zoetspoelscenario's worden de grootste sluisopeningen ingesteld in de eerste ebperiode van het zoetspoelen, in de daarop volgende 5 ebperiodes neemt de hefhoogte af. Dit is vanwege het feit dat aan het begin van de periode van zoetspoelen de rivierafvoer groter is dan aan het einde van de zoetspoelperiode. Door aan het einde van de zoetspoelperiode kleinere hefhoogtes te kiezen, zal dit resulteren in minder zoutindringing langs de noordrand dan wanneer je aan het eind van de zoetspoelperiode juist grotere sluisopeningen zou kiezen.

In figuur 5.17 zijn de bijbehorende fictieve afvoeren van de Waal, Lek en Maas weergegeven. In deze figuur is dus niet de werkelijk opgetreden rivierafvoer in augustus 1998 weergegeven.



**Figuur 5.17**

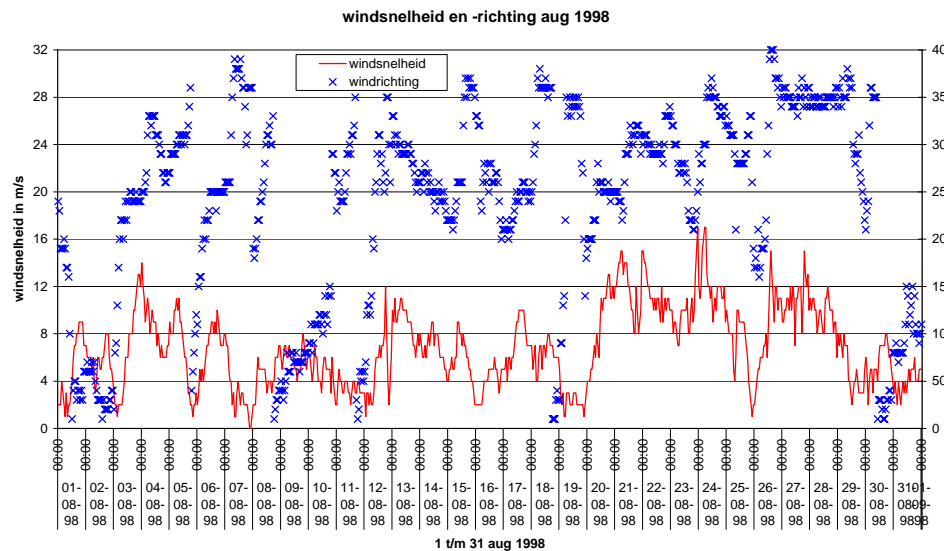
Afvoerverloop van de Bovenrivieren tijdens de zoetspoelberekeningen



In de referentieberekening is gerekend met de werkelijk opgetreden wind bij Hoek van Holland. Het verloop van de windsnelheid en windrichting is te zien in figuur 5.18.

**Figuur 5.18**

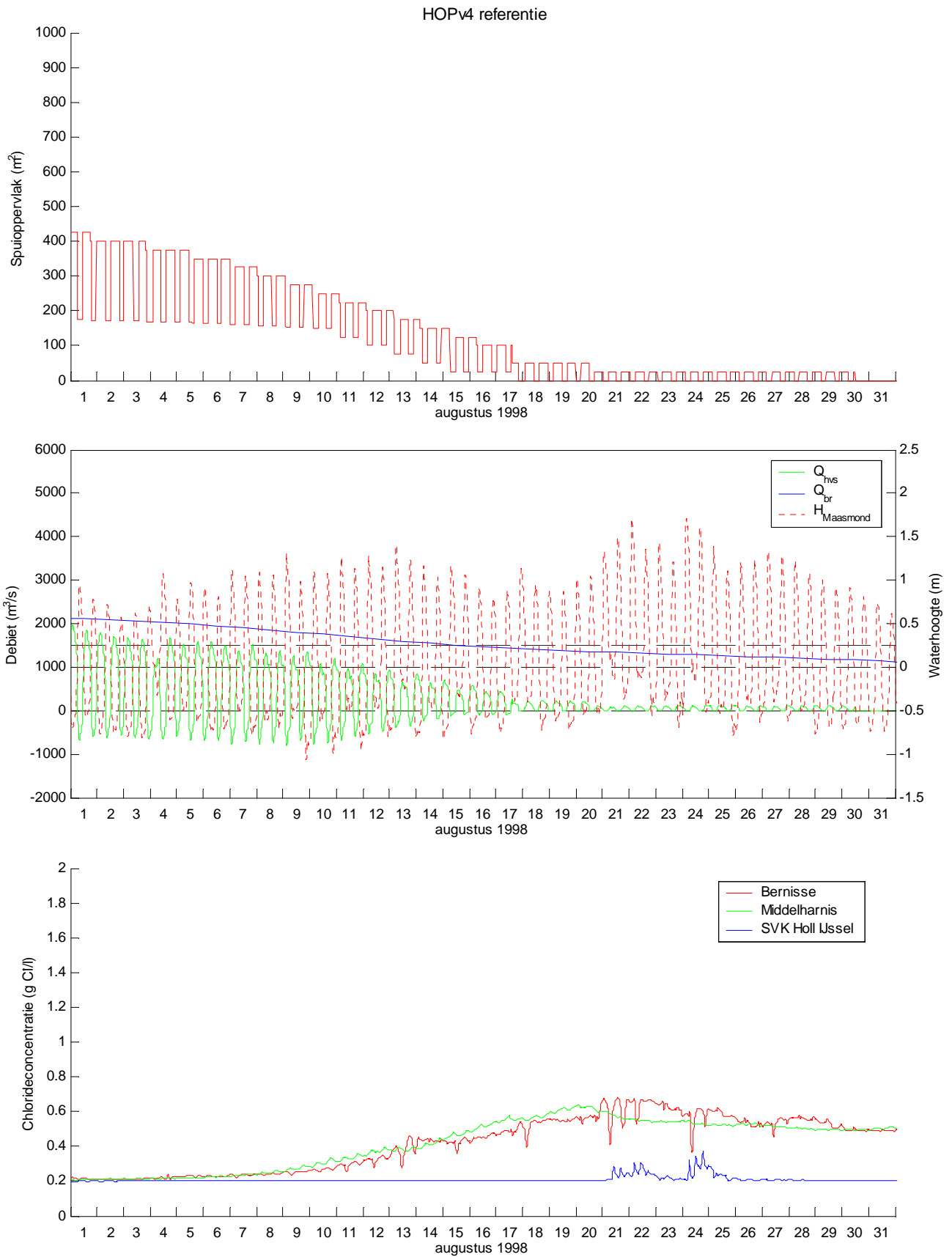
Windsnelheid en richting tijdens zoetspoelberekeningen



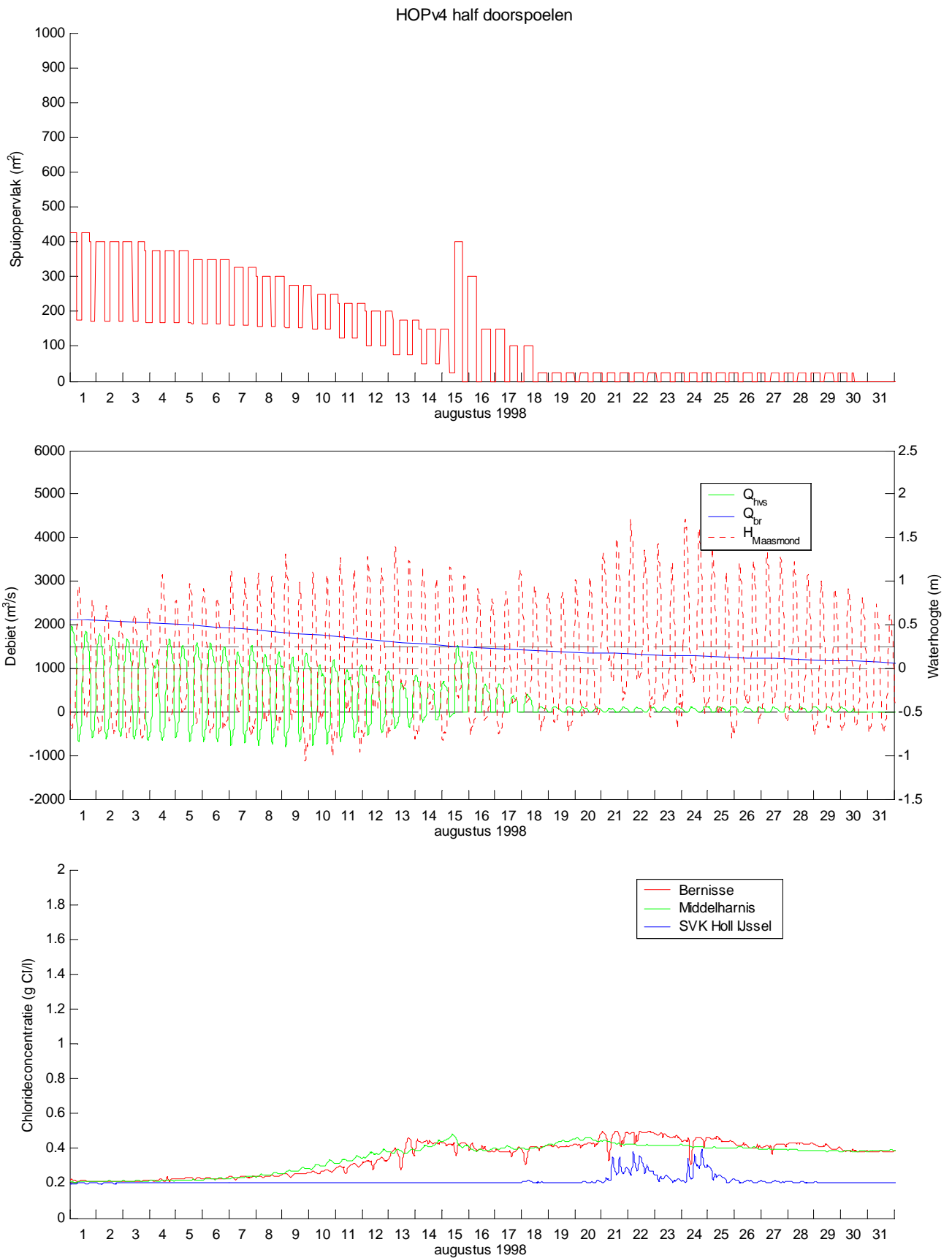
### 5.3.5. Sobek berekening

In figuur 5.19, figuur 5.20 en figuur 5.21 zijn enige kenmerken van bovenstaande Sobek berekeningen weergegeven. De variant ZS220 leidt tot enige, kortdurende verzilting bij Bernisse en de monding van de Hollandsche IJssel. De variant ZS110 geeft slechts een beperkte verslechtering t.o.v. de referentiesituatie.

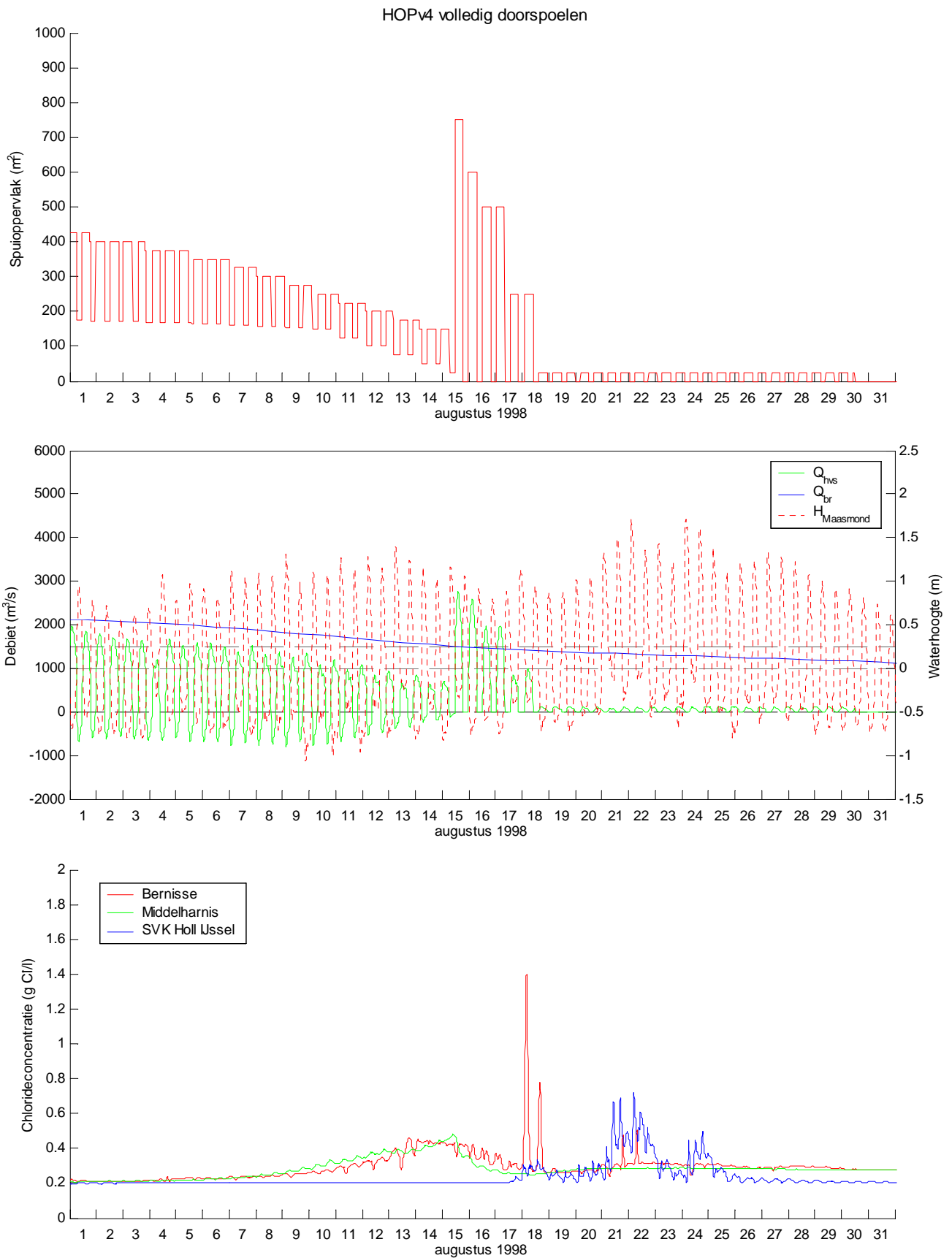
**Figuur 5.19**  
Referentie zoetspoelberekening



**Figuur 5.20**  
Berekening half zoetspoelen



**Figuur 5.21**  
Berekening volledig zoetspoelen



---

### 5.3.6. Zeedelta berekeningen

#### Uitgangspunten

Het windveld wordt in Zeedelta op hele model opgelegd, d.w.z. op elke locatie in het model wordt gerekend met een windsnelheid zoals aangegeven in figuur 5.18. Dit is afwijking van de Sobek berekening, waar het windveld lokaal wordt gereduceerd door "hiding factoren". In de referentieberekening zijn in het model de sluisopeningen (eb- en vloedopeningen) gehanteerd zoals die volgen uit het huidige HOP-v4. Dit betekent dat de sluisen gedurende de vloedperiode gesloten zijn zodra de Bovenrijnafvoer beneden de 1500 m<sup>3</sup>/s geraakt. De modelrand van Zeedelta ligt zo'n 60 km uit de kust. De chlorideconcentraties zijn 19.4 g/l op zee en op de noord- en zuidrand in een smalle strook teruglopend naar 15.5 g/l (returntime van 180 minuten). De achtergrondwaarde is voor alle riviertakken op 0.17 g/l gesteld.

In de zoetspoelscenario's worden dezelfde modelinstellingen en modelrandvoorwaarden gebruikt, met uitzondering van de sluisinstellingen. Om een eerste indruk te krijgen van de effectiviteit van het zoetspoelen alsmede van de effecten, is ervoor gekozen om te beginnen met een tweetal zoetspoelscenario's, ZS220 en ZS110 genaamd. In beide scenario's wordt gedurende 6 getijden extra gespuid gedurende de eb. In het scenario ZS220 wordt er ca. 220 Mm<sup>3</sup> water gespuid, in het scenario ZS110 ongeveer de helft. Deze scenario's kunnen - afhankelijk van de uitkomsten - nader worden aangepast en geoptimaliseerd. Het extra spuien begint in de eerste ebperiode nadat de Bovenrijnafvoer onder de 1500 m<sup>3</sup>/s is geraakt. In de berekeningen is dit telkens op 15 augustus.

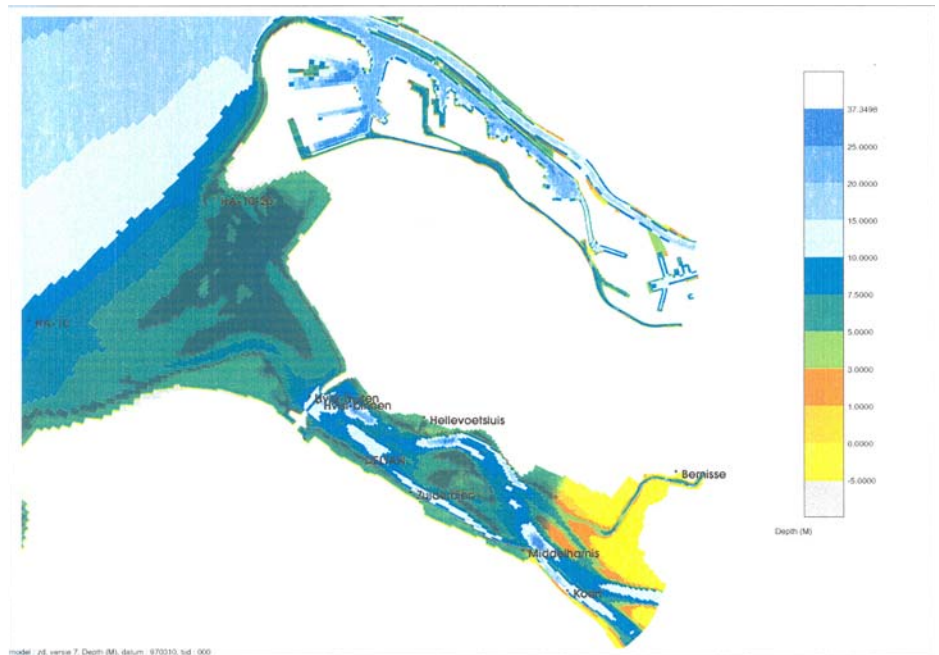
In de berekeningen zijn steeds de middelste sluisen gebruikt bij het spuien.

#### Resultaten referentieberekening

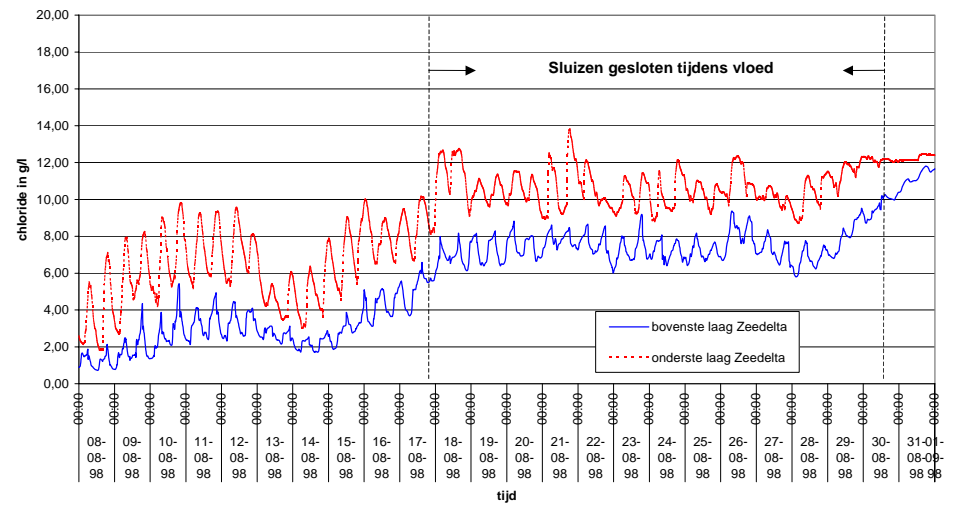
Hieronder worden de resultaten van de referentieberekening met Zeedelta weergegeven en besproken. Hierbij is telkens zowel de bovenste als de onderste laag weergegeven, de bovenste laag is de laag vlakbij het wateroppervlak, de onderste laag is de laag vlakbij de bodem. Voor de volgende locaties wordt uitvoer gepresenteerd (zie ook figuur 5.22):

- Haringvlietsluizen-buiten
- Haringvlietsluizen-binnen
- Hellevoetsluis
- Zuiderdiep
- Middelharnis
- Koert
- Bernisse

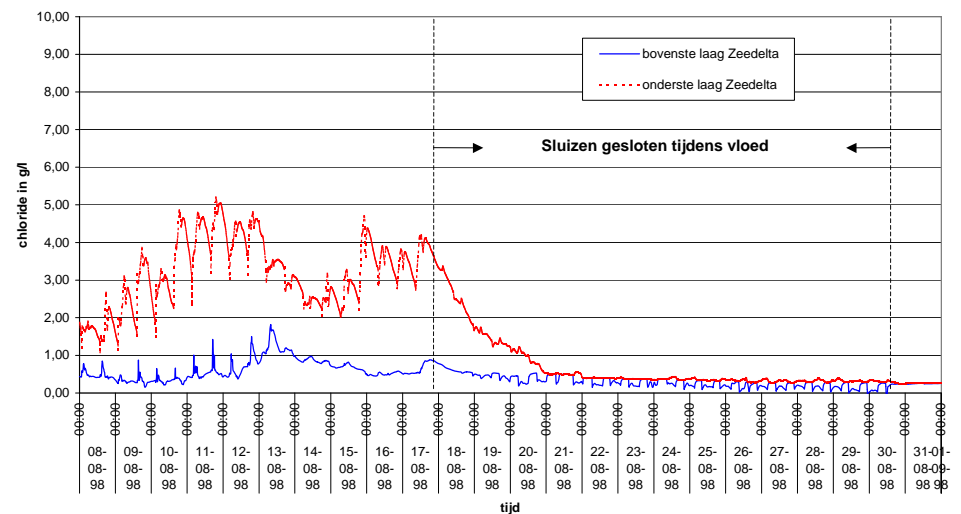
**Figuur 5.22**  
 Uitsnede bodemligging Zeedeltamodel  
 en ligging uitvoerlocaties



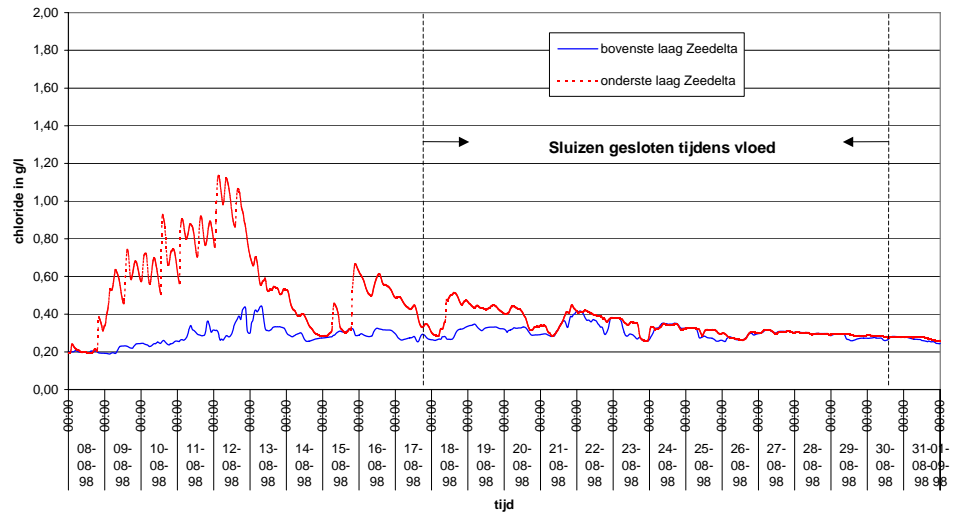
**Figuur 5.23**  
 Chlorideconcentratie Haringvlietsluizen  
 buiten in de referentieberekening



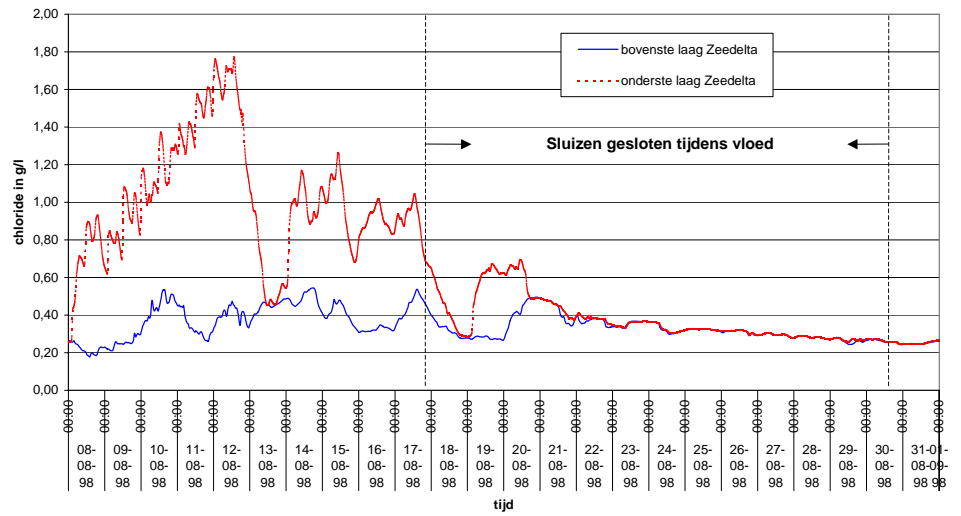
**Figuur 5.24**  
 Chlorideconcentratie Haringvlietsluizen-  
 binnen in de referentieberekening



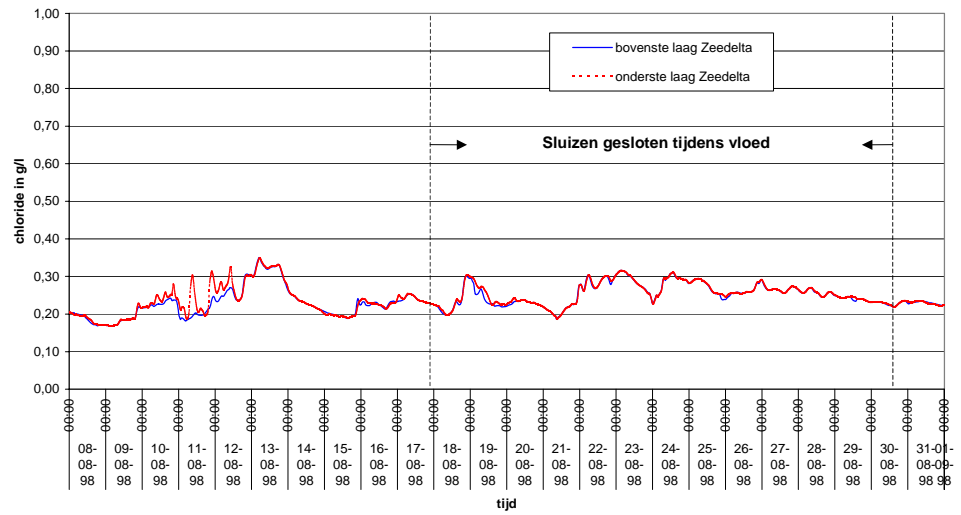
**Figuur 5.25**  
Chlorideconcentratie Hellevoetsluis in de referentieberekening



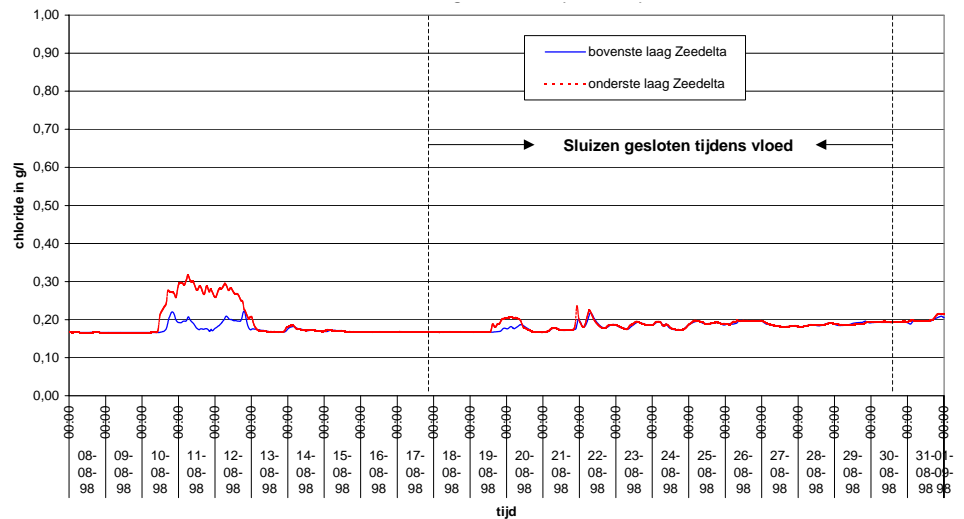
**Figuur 5.26**  
Chlorideconcentratie Zuiderdiep in de referentieberekening



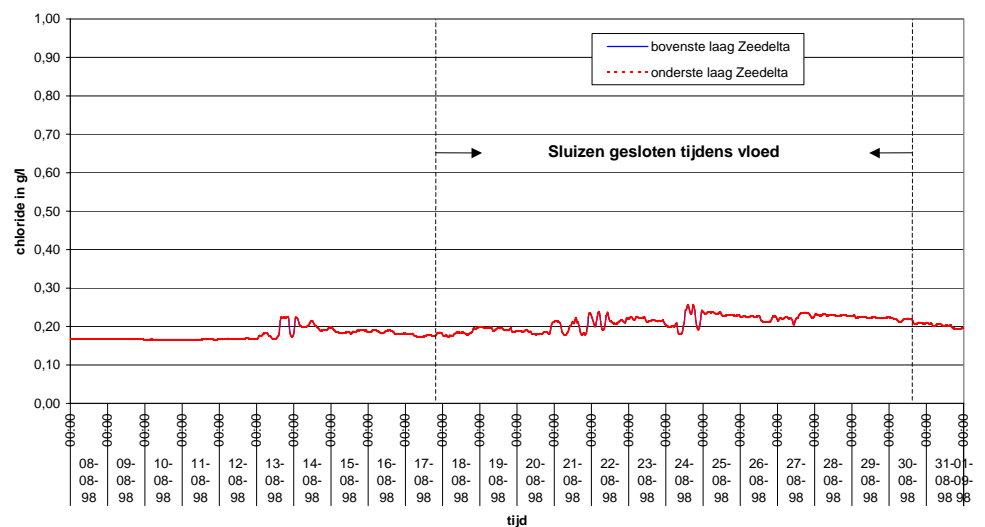
**Figuur 5.27**  
Chlorideconcentratie Middelharnis in de referentieberekening



**Figuur 5.28**  
Chlorideconcentratie Koert in de referentieberekening



**Figuur 5.29**  
Chlorideconcentratie Bernisse in de referentieberekening



Hieronder worden de resultaten van de referentieberekening besproken, er wordt hierbij onderscheid gemaakt tussen de periode dat de sluizen nog zowel gedurende de eb als de vloedperiode open staan alsmede tussen de periode die gemarkeerd wordt vanaf het moment dat de sluizen alleen gedurende de ebperioden nog geopend zijn.

### Sluizen zowel tijdens de eb als tijdens de vloed geopend

Te zien is dat in de periode vóórdat de afvoer beneden de  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$  uitkomt (en dus vóórdat in de zoetspoelscenario's het daadwerkelijke extra spuien plaatsvindt), het zout al voorbij de lijn monding Spui-Middelharnis is gekomen. Bij Koert is te zien dat in de periode 10 t/m 12 augustus de achtergrondconcentratie van  $170 \text{ mg/l}$  wordt overschreden, met name langs de bodem. Op dit moment is niet duidelijk wat de oorzaak is van de ongewenste overschrijding, de windsnelheid gedurende 10 t/m 12 augustus is in elk geval laag (i.e. tot maximaal  $8 \text{ m/s}$ , zie figuur 5.18). Te zien is ook in de afbeeldingen dat in een dergelijke periode van lage windsnelheid er weinig verticale menging plaatsvindt: er is een duidelijke gelaagdheid aanwezig, onderin in de waterkolom is het zouter dan bovenin de waterkolom. Een mogelijke verklaring voor de overschrijding zou kunnen zijn dat in deze periode de verticale menging gering is en dat er daardoor een snellere



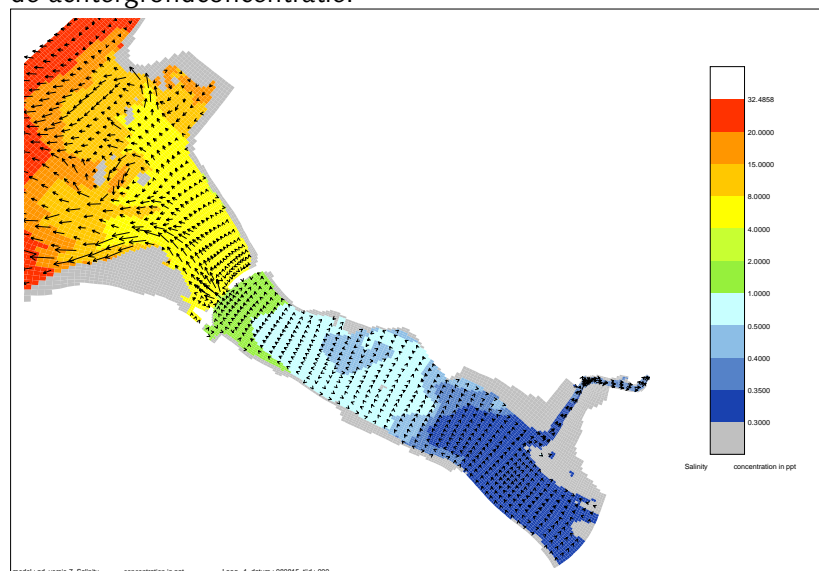
horizontale verspreiding van het zout plaatsvindt, met name in de onderste lagen van de waterkolom. Dit is een aspect wat verder onderzocht zou moeten worden. Om te beginnen is interessant de referentieberekening te vergelijken met een referentievergelijking gedraaid zonder wind.

### Sluizen alleen gedurende de ebperioden nog geopend

Zoals in de bovenstaande figuren te zien is, neemt de zoutconcentratie in het westelijk deel van het Haringvliet geleidelijk af vanaf het moment dat de sluizen tijdens vloed dicht staan. Echter, het zout verplaatst zich oostwaarts, want bij Koert treedt er vanaf het moment dat de sluizen tijdens vloed dicht staan na verloop van tijd een geleidelijke toename van de zoutconcentratie op zodat geleidelijk aan de waarde van 200 mg/l wordt overschreden.

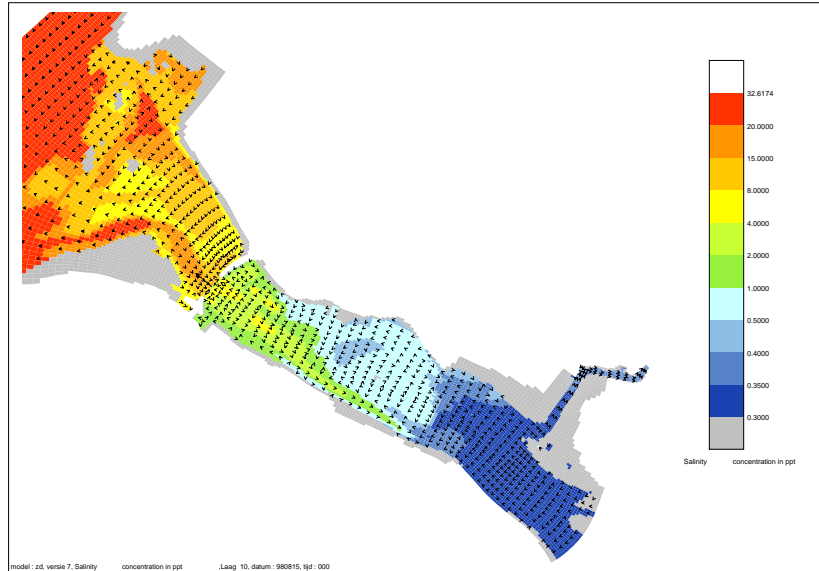
In de contourplots in figuur 5.30 t/m figuur 5.33 is het geschetste beeld ook te zien. Voor zowel de bovenste als de onderste laag van het model is de berekende zoutconcentratie te zien op 15 augustus 0:00 uur (1 getijde voordat het zoetspoelen begint) en op 21 augustus 0:00 uur, een willekeurig gekozen tijdstip na 15 augustus. In die 6 dagen tijd neemt de concentratie direct achter de sluizen alsmede in de zuidelijke geul van het Haringvliet af, de oostwaartse verplaatsing van het zout (met name richting Spui) is echter duidelijk zichtbaar. Te zien is ook dat op 21 augustus 0:00 uur er weinig gelaagdheid is, dit in tegenstelling tot de situatie op 15 augustus. Dit is te verklaren aan de hand van de wind: 21 augustus is gelegen in een periode met relatief hoge windsnelheden (zie ook figuur 5.18). De eenheid waarin het zoutgehalte in de contourplots is uitgedrukt, is ppt (en dus niet mg/l). 0.3 ppt komt ongeveer overeen met 170 mg/l, de in onderhavige berekening gehanteerde achtergrondconcentratie. De lijn die de overgang markeert tussen donkerblauw en het lichtere blauw (i.e. de 0.35 ppt-lijn), geeft de grens van het gebied weer waarin er een significante toename van de chlorideconcentratie is opgetreden t.o.v. de achtergrondconcentratie.

**Figuur 5.30**  
Zoutconcentratie in de bovenste laag van de referentieberekening op 15 augustus 0:00 uur



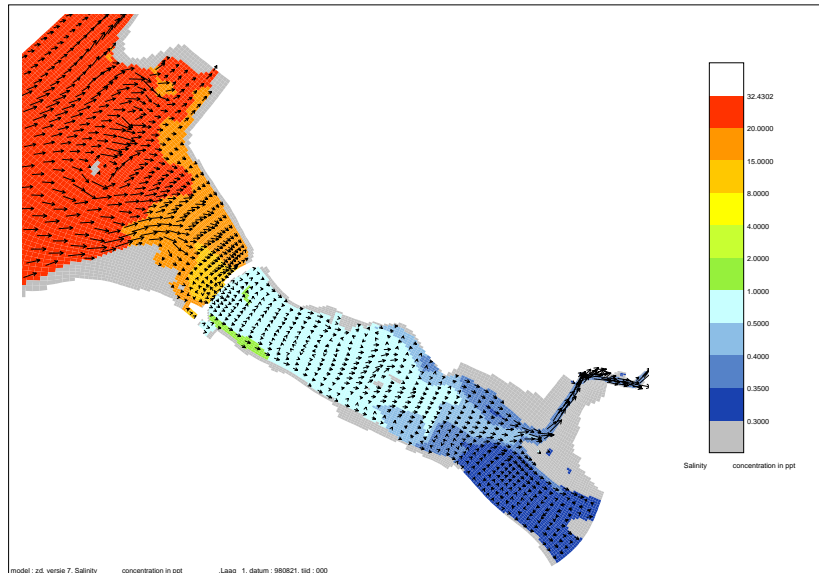
**Figuur 5.31**

Zoutconcentratie in de onderste laag van de referentieberekening op 15 augustus 0:00 uur



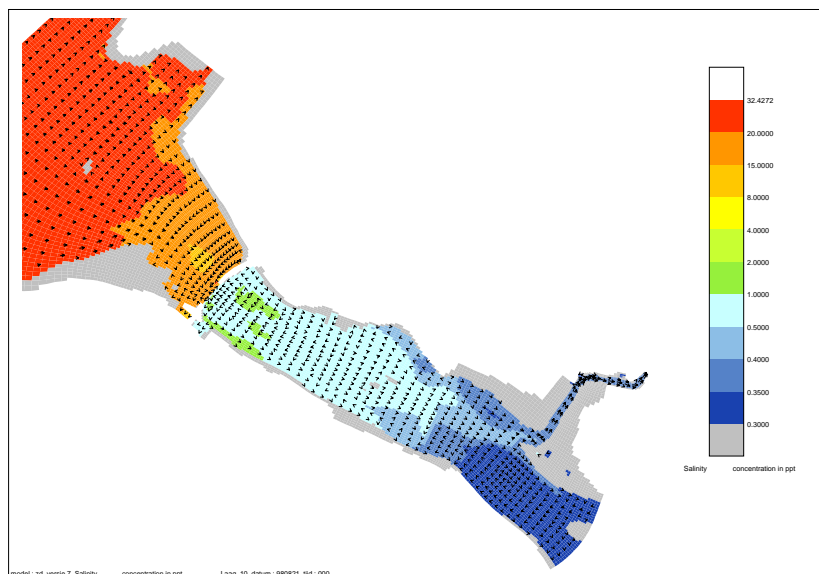
**Figuur 5.32**

Zoutconcentratie in ppt in de bovenste laag van de referentieberekening op 21 augustus 0:00 uur



**Figuur 5.33**

Zoutconcentratie in ppt in de onderste laag van de referentieberekening op 21 augustus 0:00 uur



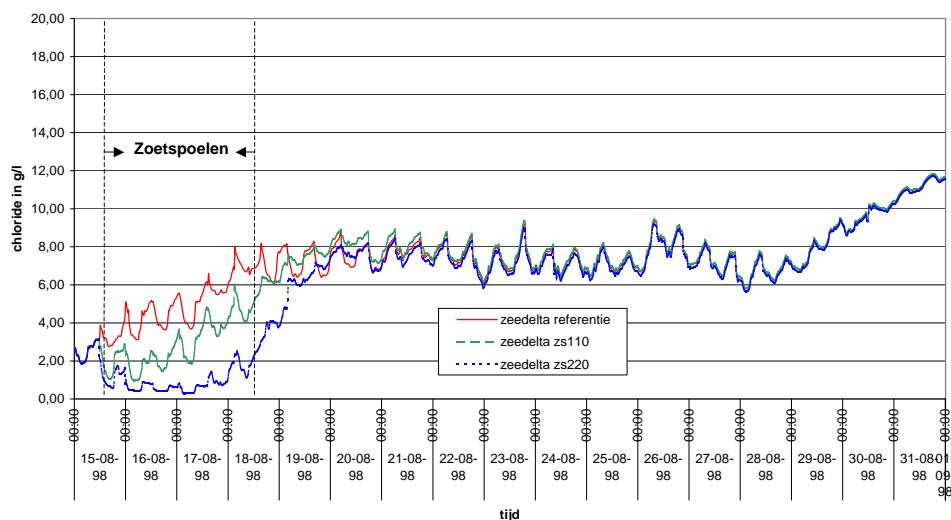
## Resultaten zoetspoelscenario's ZS220 en ZS110

Hieronder worden de resultaten van de beide zoetspoelscenario's met Zeedelta weergegeven en vergeleken met de uitkomsten van de referentieberekening. De onderste en bovenste laag worden nu voor iedere locatie in twee afzonderlijke grafieken weergegeven. In elke grafiek zijn telkens 3 grafieklijnen opgenomen, deze hebben betrekking op de referentieberekening alsmede op de scenario's ZS220 en ZS110. De resultaten worden afgebeeld vanaf 15 augustus, juist voordat met het zoetspoelen wordt aangevangen.

### • Effecten zoetspoelen voor het Haringvliet

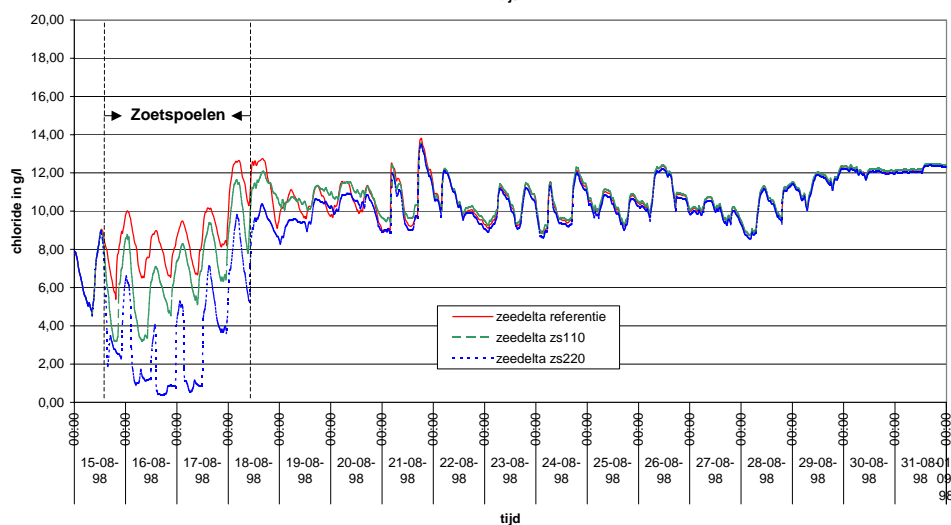
**Figuur 5.34**

Chlorideconcentratie in de bovenste laag bij Haringvlietsluizen-buiten



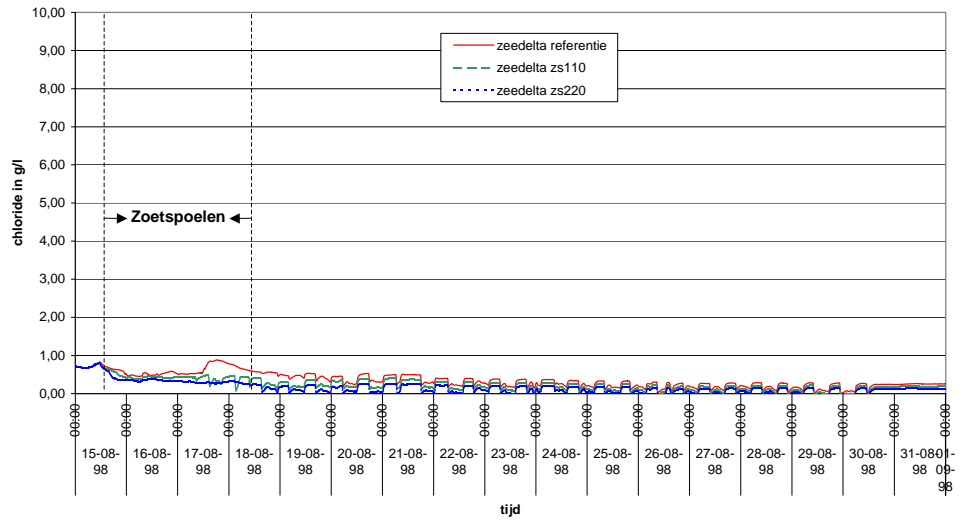
**Figuur 5.35**

Chlorideconcentratie in de onderste laag bij Haringvlietsluizen-buiten



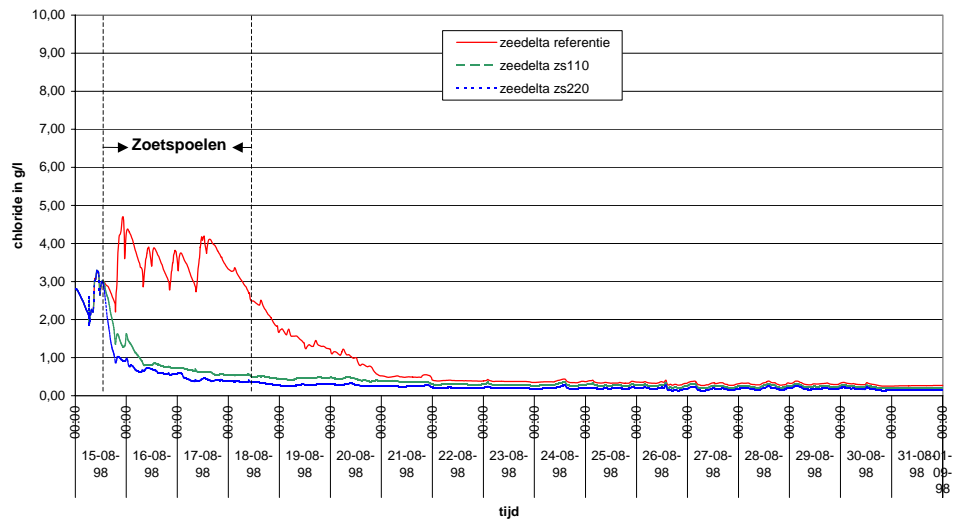
**Figuur 5.36**

Chlorideconcentratie in de bovenste laag bij Haringvlietsluizen-binnen



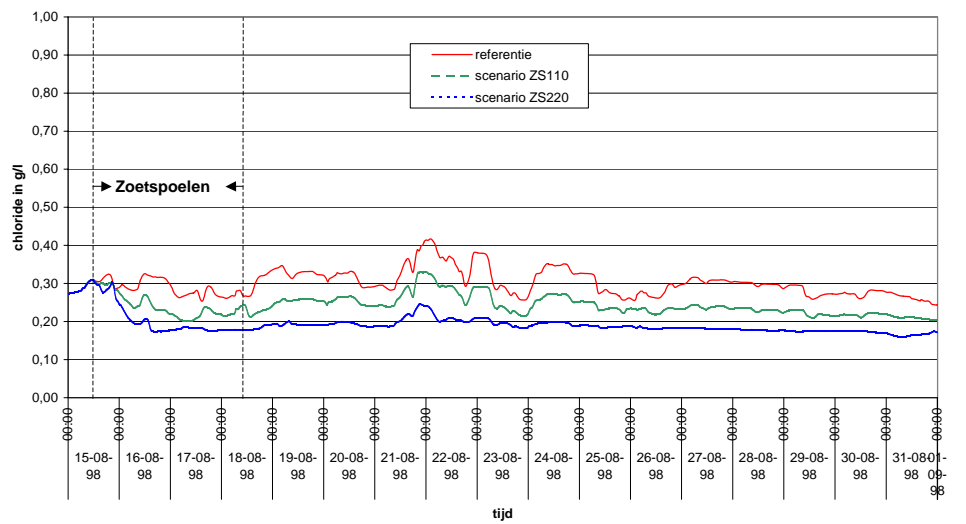
**Figuur 5.37**

Chlorideconcentratie in de onderste laag bij Haringvlietsluizen-binnen

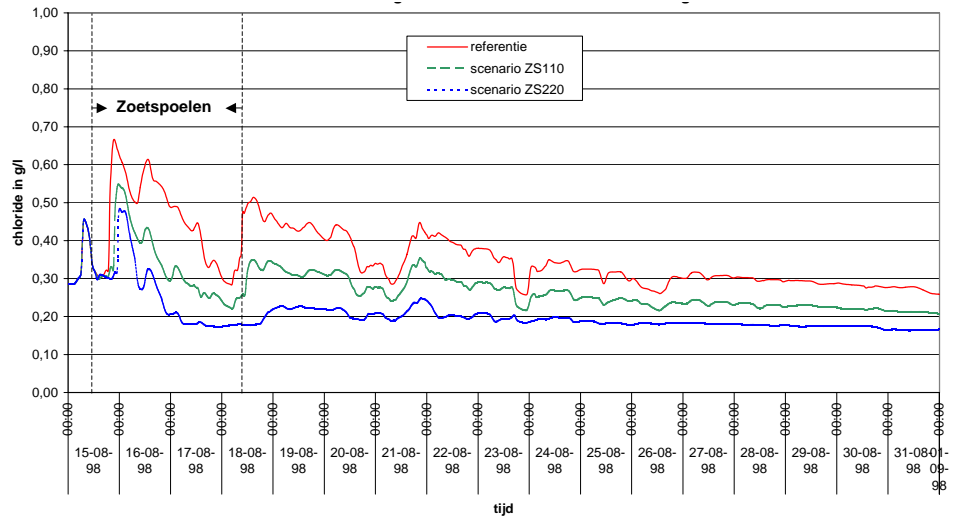


**Figuur 5.38**

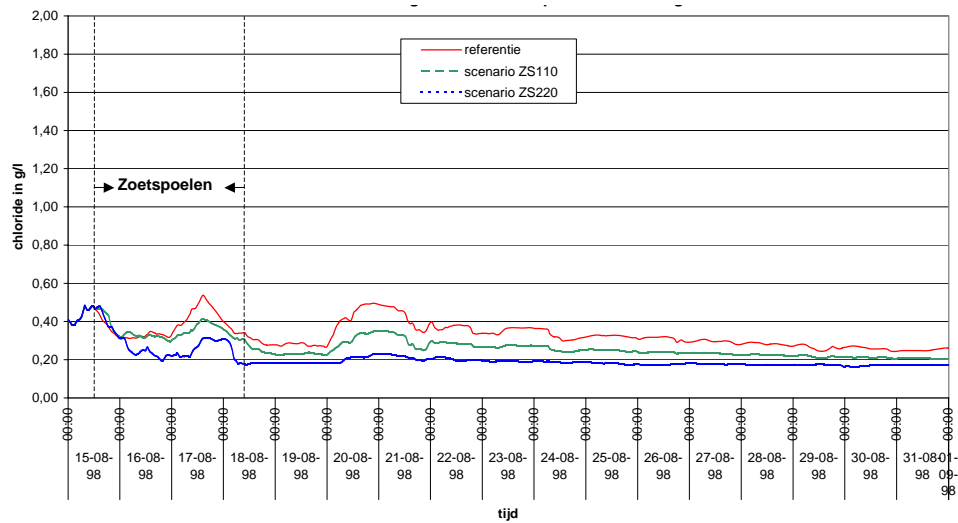
Chlorideconcentratie in de bovenste laag bij Hellevoetsluis



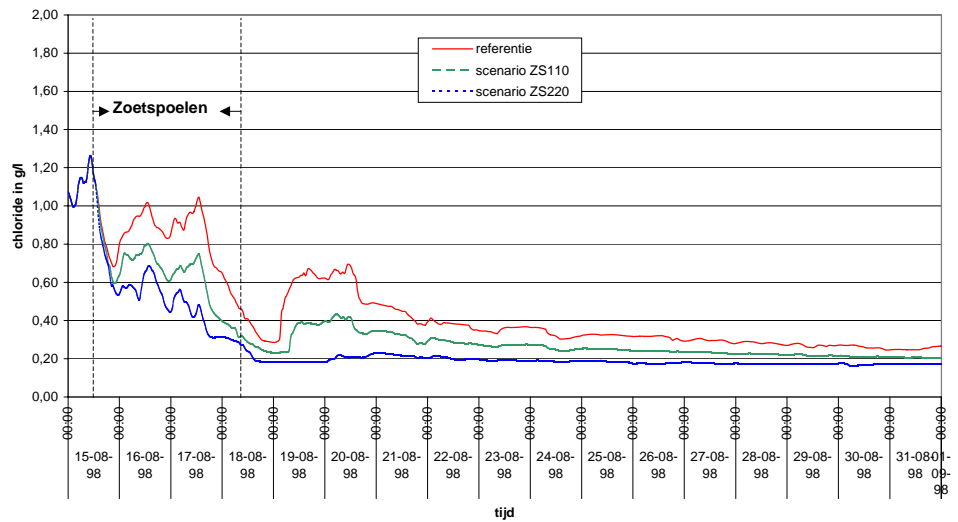
**Figuur 5.39**  
Chlorideconcentratie in de onderste laag bij Hellevoetsluis



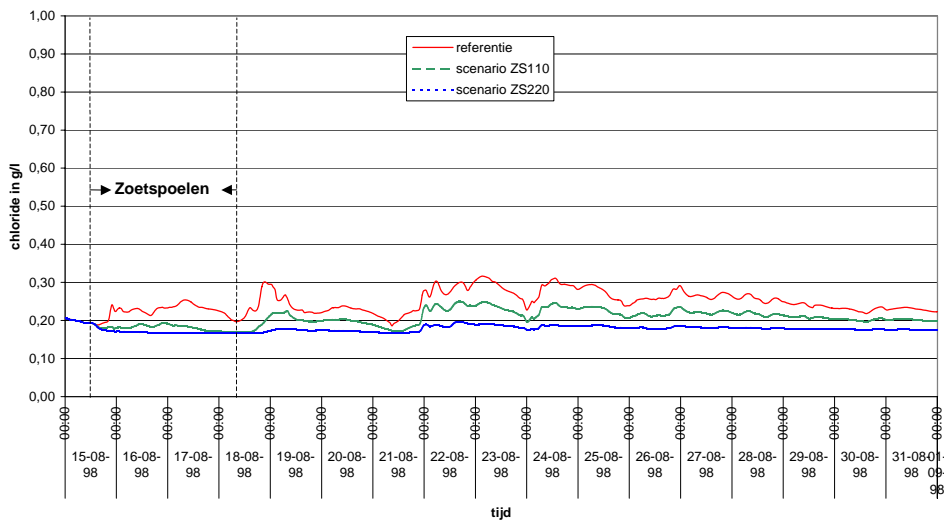
**Figuur 5.40**  
Chlorideconcentratie in de bovenste laag bij Zuiderdiep



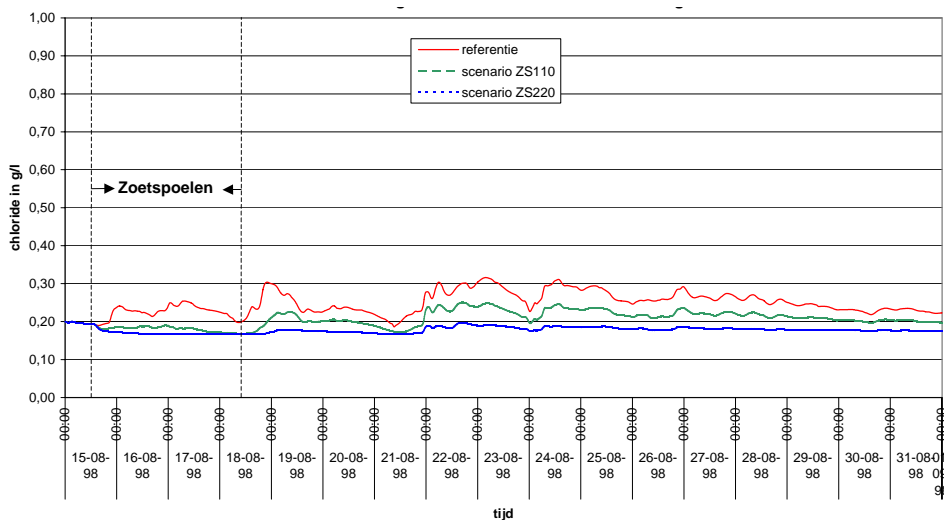
**Figuur 5.41**  
Chlorideconcentratie in de onderste laag bij Zuiderdiep



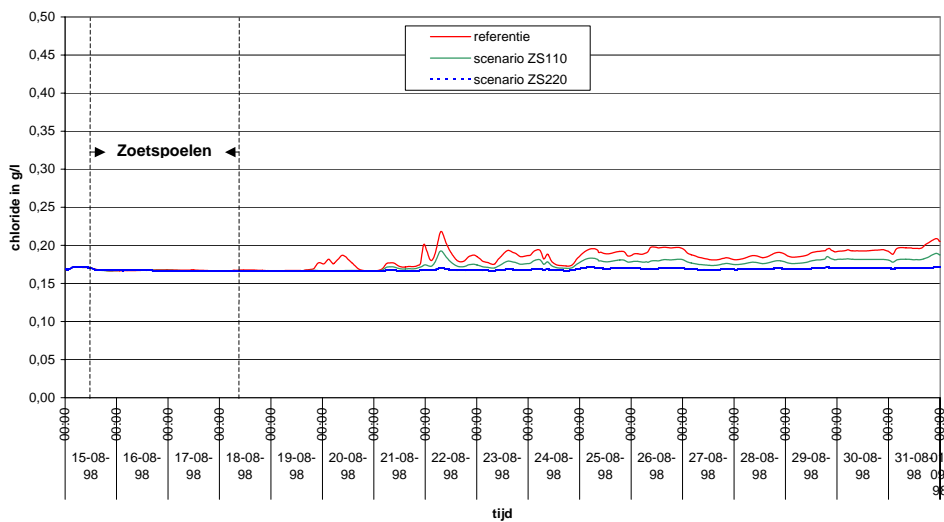
**Figuur 5.42**  
Chlorideconcentratie in de bovenste laag bij Middelharnis



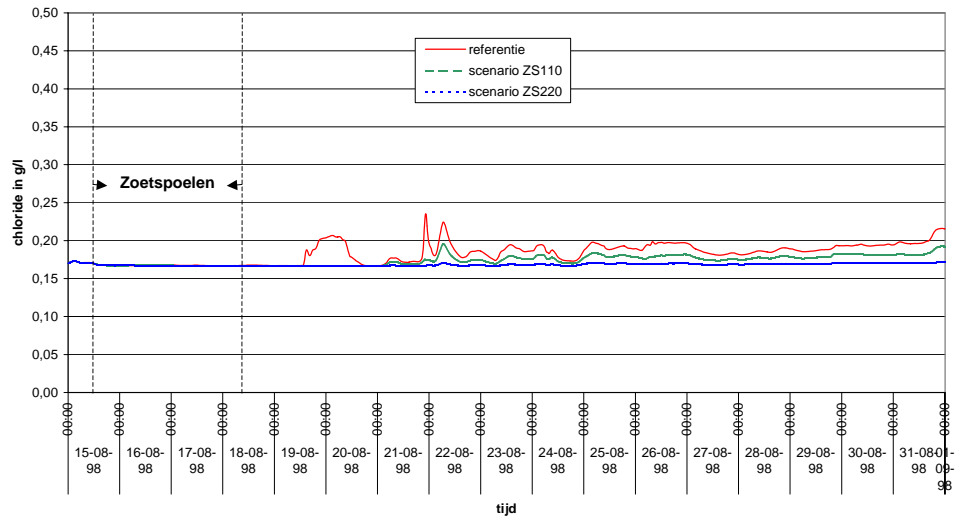
**Figuur 5.43**  
Chlorideconcentratie in de onderste laag bij Middelharnis



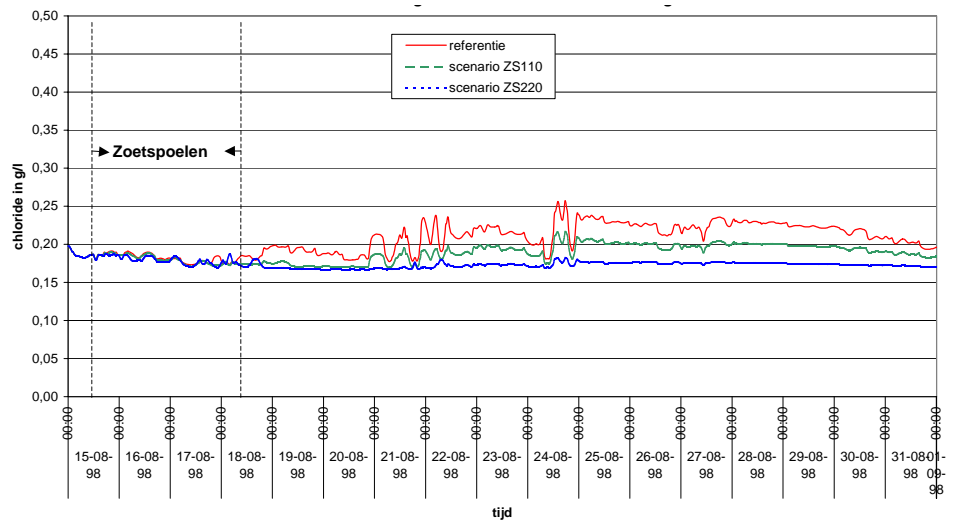
**Figuur 5.44**  
Chlorideconcentratie in de bovenste laag bij Koert



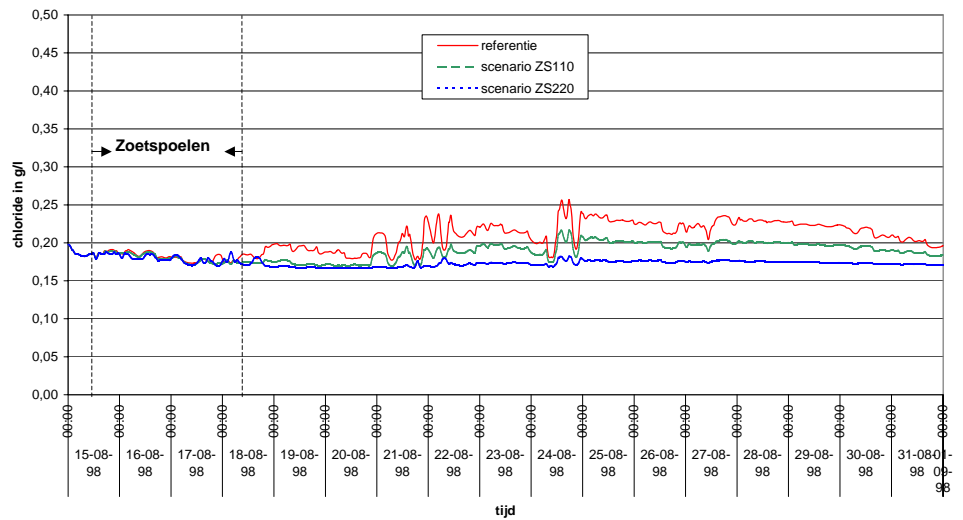
**Figuur 5.45**  
Chlorideconcentratie in de onderste laag bij Koert



**Figuur 5.46**  
Chlorideconcentratie in de bovenste laag bij Bernisse

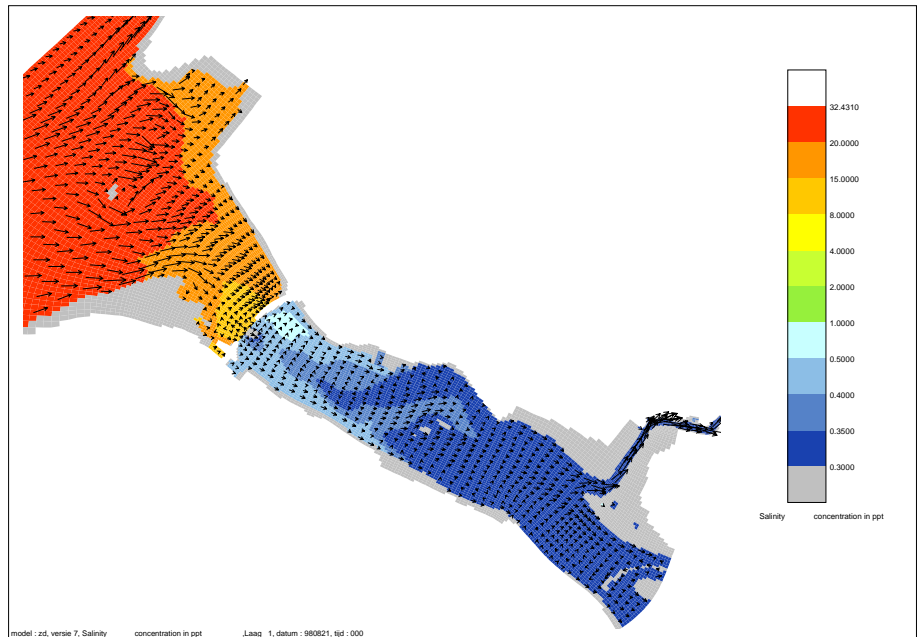


**Figuur 5.47**  
Chlorideconcentratie in de onderste laag bij Bernisse



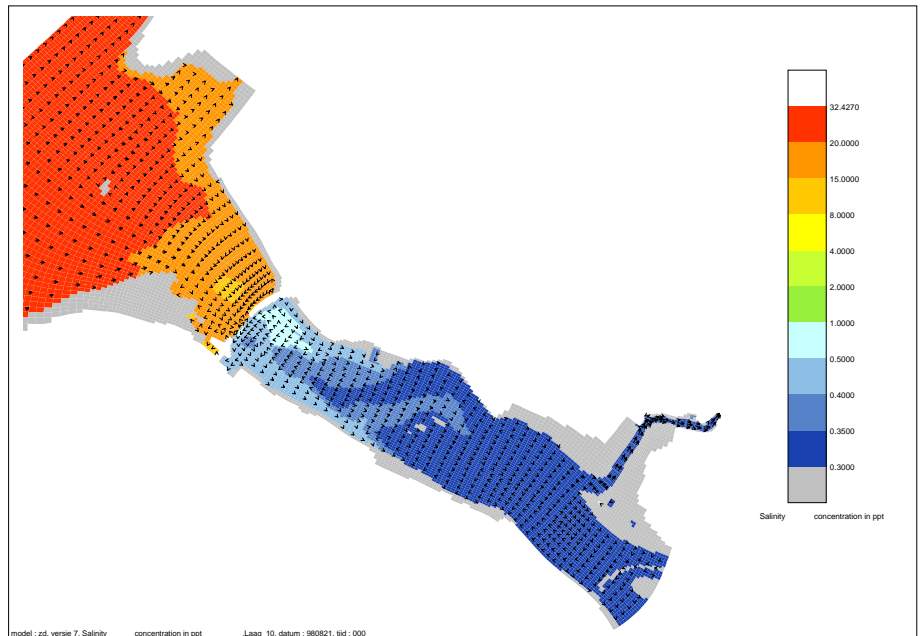
**Figuur 5.48**

Zoutconcentratie in ppt in de bovenste laag van de berekening ZS220 op 21 augustus 0:00 uur



**Figuur 5.49**

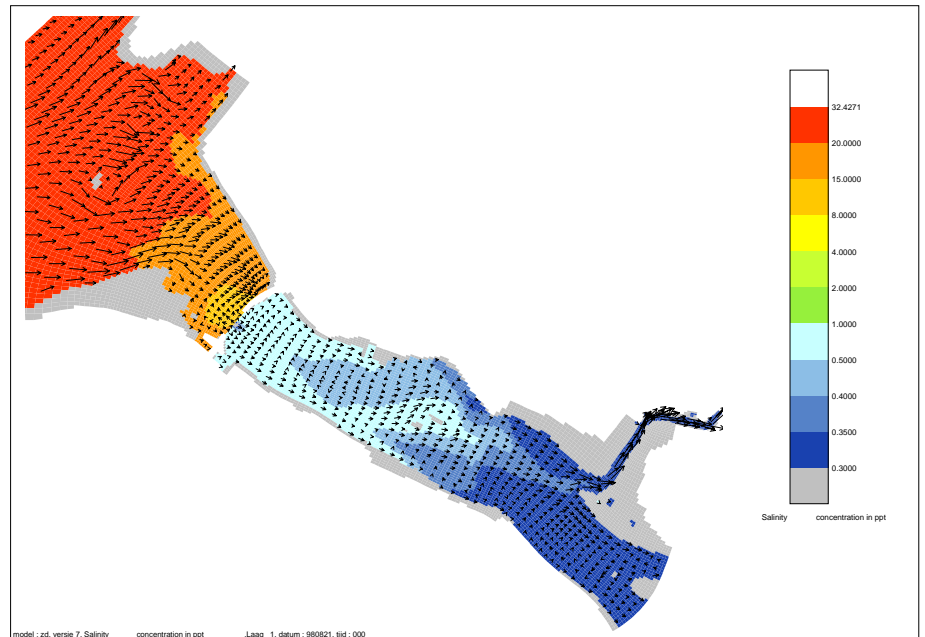
Zoutconcentratie in ppt in de onderste laag van de berekening ZS220 op 21 augustus 0:00 uur





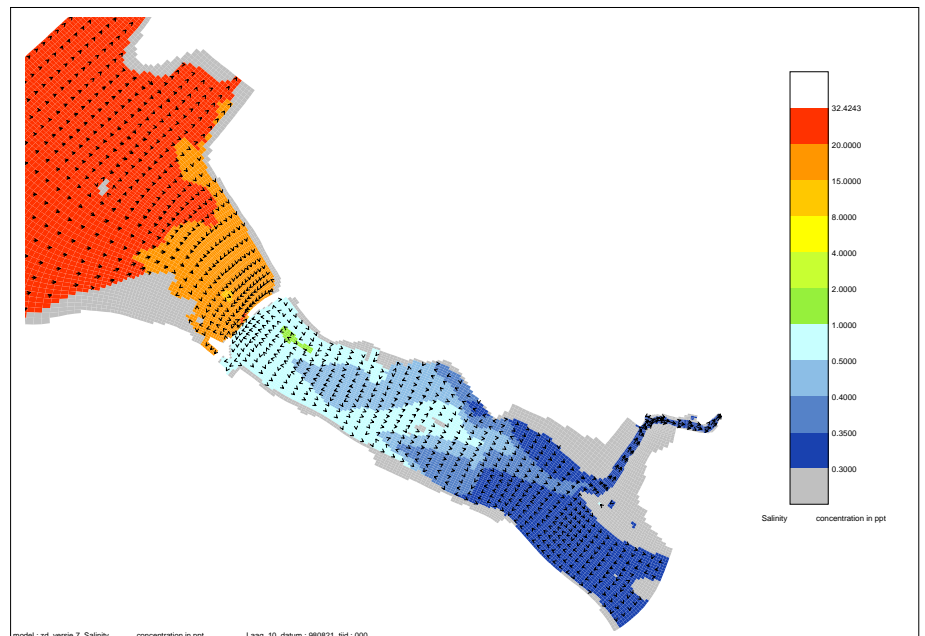
**Figuur 5.50**

Zoutconcentratie in ppt in de bovenste laag van de berekening ZS110 op 21 augustus 0:00 uur



**Figuur 5.51**

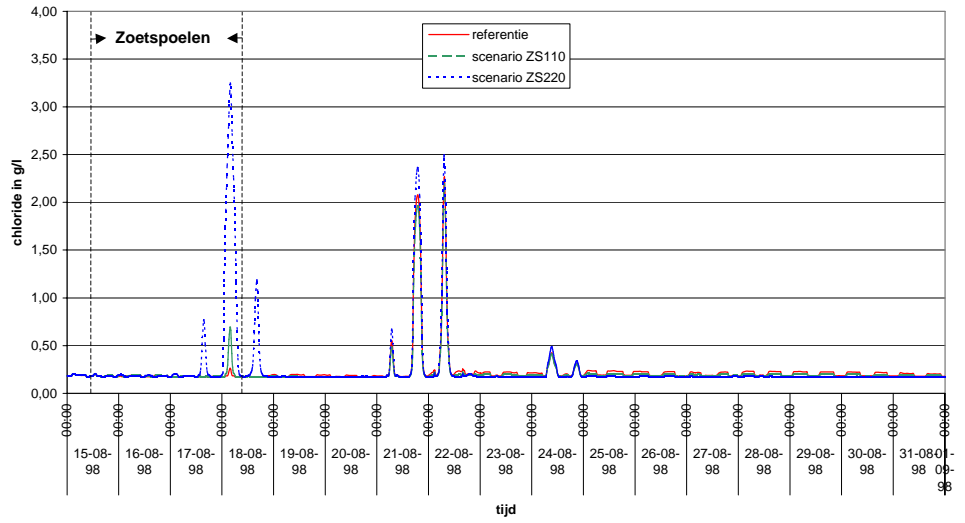
Zoutconcentratie in ppt in de onderste laag van de berekening ZS110 op 21 augustus 0:00 uur



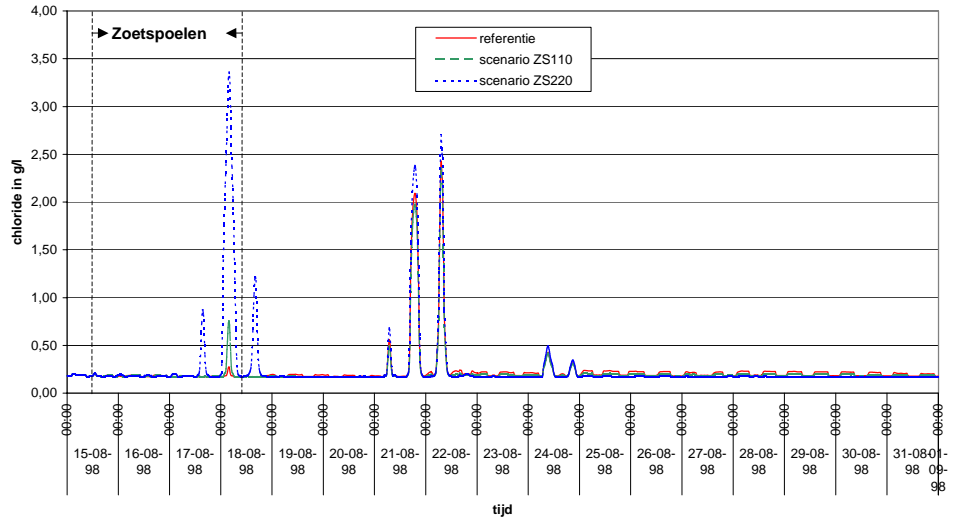
Te zien is dat in het scenario ZS220 vrijwel al het zout is uitgespoeld. Vrijwel overal is de chlorideconcentratie min of meer gelijk aan de achtergrondconcentratie, met uitzondering van de diepe put ten noorden van de sluisen en een klein gebiedje direct achter de sluisen. In de tijdreeksen van onder andere Middelharnis, Koert en Bernisse is te zien dat het kleine beetje zout dat achterblijft vlakbij de sluisen niet na verloop van tijd onder invloed van dispersie in de buurt van genoemde locaties komt. Voor het Haringvliet is het extra spuien volgens dit scenario dus voldoende effectief geweest. In het geval van het scenario ZS110 blijkt dat het zout in onvoldoende mate is uitgespoeld. Dit blijkt heel duidelijk uit de contourplots alsmede uit de tijdreeksen, waarin te zien is dat na verloop van tijd de chlorideconcentratie oploopt (Middelharnis, Koert, Bernisse).

• Effecten zoetspoelen op de noordrand

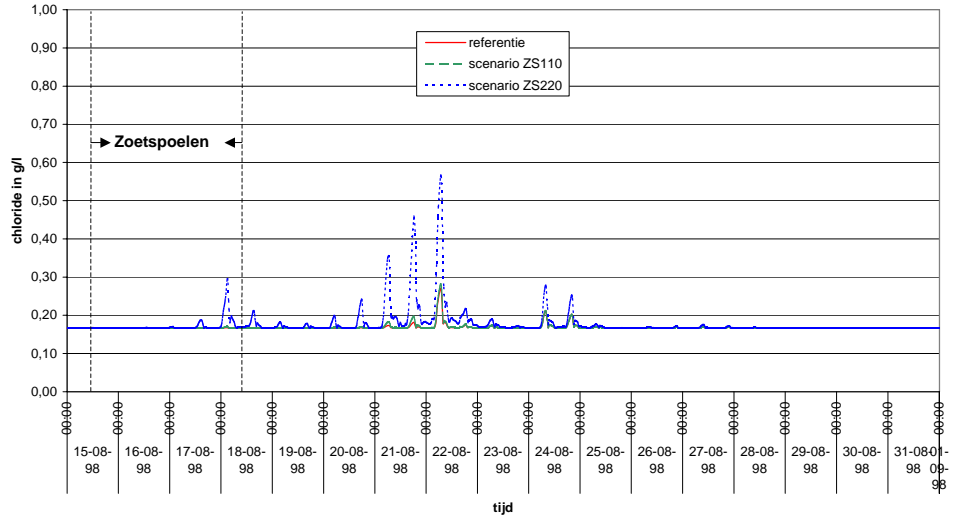
**Figuur 5.52**  
Chlorideconcentratie in de bovenste laag bij Beerenplaat (Spui)



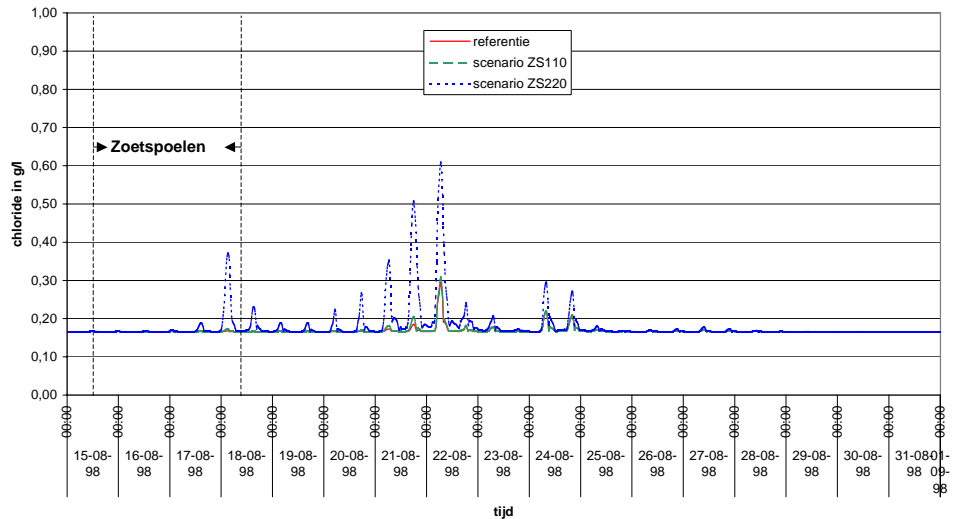
**Figuur 5.53**  
Chlorideconcentratie in de onderste laag bij Beerenplaat (Spui)



**Figuur 5.54**  
Chlorideconcentratie in de bovenste laag bij Brienoord



**Figuur 5.55**  
Chlorideconcentratie in de onderste laag bij Brienoord

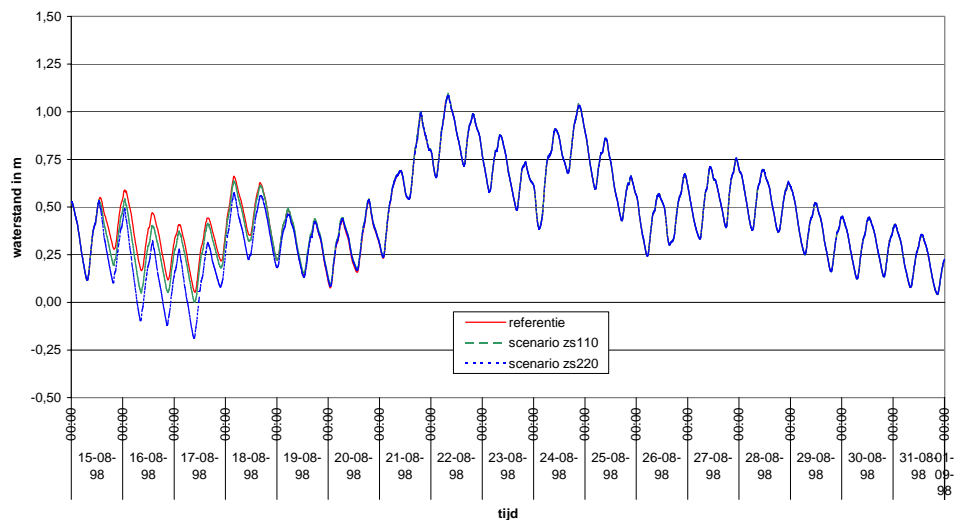


Het scenario ZS220 geeft bij Beerenplaat-Spui in de dagen dat er extra gespuid wordt, ook extra overschrijdingen t.o.v. de referentiesituatie. In de periode ná het zoetspoelen heeft dit scenario geen extra overschrijdingen tot gevolg. Voor het scenario ZS110 leidt het extra spuien alleen tot een eenmalige overschrijding (in de periode dat extra gespuid wordt), op een moment dat ook in de referentiesituatie een kleine toename in de chlorideconcentratie zichtbaar is. Voor de Nieuwe Maas – locatie Brienoord ligt dit echter anders. Volgens het scenario ZS220 zijn er niet alleen extra overschrijdingen tijdens het zoetspoelen zelf, maar ook in de periode daarna (met name in de periode 21 en 22 augustus) Dit geldt zowel voor de bovenste als de onderste laag. De extra overschrijdingen in de periode ná het zoetspoelen treden veelal op in combinatie met een sterke (noord)westenwind. Zoetspoelen volgens het scenario ZS110 levert in deze situatie voor locatie Brienoord echter geen toename van de zoutindringing t.o.v. de referentiesituatie.

- **Effecten zoetspoelen op de waterstanden bij Moerdijk**

In figuur 5.56 is de waterstand bij Moerdijk weergegeven voor de 3 berekeningen.

**Figuur 5.56**  
Berekende waterstanden bij Moerdijk



---

De waterstand bij Moerdijk geeft een verlaging te zien t.g.v. het extra spuien van water via de Haringvlietsluizen. Dit treedt alleen op in de periode van 6 getijden dat er extra wordt gespuid. In scenario ZS110 blijft de waterstand bij Moerdijk nog wel boven NAP, maar bij scenario ZS220 treedt tijdens een aantal getijden een waterstand van 10 tot 15 cm beneden NAP op.

### **Discussie**

Geconcludeerd kan worden dat – vanuit het Haringvliet gezien – het de voorkeur verdient om het zoetspoelen uit te voeren volgens het scenario ZS220. Echter voor de noordrand (met name de Nieuwe Maas) geeft dit een ongewenste toename van de zoutindringing, die zich niet beperkt tot enkel de dagen dat extra wordt gespuid maar ook in de periode daarna in combinatie met harde westenwind. Bovendien geeft scenario ZS220 gedurende de 6 getijden dat er extra gespuid wordt een verlaging van de waterstand bij Moerdijk tot beneden NAP.

Vanuit de noordrand gezien scoort ZS110 aanmerkelijk gunstiger (i.e. alleen geringe toename van zoutindringing langs de Oude Maas tijdens de periode dat er zoetgespoeld wordt), alleen wordt dan niet al het zout uit het Haringvliet gespoeld. Dit laatste heeft tot gevolg dat de lijn monding Spui-Middelharnis wordt overschreden en dat er na verloop van tijd verzilting optreedt van het innamepunt Koert en Bernisse. Een mogelijke oplossing hiervoor is om in de praktijk op een dusdanige manier te gaan zoetspoelen dat daarbij de grootte van het extra te spuien debiet tussen de debieten als gespuid in de scenario's ZS220 en ZS110 in ligt. De vraag die daarbij dan oprijst is of de grootte van het te spuien debiet dichterbij het debiet van ZS220 zou moeten liggen of juist dichterbij die van ZS110. Ofwel, er moet een afweging gemaakt worden tussen of meer negatieve effecten voor het Haringvliet (en dan minder ongunstige effecten langs de noordrand) of andersom (i.e. minder negatieve effecten voor het Haringvliet in combinatie met meer ongunstige effecten langs de noordrand). Bij deze afweging moet evenwel gerealiseerd worden dat het zout dat na het zoetspoelen in het Haringvliet achter blijft, niet meer beheersbaar is. Nooit is volledig uit te sluiten dat het zout kan zich onder invloed van de wind en dispersie oostwaarts gaan verspreiden tot voorbij de lijn monding Spui-Middelharnis. Er zijn in dat stadium echter geen beheersmaatregelen meer voorhanden om deze oostwaartse verspreiding van het zout tegen te gaan. De afvoer is namelijk in de periode na het zoetspoelen dusdanig laag, dat het achtergebleven zout niet meer kan worden uitgespoeld. Het gevolg kan zijn dat de inlaat van o.a. Koert en Bernisse voor onbepaalde en lange tijd gestremd kan raken door toedoen van verzilting, zonder dat hier dan nog op te sturen is. De ongunstige effecten van het extra spuien aan de noordrand zijn daarentegen tijdelijk van aard, het blijft namelijk beperkt tot (een deel van) de vloedperiodes en dan met name tijdens de periode dat er extra gespuid wordt. Het extra spuien geeft in de periode ná het extra spuien alleen een toename van zoutindringing langs de Nieuwe Maas in combinatie met een sterke (noord)westenwind, maar ook dan blijft de overschrijding beperkt tot (een deel van) de vloedperiode.

### Verdere ontwikkeling zoetspoelprogramma

Gesteld kan dus worden dat de duur van de stremming van de zoetwaterinname aan de zuidrand naar verwachting veel langer zal zijn dan aan de noordrand. Bovendien is de zouttong vanuit het westelijk deel van het Haringvliet niet meer beheersbaar zodra de afvoer dusdanig laag is dat de sluisen zowel gedurende de eb als de vloed volledig gesloten zijn. Bij het ontwikkelen van het uiteindelijke zoetspoelprogramma moet dus als uitgangspunt gehanteerd worden dat het Haringvliet volledig ontdaan moet worden van zout, met uitzondering van de diepe putten die ook onder LPH'84 al zout bevatten (van Spijk 2003). Er moet dus bekeken worden of er een scenario bestaat waarbij aan dit uitgangspunt is voldaan, maar waarbij er minder zoutindringing langs de noordrand plaatsvindt dan volgens ZS220. In onderhavig onderzoek is ervoor gekozen om het scenario ZS180<sup>1</sup> te onderzoeken, een scenario dat tussen de beide scenario's in ligt maar wel eentje die dichter in de buurt komt van het spuis scenario ZS220. In tabel 5.4 zijn de bijbehorende sluisopeningen weergegeven.

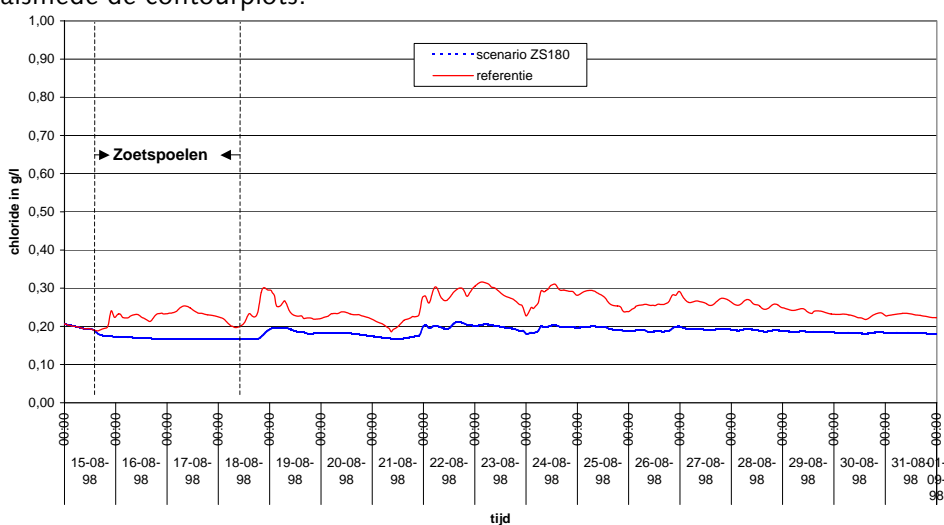
**Tabel 5.4**  
Overzicht van de per scenario ingestelde doorstroomopening van de Haringvlietssluisen

getij	Referentie Spuiopening Eb/Vloed m <sup>2</sup>	Scenario zs110 Spuiopening Eb/Vloed m <sup>2</sup>	Scenario zs220 Spuiopening Eb/Vloed m <sup>2</sup>	Scenario zs180 Spuiopening Eb/Vloed m <sup>2</sup>
1	125/25	400/0	750/0	600/0
2	125/25	300/0	600/0	500/0
3	100/25	150/0	500/0	375/0
4	100/25	150/0	500/0	375/0
5	50/0	100/0	250/0	200/0
6	50/0	100/0	250/0	200/0

### • Effectiviteit zoetspoelen

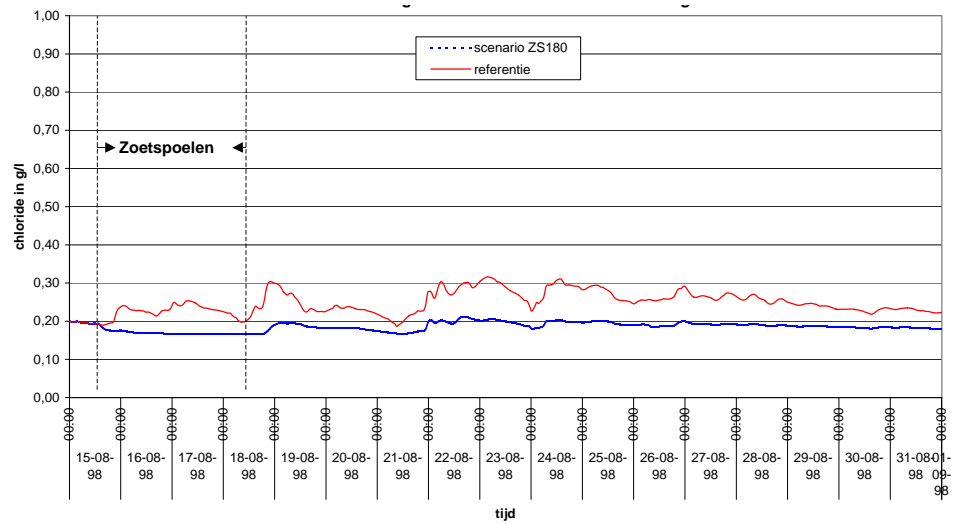
Getoetst moet worden of voor de hydrodynamische omstandigheden als in deze berekening het Haringvliet is ontdaan van het zout, hiertoe zijn de grafieken weergegeven voor Middelharnis, Koert en Bernisse alsmede de contourplots.

**Figuur 5.57**  
Chlorideconcentratie in de bovenste laag bij Middelharnis

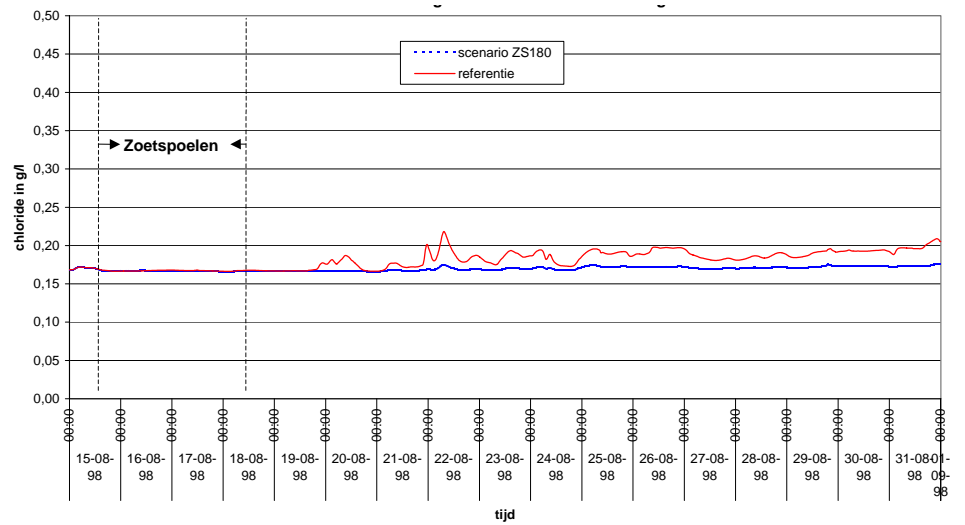


<sup>1</sup> Te spuien debiet bedraagt ca. 180 m<sup>3</sup>

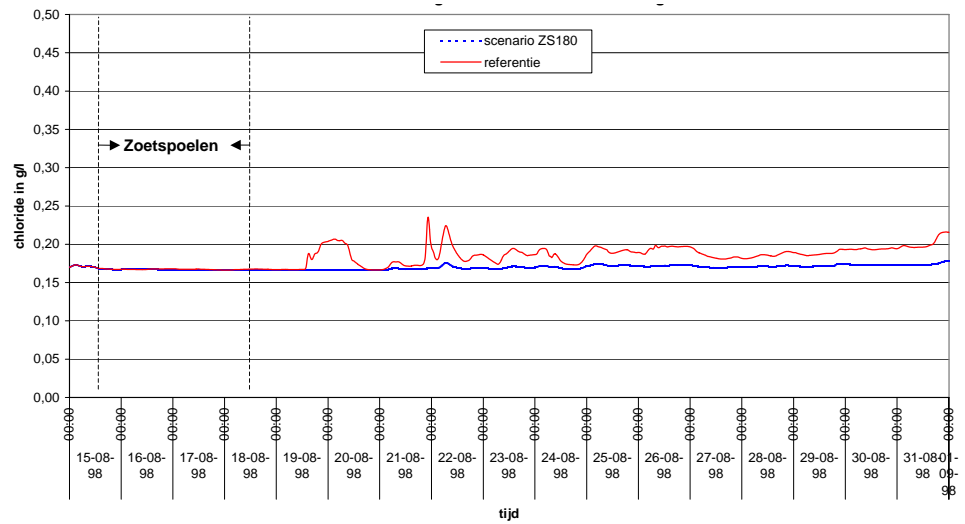
**Figuur 5.58**  
Chlorideconcentratie in de onderste laag bij Middelharnis



**Figuur 5.59**  
Chlorideconcentratie in de bovenste laag bij Koert

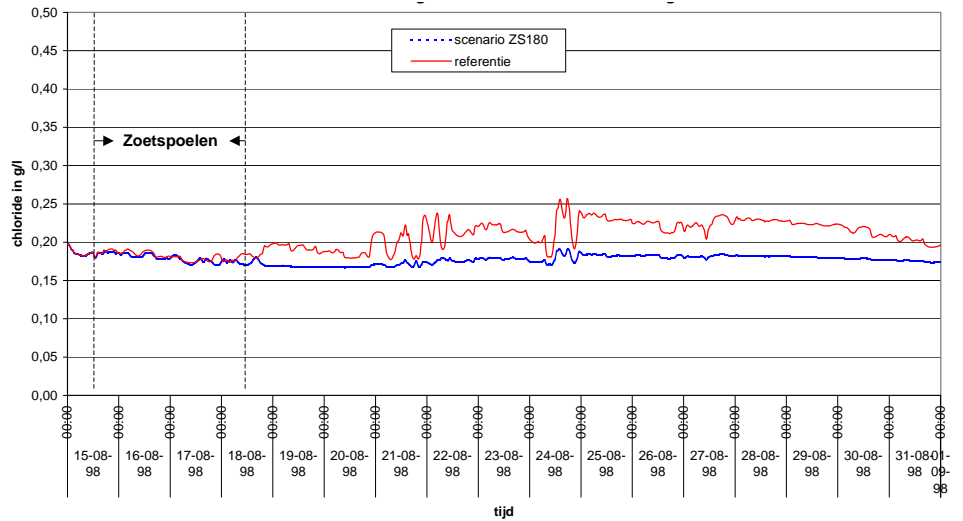


**Figuur 5.60**  
Chlorideconcentratie in de onderste laag bij Koert



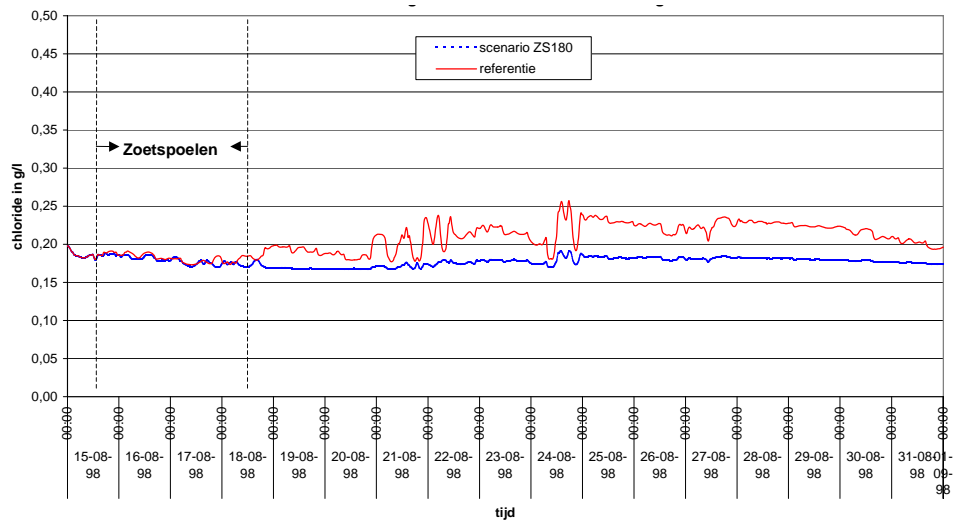
**Figuur 5.61**

Chlorideconcentratie in de bovenste laag bij Bernisse



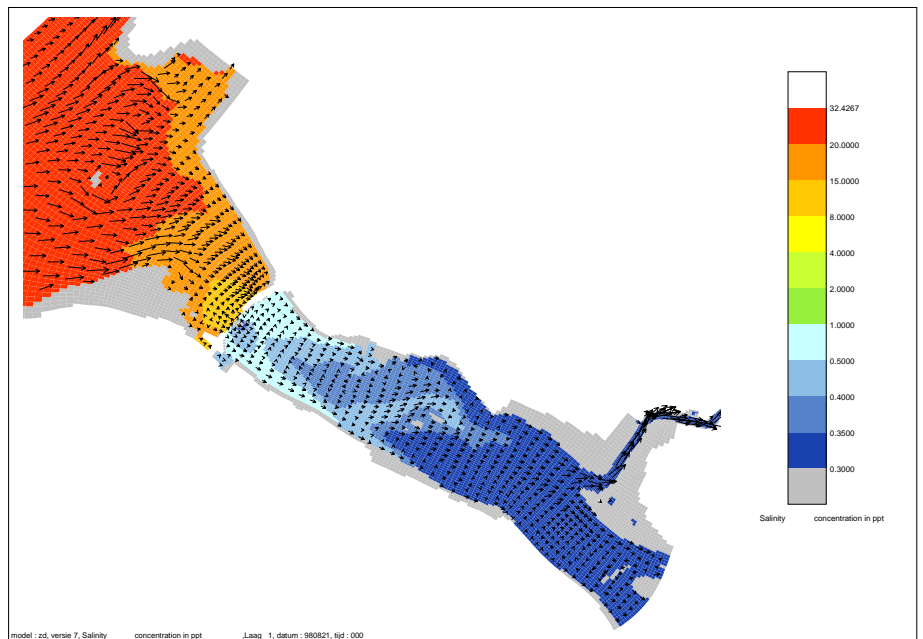
**Figuur 5.62**

Chlorideconcentratie in de onderste laag bij Bernisse



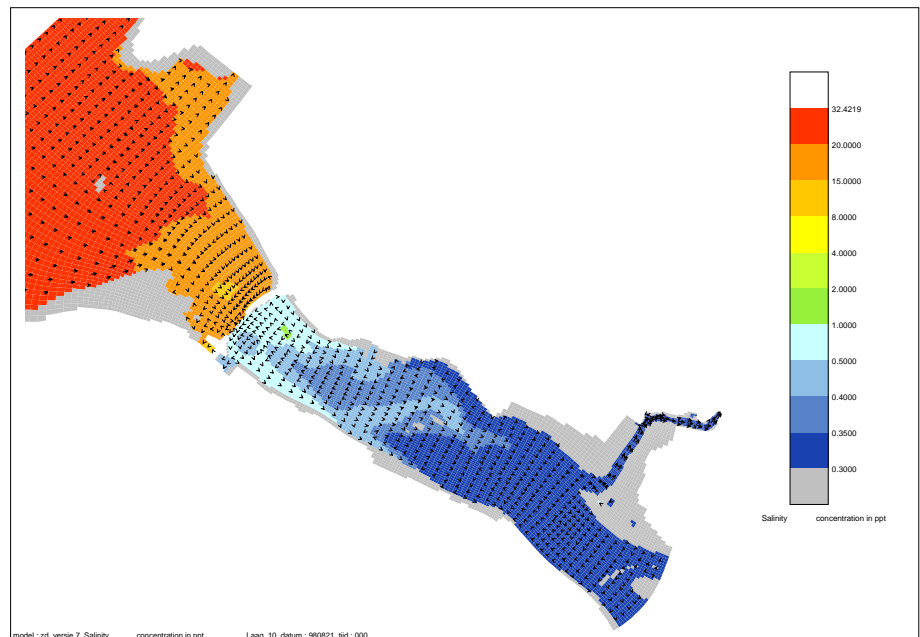
**Figuur 5.63**

Zoutconcentratie in ppt in de bovenste laag van de berekening ZS180 op 21 augustus 0:00 uur



**Figuur 5.64**

Zoutconcentratie in ppt in de onderste laag van de berekening ZS180 op 21 augustus 0:00 uur



Gesteld kan worden dat het Haringvliet in voldoende mate wordt zoetgespoeld. Het zout dat achterblijft in het Haringvliet komt niet voorbij de lijn monding Spui-Middelharnis. Er treden in de periode na het zoetspoelen dan ook geen verhogingen op bij bijvoorbeeld Koert en de Bernisse.

- **Effecten zoutindringing langs de noordrand**

- Oude Maas/Beerenplaat-Spui

Er treedt alleen een extra overschrijding op bij Beerenplaat-Spui tijdens het zoetspoelen. Deze overschrijding was natuurlijk te verwachten, aangezien deze ook al optrad bij scenario ZS110.

- Nieuwe Maas/Brienoord

De overschrijdingen zoals gevonden voor scenario ZS220 treden ook op bij scenario ZS180, dus ook in de periode na het zoetspoelen in combinatie met harde westenwind. Het aantal overschrijdingen alsmede de duur van de overschrijdingen verandert niet of nauwelijks t.o.v. ZS220, de maximale chlorideconcentratie tijdens een bepaalde overschrijding neemt wel af.

- waterstand bij Moerdijk

Het beeld t.o.v. ZS220 verandert niet voor scenario ZS180: dezelfde onderschrijdingen zoals verkregen bij scenario ZS220 treden ook op bij scenario ZS180.

### **Implementatie zoetspoelen in huidige HOP-programma**

De volgende stap is om op basis van de doorgerekende scenario's te komen tot de implementatie van het zoetspoelen in het huidige HOP-versie 4. In principe zal het zoetspoelprogramma (i.e. de uiteindelijke hefhoogtes die in een bepaalde getijperiode ingesteld worden alsmede het aantal getijden dat er extra wordt gespuid) per situatie verschillend zijn, omdat elke keer de combinatie van rivierafvoer(verloop) en wind



---

verschillend is en zal afwijken van de omstandigheden waarmee er in onderhavig zoetspoelonderzoek gerekend is. Om hier nadere invulling aan te kunnen geven, moeten de volgende aspecten nader bekeken worden:

- In hoeverre hangen de effectiviteit van het zoetspoelen en de daarmee gepaard gaande ongunstige effecten langs de noordrand af van het afvoerverloop?
- Wat is de rol van de wind in de periode dat er extra gespuid wordt.
- Wat is de voorspelbaarheid van lage Bovenrijnafvoer

#### Rol afvoerverloop bij zoetspoelen

In onderhavig onderzoek is uitgegaan van een (hypothetisch) afvoerverloop, waarin de afvoer in de periode dat er extra wordt gespuid met ca. 100 m<sup>3</sup>/s in 6 getijden afneemt. Wanneer in de praktijk het afvoerverloop sneller daalt dan in onderhavige berekening, dan zal gedurende de eerste ebperioden van de zoetspoelperiode de sluisopeningen groter moeten worden gekozen dan volgens ZS180 en aan het einde van de zoetspoelperiode juist kleiner (in verband met voorkomen van een toename van de zoutindringing langs de noordrand). Ook kan ervoor gekozen worden om het zoetspoelen iets eerder te beginnen en/of de zoetspoelperiode te verkorten, bijvoorbeeld van 6 getijden naar 5 of 4 getijden. E.e.a. hangt nauw samen met de wind gedurende de periode van zoetspoelen, zie hieronder. Wanneer daarentegen het afvoerniveau langzamer afneemt dan in onderhavige berekeningen, dan kan ervoor gekozen worden om het extra spuien over meer dan 6 getijperioden te verdelen en de sluisopeningen per ebperiode kleiner te kiezen om zo de effecten aan de noordrand gedurende periode van zoetspoelen te verminderen. Wel moeten de sluisopeningen zodanig gekozen worden, dat – over de gehele periode dat er wordt zoetgespoeld – er totaal ca. 180 Mm<sup>3</sup> wordt uitgespoeld. Uit de berekeningen is namelijk naar voren gekomen dat het zout dan voldoende is uitgespoeld.

#### Rol wind tijdens zoetspoelen

- a. Voor de verspreiding van zout in het westelijk deel van het Haringvliet tijdens het zoetspoelen
  - b. Voor de zoutindringing langs de noordrand.
- 
- a. Er is nog onvoldoende bekend wat het effect is van de wind op de verspreiding van het in het Haringvliet aanwezige zout (met name ten tijde van lage rivierafvoer), zie ook de bespreking van de resultaten voor de referentiesituatie - periode voorafgaand aan het zoetspoelen. Zodoende is ook onbekend hoe de mate van effectiviteit van het zoetspoelen zelf door de wind wordt beïnvloed, de windinvloed kan zodanig zijn dat het uitspoelen van het zout vergemakkelijkt of juist omgekeerd.
  - b. Bij (noord)westenwind dringt de zouttong langs de noordrand verder de Rijn-Maasmonding in. Als gelijktijdig met een dergelijke wind extra wordt gespuid, dan leidt dit tot een extra toename van deze zoutindringing. Dit moet zoveel mogelijk worden voorkomen. Het uiteindelijke moment waarop het zoetspoelen wordt gestart

---

alsmede welke sluisopeningen worden gehanteerd, is dan ook sterk afhankelijk van de verwachte windsnelheid en windrichting. Deze is ongeveer 24 uur van te voren bekend.

#### Voorspelbaarheid lage Bovenrijnafvoeren

Ongeveer 1 week van te voren kan voorzien worden of de afvoer onder de 1500 m<sup>3</sup>/s zou kunnen uitkomen. Niet voorspelbaar is of de afvoer daarna verder blijft dalen, gelijk blijft of weer gaat stijgen. Een of enkele dagen voordat de afvoer de grens van 1500 m<sup>3</sup>/s gaat onderschreiden (dit is met een vrij grote mate van betrouwbaarheid te voorspellen), kan er wel iets gezegd worden over ca. de eerste 5 dagen daaropvolgend maar nog niet wat er daarna met het afvoerverloop gaat gebeuren. De kans is echter aanwezig dat – zodra de afvoer de 1500 m<sup>3</sup>/s onderschrijdt – dit gedurende een veel langere tijd het geval zijn. Dit betekent voor het sluisbeheer dat er besloten gaat worden te starten met zoetspoelen, met als risico dat het achteraf niet nodig bleek te zijn. Wanneer echter te lang gewacht wordt met het zoetspoelen (de afvoer heeft inmiddels de 1500 onderschreden) en het blijkt dan dat de daling zich doorzet voor misschien wel veel langere tijd, dan zijn er nauwelijks tot geen mogelijkheden meer voorhanden om het Haringvliet alsnog zoet te spoelen, zonder dat dit tot langdurige nadelige effecten zal leiden aan de noordrand.

---

## 5.4 Detailmodel Haringvlietsluizen

### Inleiding

In deze paragraaf wordt een samenvatting gegeven van de bevindingen die volgen uit de detailmodellen van de Haringvlietsluizen die door Royal Haskoning (uitgevoerd door bureau Svašek) zijn ontwikkeld. In drie fasen heeft Haskoning de complexiteit van de modellen opgeschoefd, van een relatief eenvoudig 2DV model (dat de stroming in een langsdoorsnede van de sluis weergeeft), tot een volledig 3D model van twee naast elkaar gelegen sluisen. De centrale vraag was: hoe ziet het stromingspatroon in en rondom de sluisen eruit als functie van de hefhoogte van de zeeschuif en het waterstandsverschil over de sluis. Hierbij wordt de nadruk gelegd op de maximale stroomsnelheid die in het gebied voorkomt en de grootte van het gebied waarover deze maximale snelheid behaald wordt. In de derde fase is de vraagstelling uitgebreid met het bepalen van de invloed van de opening van een naastgelegen sluis op de snelheidsverdeling.

Het rekenhart van de modellen gaat niet uit van een verwaarloosbare verticale versnelling, zoals in de 2DV/3D (WAQUA/TRIWAQ) modellen die binnen RWS ontwikkeld en ingezet worden vooralsnog wel het geval is (o.a. RIJMAMO/ZEEDELTA). Vooral bij constructies kunnen deze versnellingen relatief groot zijn, en dus is de verwachting dat het stroombeeld met de hier gebruikte modellen nauwkeuriger weergegeven kan worden. Omdat ook de situatie wordt gemodelleerd waarbij zeewater ingelaten wordt, zijn de modellen afgeregeld op metingen van de inlaatproef maart 1997. Hierbij is alleen gebruik gemaakt van snelheidsmetingen van ADCP MER Oost, een meetinstrument dat in intervallen van 1 meter in de verticaal continu de stroomsnelheid gemeten heeft. Dit instrument was op de bodem geplaatst (lokale diepte ongeveer NAP-11.6 m), op een afstand van 68 meter uit het hart (centrum nabaligger) van sluisopening 5 (zie figuur 2.1 in Svašek 2001).

### Resultaten

De stroombeelden die uit de verschillende modelberekeningen volgen vertonen op een aantal punten enkele verschillen (vergelijk figuur 3.3 uit Svašek 2001 met figuur 2.2.1 uit Svašek 2002-1). Welk van de stroombeelden het meest de werkelijkheid benadert is uit de berekeningen of de metingen niet op te maken. Immers, de modelinstellingen zijn zo gekozen, dat de berekeningen de metingen op locatie ADCP MER Oost zo goed mogelijk benaderen. In de 2DV en 3D modellen zijn daarvoor andere instellingen nodig, die de verschillen in stroombeeld in de sluis zelf veroorzaken. Alleen metingen van stroomsnelheden in de sluis zelf kunnen aangeven welk stromingspatroon daar optreedt. Deze metingen zijn vooralsnog niet voorhanden.

In alle gevallen treden de maximale stroomsnelheden op onder de deels geopende zeeschuif. Bij instroming (van zee naar rivier) neemt de snelheid af met toenemende afstand vanaf de zeeschuif. Deze afname

treedt sneller op als de hefhoogte en, in mindere mate, het verval kleiner is. De stroomsnelheid onder de (geheel geheven) rivierschuif en verderop ter plaatse van de ADCP is dan ook sterk afhankelijk van deze parameters. Dit is ook gebleken uit de metingen (zie bijlage 3 in Jacobs 2003). Een afname van de stroomsnelheid in het westelijk deel van het Haringvliet (direct achter de sluisen) mondt uit in een afname van de (verticale) menging, waardoor bij instroming een twee-lagen systeem ontstaat (stratificatie). Bovendien is er een kleinere kans op erosie van de bodem en/of schade aan de bodembescherming aan de rivierzijde. Indien bij instroming de rivierschuif zou worden gebruikt, dan zijn de maximale stroomsnelheden onder de deels geheven rivierschuiven te verwachten, en daarmee ook in het westelijk deel van het Haringvliet, waardoor de kans op erosie van de bodem en/of schade aan de bodembescherming sterk toeneemt ten opzichte van de situatie waarbij de opening met de zeeschuiven wordt ingesteld. Overigens zijn deze situaties niet met behulp van de modellen doorgerekend.

Bij uitstroming (eb-situatie) is een soortgelijke relatie waarneembaar: bij toenemende hefhoogte (en in geringere mate het verval) is de stroomsnelheid in de sluiscolk zelf (niet in de buurt van de zeeschuif) hoger. Vergelijk hiervoor bijvoorbeeld figuren 4.4, 5.4 en 6.4 uit Svašek 2001.

Uit de Svašek rapporten is een inventarisatie gemaakt van de optredende stroomsnelheden in de verschillende modellen op een drietal locaties (x-coördinaten -26 m (onder de zeeschuif), +20 m (vlakbij de rivierschuif) en +68 m (ter plekke van de ADCP) - zie figuur 2 ref. 1) voor verschillende waarden van de hefhoogte en het verval bij uitstroming (eb-situatie). In tabel 5.4 zijn de schattingen weergegeven.

**Tabel 5.5**  
Geschatte stroomsnelheden in m/s bij uitstroming van Haringvliet naar zee (eb).

model	hefhoogte buursluis (cm)	verval (cm)	hefhoogte 90 cm			hefhoogte 200 cm			hefhoogte 450 cm		
			-26 m	+20 m	+68 m	-26 m	+20 m	+68 m	-26 m	+20 m	+68 m
2DV	n.v.t	+75	> 5.0	0.5	0.5	> 5.0	1.0	0.5	3.5	2.0	1.0
	n.v.t	+150	> 5.0	0.5	0.2	> 5.0	1.5	0.7	5.0	3.5	1.5
3D/1	n.v.t	+75				2.0	1.0	< 0.5			
	n.v.t	+150				3.0	1.5	< 0.5			
3D/2	0	+75							3.5	3.0	1.5
	0	+150							5.0	4.0	1.8
	200	+75							3.5	3.0	1.5
	200	+150							5.0	4.0	1.8
	450	+75							3.5	3.0	1.5
	450	+150							5.0	4.0	2.7

Uit bovenstaande tabel blijkt dat de stroomsnelheid onder de zeeschuif (x = -26 m) voornamelijk wordt bepaald door het verval, en in mindere mate door de hefhoogte. Op de andere locaties lijken de getallen juist te wijzen op een sterkere invloed van de hefhoogte. Deze constatering is voornamelijk gebaseerd op de 2DV berekeningen, omdat alleen met dit model berekeningen bij verschillende hefhoogtes zijn uitgevoerd. Ondanks de eerdergenoemde onzekerheden blijven

---

deze conclusies ter plaatse van de ADCP ( $x = 68$  m) staan: immers, in alle gevallen zijn de modellen afgeregeld op de metingen van deze ADCP (en dus komen de modelvoorspellingen in voldoende mate overeen met deze metingen). Hieruit volgt dan ook dat de totale grootte van het gebied met hoge stroomsnelheden in sterke mate afhankelijk is van de hefhoogte.

### **Gevolgen voor vis migratie**

Bij het beoordelen van de stroomsnelheidsverdelingen in het licht van de kansen voor migratie van vis moet onderscheid gemaakt worden in de verschillende doelsoorten (Ybema en Backx 2001): het overgrote deel ( $\pm 95\%$ ) van de vissen in de 6 doelsoortgroepen migreren bij vloed, al dan niet passief. Hiervoor is niet zozeer de stroomsnelheid van belang, als wel de opening (hefhoogte) en de verticale positie van deze opening (aan de bodem, aan het oppervlak etc.). Voor de overige 5% is de verdeling van de stroomsnelheid bij eb van groot belang. Deze soortgroep bestaat uit gespecialiseerde trekvis, in het algemeen zijn het sterke zwemmers. Zij kunnen, afhankelijk van de lengte van de vis, sprintsnelheden halen tot zo'n 6 á 7 m/s, maar kunnen dit slechts gedurende korte tijd volhouden. Het gebied waarin bij eb de stroomsnelheid kleiner is dan ongeveer 5 m/s moet dus door een slimme keuze van hefhoogten zo klein mogelijk gehouden worden. Uit bovenstaande beschouwing volgt dan dat de hefhoogte niet veel groter moet zijn dan ongeveer 2.5 – 3 m. Bij deze hefhoogten blijft het gebied met hoge stroomsnelheden beperkt tot enkele meters rondom de zeeschuif. Overigens is de stroomsnelheid onder de zeeschuif vlakbij de vaste oppervlakken (bodem op NAP-5.50 m, de pijlers, de onderkant van de schuif) door wrijving kleiner. De verwachting is dat trekvis bij migratie van deze relatief beschutte plekken gebruik maken.

Bovenstaande beschouwingen hebben betrekking op de situatie bij relatief hoge waarden van het verval over de schuiven. In situatie waarin dit verval klein is, zoals rondom stroomkentering, bestaat de mogelijkheid de sluis gedurende korte tijd verder te openen (zelfs geheel te openen). Dit heeft niet of nauwelijks gevolgen voor de zoutindringing in het Haringvliet, terwijl de verwachting is dat het voor de minder goede zwemmers onder de doelsoorten meteen winst kan opleveren.

### **Conclusies**

- Sturing op de zeeschuiven is voor de kansen van trekvis niet nadelig ten opzichte van sturing op de rivierschuif. Dit geldt zowel voor de situatie bij eb als die bij vloed. Bovendien wordt bij sturing op de zeeschuif de kans op erosie van de Haringvlietbodembodem en/of schade aan de bodembescherming aan de Haringvlietzijde van de sluis beperkt.
- De maximum stroomsnelheid wordt bereikt onder de (deels) geheven zeeschuif (bij geheel geopende rivierschuif) en wordt voornamelijk bepaald door het verval.

- 
- De totale grootte van het gebied met hoge stroomsnelheid is sterk afhankelijk van de hefhoogte van de zeeschuif (bij volledig geheven rivierschuif).

#### **Aanbevelingen**

- Gezien de voordelen voor vismigratie en de vermindering van het risico op erosie verdient het de voorkeur de gewenste opening in te stellen met de zeeschuiven.
- Om de lengte waarover hoge stroomsnelheden bereikt worden te beperken, zou de hefhoogte per schuif niet meer dan 2.5 – 3.0 m moeten bedragen.
- Bij toenemende afvoeren worden vanuit de zuidzijde zoveel mogelijk sluizen op deze maximale opening van 2.5 – 3.0 m gezet. Bij nog hogere afvoeren worden vervolgens eerst de sluizen aan de noordkant geheel getrokken (zodat de condities aan de zuidkant langer gunstig blijven).

---

## 5.5 Tijpoortanalyse

De havens van Dordrecht en Moerdijk zijn voor de diepstekende zeescheepvaart alleen bereikbaar indien aan bepaalde voorwaarden is voldaan. Niet in elke getijperiode wordt aan deze voorwaarden voldaan.

Onderzocht is of de invoering van de Kier een negatief effect heeft op het percentage getijperioden waarin op- en afvaart naar deze beide zeehavens mogelijk is.

De analyse is uitgevoerd op de Sobek modelresultaten voor de als representatief geachte periode 1988 t/m 1990. Er is gebruik gemaakt van de jaarsommen berekend met model HOP-I. De HOP versie is 4 met zoetspoelen 180 Mm<sup>3</sup>.

### 5.5.1. Algoritme

De modelresultaten bestaan uit tijdreeksen met een tijdstap van 10 minuten.

Voor iedere tijdstap in de bovengenoemde periode van 3 jaar is bepaald of aan de voorwaarden voor op- of afvaart voldaan is.

#### Voorwaarden afvaart Moerdijk

Er is op een tijdstip T voldaan aan de voorwaarden voor afvaart als

1. De waterstand op het splitsingspunt Dordtsche Kil-Hollandsch Diep groter of gelijk is aan 0.40 m t.o.v. NAP op tijdstip T t/m tijdstip T + 3 (T t/m T + 0:30).
2. De waterstand op het splitsingspunt Oude Maas-Dordtsche Kil groter of gelijk is aan 0.40 m t.o.v. NAP op tijdstip T + 5 t/m tijdstip T + 8 (T + 0:50 t/m T + 1:20).
3. De stroomsnelheid in de Oude Maas kleiner of gelijk is aan 0 m/s op tijdstip T + 14 t/m T + 20 (T + 2:20 t/m T + 3:20). Een stroomsnelheid kleiner dan 0 betekent dat het water ter plaatste van zee richting Dordrecht stroomt.

#### Voorwaarden opvaart Moerdijk

Er is op een tijdstip T voldaan aan de voorwaarden voor opvaart als

1. De stroomsnelheid in de Oude Maas groter of gelijk is aan 0 m/s op tijdstip T t/m T + 3 (T t/m T + 0:30). Een stroomsnelheid groter dan 0 betekent dat het water ter plaatste richting zee stroomt.
2. De waterstand op het splitsingspunt Oude Maas-Dordtsche Kil groter of gelijk is aan 0.40 m t.o.v. NAP op tijdstip T + 12 t/m tijdstip T + 15 (T + 2:00 t/m T + 2:30).
3. De waterstand op het splitsingspunt Dordtsche Kil-Hollandsch Diep groter of gelijk is aan 0.40 m t.o.v. NAP op tijdstip T + 18 t/m tijdstip T + 21 (T + 3:00 t/m T + 3:30).

#### Voorwaarden afvaart Dordrecht

Er is op een tijdstip T voldaan aan de voorwaarden voor afvaart als

1. De waterstand op het splitsingspunt Oude Maas-Dordtsche Kil groter of gelijk is aan 0.40 m t.o.v. NAP op tijdstip T t/m tijdstip T + 3 (T t/m T + 0:30).

- 
2. De waterstand in de Oude Maas ter plaatse van de Botlekbrug groter of gelijk is aan 0.20 m t.o.v. NAP op tijdstip  $T + 12$  t/m tijdstip  $T + 15$  ( $T + 2:00$  t/m  $T + 2:30$ ).
  3. De stroomsnelheid in de Oude Maas ter plaatse van de Botlekbrug kleiner of gelijk is aan 0 m/s op tijdstip  $T + 14$  t/m  $T + 20$  ( $T + 2:20$  t/m  $T + 3:20$ ). Een stroomsnelheid kleiner dan 0 betekent dat het water ter plaatse van zee richting Dordrecht stroomt.

#### **Voorwaarden opvaart Dordrecht**

Er is op een tijdstip  $T$  voldaan aan de voorwaarden voor opvaart als

1. De stroomsnelheid in de Oude Maas ter plaatse van de Botlekbrug groter of gelijk is aan 0 m/s op tijdstip  $T$  t/m  $T + 3$  ( $T$  t/m  $T + 0:30$ ). Een stroomsnelheid groter dan 0 betekent dat het water ter plaatse richting zee stroomt.
2. De waterstand in de Oude Maas ter plaatse van de Botlekbrug groter of gelijk is aan 0.20 m t.o.v. NAP op tijdstip  $T$  t/m tijdstip  $T + 3$  ( $T$  t/m  $T + 0:30$ ).
3. De waterstand op het splitsingspunt Oude Maas-Dordtsche Kil groter of gelijk is aan 0.40 m t.o.v. NAP op tijdstip  $T + 12$  t/m tijdstip  $T + 15$  ( $T + 2:00$  t/m  $T + 2:30$ ).

De periode 1988-1990 is verdeeld in 2119 getijperioden op basis van de laagwatertijdstippen voor Maasmond. Vervolgens is het aantal getijperioden geteld waarin minstens één tijdstip valt waarvoor aan de tijpootvoorwaarden is voldaan.

#### **5.5.2. Overweging t.a.v. tijdsduren**

In bovenstaande algoritme is gekozen om bijvoorbeeld de voorwaarde Moerdijk groter dan 0.40 m gedurende een half uur na het tijdstip  $T$  te vertalen naar de eis dat de waterstand op tijdstip  $T$  groter moet zijn dan 0.40 m en ook de **drie** opvolgende tijdstappen. De eis is dan dus dat 4 opeenvolgende 10-minuten tijdstappen groter dan 0.40 m zijn. Op deze wijze weet je zeker dat aan de 30-minuten eis voldaan is. Waarschijnlijk zal ook in de halve tijdstap voorafgaand en volgend op de periode aan de eis voldaan zijn. Een alternatieve benadering is daarom om de eis te verlagen naar 3 opeenvolgende 10-minuten tijdstappen. In het algoritme is echter gekozen voor de ruime benadering. Dit levert uiteraard wat minder tijpooten op dan volgens de alternatieve methode. Het verschil ligt in de orde 4%.

#### **5.5.3. Resultaten**

In tabel 5.6 is het aantal mogelijkheden tot op- en afvaart volgens eerderevermelde voorwaarden naar de havens van Moerdijk en Dordrecht weergegeven, zowel als percentage als in het aantal getijden in de drie doorgerekende jaren. (Totaal aantal getijden in deze jaren is 2119).



**Tabel 5.6**  
Beschikbare tijpoorten voor op- en afvaart naar Moerdijk en Dordrecht in de periode 1988 t/m 1990

Tijpoort	LPH %	HOP %	LPH aantal	HOP aantal
Afvaart Moerdijk	39.9	33.3	845	706
Opvaart Moerdijk	66.0	63.1	1398	1338
Afvaart Dordrecht	97.1	96.1	2058	2036
Opvaart Dordrecht	98.8	98.5	2093	2088

#### 5.5.4. Analyse

Voor afvaart Moerdijk is onderzocht welke van de 3 voorwaarden het meest knellend is en welke van de 3 voorwaarden het meeste bijdraagt aan de achteruitgang van het aantal tijpoorten na invoering van HOP.

De tijpoortanalyse is herhaald, waarbij telkens één van de 3 voorwaarden is versoepeld. In tabel 5.7 zijn de effecten van de gewijzigde voorwaarden weergegeven.

**Tabel 5.7**  
Beschikbare tijpoorten als percentage van het totale aantal getijden voor afvaart Moerdijk onder versoepelde voorwaarden

Tijpoort	Gewijzigde voorwaarde	LPH %	HOP %
Afvaart Moerdijk	Waterstand Moerdijk $\geq 0.30$ m	64.9	57.0
Afvaart Moerdijk	Waterstand Dordrecht $\geq 0.30$ m	40.4	33.7
Afvaart Moerdijk	Stroomsnelheid Botlekbrug $\leq 0.50$ m/s	62.8	59.9

Het blijkt dat de combinatie van de waterstandeis bij Moerdijk en de stroomsnelheideis bij de Botlekbrug verantwoordelijk is voor het lage aantal tijpoorten. Zodra één van deze twee wordt versoepeld, stijgt het aantal tijpoorten aanzienlijk.

Vervolgens is het percentage 10-minutentijdstappen bepaald dat aan elk van de voorwaarden voldaan wordt. Deze zijn als percentage weergegeven in tabel 5.8.

**Tabel 5.8**  
Percentage van de tijd dat aan één van de voorwaarden voor afvaart Moerdijk wordt voldaan

Voorwaarde	LPH %	HOP %
Waterstand Moerdijk $\geq 0.40$ m	60	53
Waterstand Dordrecht $\geq 0.40$ m	45	44
Stroomsnelheid Botlekbrug $\leq 0.00$ m/s	29	29

De vermindering van het aantal tijpoorten bij toepassing van HOP is dus volledig te wijten aan de lagere waterstanden bij Moerdijk.

#### 5.5.5. Overige vragen

1. Wat is het effect van een verlaging van het waterstandcriterium van 0.40 m voor op- en afvaart Moerdijk tot 0.35 m?
2. Hoe zijn de beschikbare tijpoorten in de tijd verdeeld? Interessant is de verdeling per maand over het jaar en ook de verdeling van de bevaarbare getijden in een maand.

---

### Effect verlaging waterstandcriterium tot 0.35 m

Het criterium voor de waterstand op het splitsingspunt Dordtsche Kil-Hollandsch Diep en het splitsingspunt Oude Maas-Dordtsche Kil is verlaagd van 0.40 m tot 0.35 m t.o.v. NAP.

In tabel 5.9 is het aantal mogelijkheden tot op- en afvaart naar de havens van Moerdijk en Dordrecht weergegeven met het aangepast criterium, zowel als percentage als in het aantal getijden in de drie doorgerekende jaren. (Totaal aantal getijden in deze jaren is 2119).

.....  
**Tabel 5.9**  
Beschikbare tijdpoorten met verlaagd  
waterstandcriterium

Tijpoort	LPH %	HOP %	LPH aantal	HOP aantal
Afvaart Moerdijk	51.2	43.5	1085	921
Opvaart Moerdijk	78.2	74.5	1657	1579
Afvaart Dordrecht	97.6	97.4	2068	2063
Opvaart Dordrecht	99.2	99.0	2103	2098

.....

De verlaging leidt tot een aanzienlijke toename van het aantal op- en afvaartmogelijkheden naar Moerdijk.

### Verdeling tijdpoorten over het jaar en over de maand

De verdeling van de tijdpoorten in de tijd is weergegeven in 5 figuren in bijlage h. Deze figuren zijn voor de analyse zonder verlaging (dus waterstand Botlek 0.20 m, maar Moerdijk en Dordrecht 0.40 m).

In de eerste figuur is voor alle tijdpoorten *het aantal getijden per maand* weergegeven dat er gevaren kan worden, voor zowel HOP als LPH'84. Het totaal aantal getijden per maand is uiteraard wisselend. In een 31-dagen maand zijn het er ongeveer 60.

In de volgende 4 figuren is *elk getij* voor elke tijdpoort uit de periode 1988-1990 weergegeven als een blokje. Als het blokje groen is, kan er in het getij gevaren worden, als het rood is niet.

---

## 5.6 Noodscenario's verzoeting drinkwatervoorziening

Naar aanleiding van vragen van drinkwaterbedrijf Evides is onderzocht welke maatregelen er mogelijk zijn om een verzilting van de noodinlaten Beerenplaat en Kralingen indien noodzakelijk te voorkomen of te beëindigen.

### 5.6.1. Verzilting innamepunt Beerenplaat

#### Vraagstelling

De noodinlaat voor drinkwater bij Beerenplaat wordt gebruikt indien de aanvoer per pijpleiding vanaf de Brabantse Biesbosch onmogelijk is. In het spaarbekken bij Beerenplaat is een watervoorraad aanwezig waarmee een periode van 6,8 dagen kan worden overbrugd. Indien een onderbreking van de wateraanvoer uit de Biesbosch samenvalt met een verzilting van het noodinlaatpunt welke langer dan 6,8 dagen aanhoudt, komt de drinkwatervoorziening in gevaar.

Bij eerder onderzoek is gebleken dat de invoering van het HOP de kans dat een dergelijke situatie zich voordoet niet groter maakt. Toch is er een onderzoek gedaan naar de vraag welke mogelijkheden er zijn om de noodinlaat te verzoeten indien dit wenselijk is.

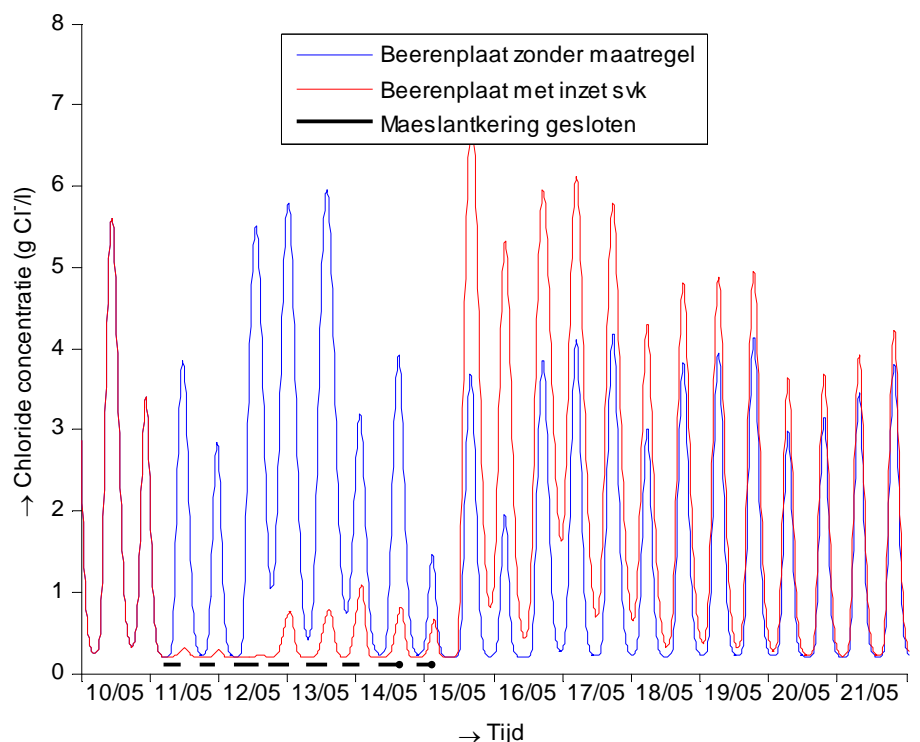
#### Onderzoek

- Een langdurige verzilting bij Beerenplaat kan alleen optreden bij zeer lage rivierafvoer. De Haringvlietsluizen zijn dan volgens het Kierprogramma net als bij LPH'84 (= huidige situatie) gesloten en de water- en zoutbeweging in de Rijn-Maasmonding is dan dus in beide situaties gelijk. Voor het onderzoek is daarom uitgegaan van een bediening van de Haringvlietsluizen volgens LPH'84. In een referentiesom is geprobeerd de randvoorwaarden zo in te stellen dat een langdurige verzilting van het innamepunt Beerenplaat resulteerde. Zelfs een zeer lage Bovenrijnafvoer van 600 m<sup>3</sup>/s bleek niet voldoende om het inlaatpunt bij Beerenplaat langdurig te verzilten. Onder normale getijomstandigheden verzoet ook bij deze afvoer het innamepunt tijdens iedere eb-periode. Alleen door in het model een fictieve langdurige windopzet op zee te simuleren die meerdere getijperioden aanhoudt en tijdens opeenvolgende getijden in hoogte toeneemt, is het mogelijk een situatie te creëren (na te bootsen) waarbij het innamepunt meerdere dagen verzilt. Een overschrijdingsduur van 6,8 dagen kan echter niet gehaald worden bij gebruik van randvoorwaarden die nog enigszins realistisch zijn.
- Deze uitkomst wordt ondersteund door een analyse van de metingen van het regionaal zoutmeetnet. In de buurt van het innamepunt bevinden zich twee meetlocaties. De dichtstbijzijnde langs het Spui, is in 1997 in gebruik genomen. Van de meetlocatie bij Beerenplaat langs de Oude Maas zijn gegevens vanaf 1983 beschikbaar. Dit meetpunt ligt dicht bij zee dan het innamepunt en zal dus sneller en meer verzilten. In de periode 1983-2002 is gezocht naar verziltingen gedurende tenminste 6,8 dagen. Deze zijn in deze periode niet opgetreden. De

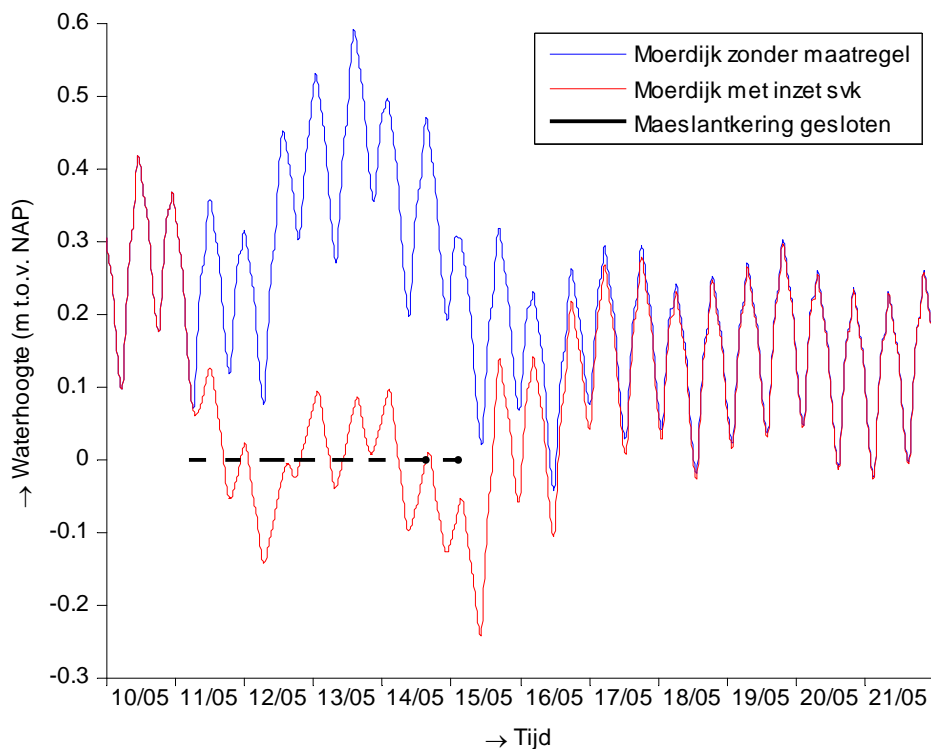
chlorideconcentratie valt voor het verstrijken van deze periode altijd weer terug naar de achtergrondwaarde.

- Voor het vervolg van het onderzoek is gekozen voor een situatie waarin een verzilting van enkele dagen optreedt. Door inzet van de Maeslant- en Hartelkering is geprobeerd deze verzilting te bestrijden. Vanaf het moment dat verzoeting van het innamepunt gewenst is, worden tijdens iedere vloed beide keringen gesloten zodra ter plaatste van de keringen de vloedstroom begint te lopen. Zodra de zeewaterstand weer lager wordt dan de waterstand in de Rijn-Maasmonding worden de keringen weer geopend. In figuur 5.65 is de chlorideconcentratie bij het innamepunt Beerenplaat weergegeven in de situatie met en zonder inzet van de stormvloedkeringen. In figuur 5.66 is de waterstanden op het Haringvliet/Hollandsch Diep weergegeven voor beide situaties. In de berekeningen worden beide stormvloedkeringen gesloten in één rekentijdstap van 10 minuten. Voor de Hartelkering is dit technisch mogelijk. De maximale sluitsnelheid van de Maeslantkering is echter veel kleiner. Afhankelijk van de omstandigheden heeft deze kering in het algemeen een uur nodig om tot de bodem af te zinken. In deze periode kan een gedeelte van de getijgolf toch nog de Rijn-Maasmonding in lopen. Het in de berekening bereikte effect bij de noodinlaten is dan ook een overschatting. Er zijn geen berekeningen gemaakt met een realistischer sluitsnelheid van de Maeslantkering.

**Figuur 5.65**  
Chlorideconcentratie bij noodinlaat  
Beerenplaat met en zonder inzet van de  
maatregel



**Figuur 5.66**  
Waterstand bij Moerdijk met en zonder inzet van de maatregel



### Conclusie

- Het optreden van een verzilting van het noodinnamepunt Beerenplaat langer dan 6.8 dagen is zeer onwaarschijnlijk.
- Invoering van De Kier vergroot de kans op een dergelijke verzilting niet.
- Door inzet van de stormvloedkeringen kan het innamepunt snel en zonodig voor langere tijd verzoet worden (onder voorbehoud van effect sluitsnelheid Maeslantkering).

Het gebruik van de stormvloedkeringen voor verzoeting van het innamepunt kent een aantal nadelen:

- Aan elke sluiting zijn hoge kosten (technisch/onderhoud) verbonden.
- De waterstanden in de Rijn-Maasmonding worden sterk verlaagd. Dit kan problemen geven voor de scheepvaart en voor het innamepunt in de Biesbosch.
- Het bij iedere vloed sluiten van de stormvloedkeringen maakt scheepvaart op de Nieuwe Waterweg langere tijd onmogelijk. Ook de scheepvaart op het Hartelkanaal wordt gehinderd.
- In de periode na de inzet van de stormvloedkeringen treedt gedurende langere tijd een versterkte zoutindringing op, waardoor het innamepunt zeker langdurig verzilt. De versterkte zoutindringing is merkbaar tot op de benedenloop van de Lek en de Hollandsche IJssel. Via Spui en Dordtsche Kil zal zout water in Haringvliet en Hollandsch Diep terecht komen.

---

## 5.6.2. Verzilting innamepunt Kralingen

### Vraagstelling

De noodinlaat voor drinkwater bij Kralingen wordt gebruikt indien de aanvoer per pijpleiding vanaf de Brabantse Biesbosch onmogelijk is. Bij het drinkwaterbedrijf in Kralingen is een watervoorraad aanwezig waarmee een periode van 11,5 uur kan worden overbrugd. Indien een onderbreking van de wateraanvoer uit de Biesbosch samenvalt met een verzilting van het noodinlaatpunt welke langer dan 11,5 uur aanhoudt, komt de drinkwatervoorziening in gevaar.

Onderzocht is welke maatregelen kunnen worden genomen om het noodinnamepunt te verzoeten op momenten dat het gebruikt moet worden. Er zijn verschillende maatregelen denkbaar:

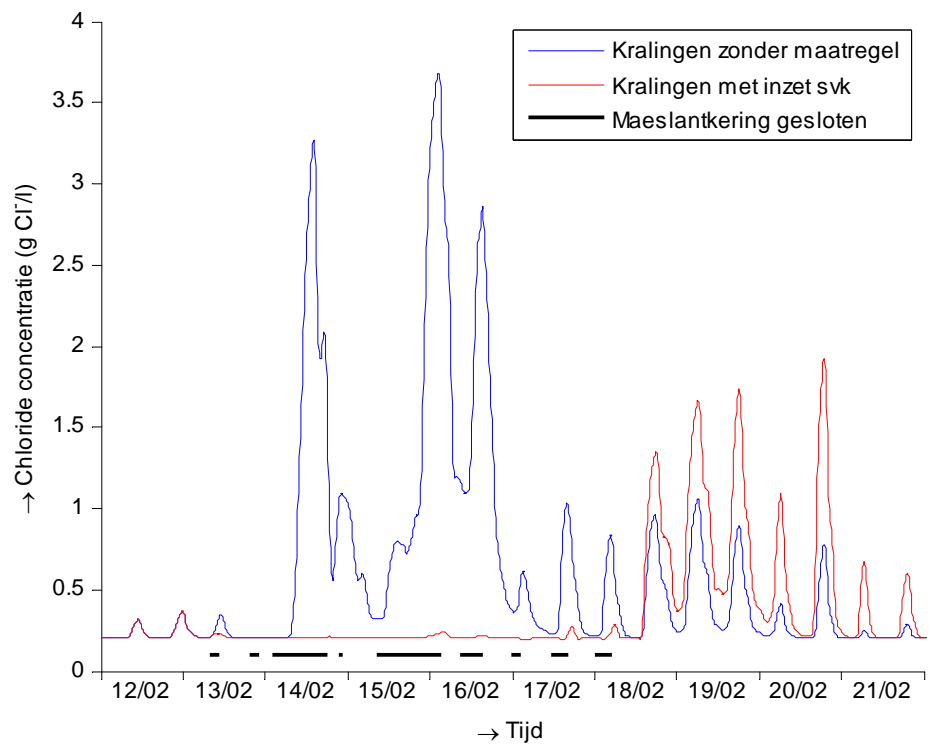
- Afwijkend beheer Haringvlietsluizen
- Inzet van de Maeslant- en Hartelkering
- Een afvoervertrekking van de Waal naar de Lek
- Extra afvoer via de Lek ten koste van de IJssel

### Onderzoek

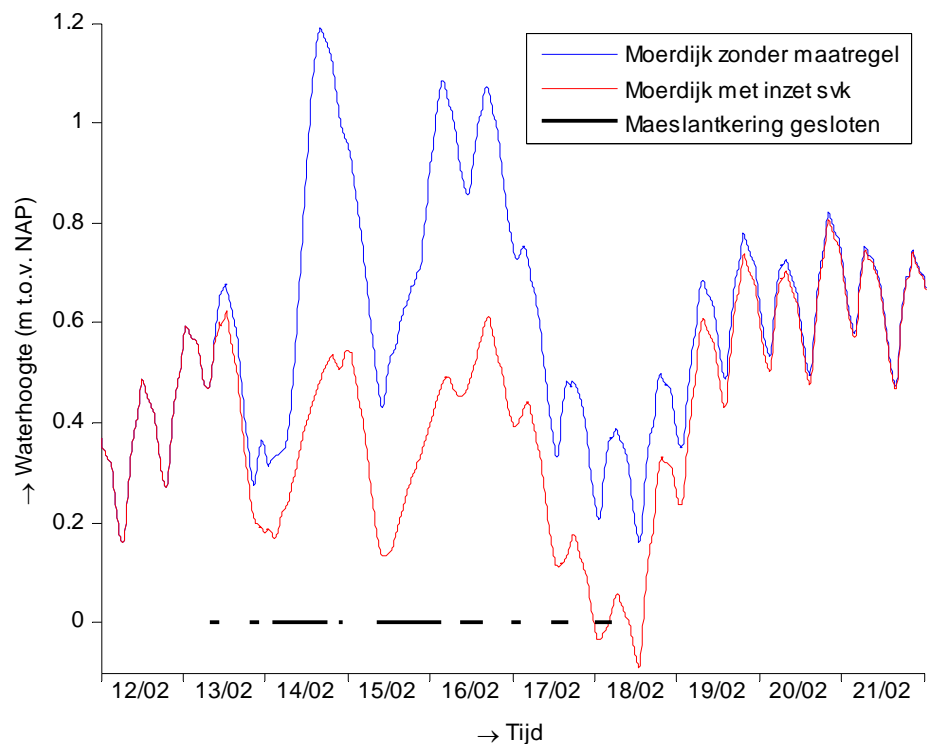
- Verzilting van het innamepunt Kralingen langer dan 11,5 uur komt zowel bij beheer van de Haringvlietsluizen volgens LPH'84 als bij beheer volgens de Kier vaak voor. Analyse van een aantal gevallen in de periode 1988-1990 laat zien dat er in alle gevallen sprake is van een situatie met lage afvoer of een situatie met iets minder lage afvoer gecombineerd met springtij of enige windopzet op zee. Bij deze lage afvoerstandigheden zijn de Haringvlietsluizen zowel bij LPH'84 (huidige situatie) als bij de Kier gesloten. Het is daarom niet mogelijk de afvoer van zoet water via de noordrand te verhogen door een verlaging van de afvoer via de zuidrand. De eerste maatregel, afwijkend beheer Haringvlietsluizen, valt om deze reden af.
- Voor het beoordelen van de mogelijkheden van de inzet van de stormvloedkeringen is een kenmerkende verzilting van Kralingen uit de periode 1988-1990 gekozen en is op dezelfde wijze als voor het innamepunt Beerenplaat geprobeerd door het sluiten van de keringen tijdens iedere vloed het innamepunt te verzoeten. In figuur 5.67 en figuur 5.68 worden de resultaten getoond. Voor deze berekening geldt dezelfde beperking t.a.v. de sluitsnelheid van de Maeslantkering als in §5.6.1.
- De mogelijkheid om het innamepunt Kralingen te verzoeten door een wijziging van de afvoerverdeling tussen Lek en Waal is in het verleden al onderzocht. (WL-Delft 1985, blz 26). De conclusie uit het modelonderzoek indertijd was dat een afvoervertrekking bijna geen enkel effect had, omdat de verzilting bij Kralingen wordt bepaald door de benedenstroomse randvoorwaarde gevormd door de Nieuwe Waterweg. Deze verandert niet omdat de totale afvoer via de Nieuwe Waterweg niet verandert door de afvoervertrekking.
- De mogelijkheid om de verzilting bij het innamepunt Kralingen te bestrijden door het vergroten van de afvoer van de Lek is onderzocht voor dezelfde twee berekeningen als hiervoor genoemd. In de periode dat de verzilting bij Kralingen optreedt is de afvoer van

de Lek met resp. 300 m<sup>3</sup>/s en 600 m<sup>3</sup>/s verhoogd. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in figuur 5.69 t/m figuur 5.73.

**Figuur 5.67**  
Chlorideconcentratie bij noodinlaat  
Kralingen met en zonder inzet van de maatregel



**Figuur 5.68**  
Waterstand bij Moerdijk met en zonder  
inzet van de maatregel



- Het blijkt dat een afvoervergroting van 300 m<sup>3</sup>/s in de eerste berekening in figuur 5.69 wel effect heeft, maar dat de verzilting bij het innamepunt onvoldoende afneemt om voldoende lang voldoende zoet water in te kunnen nemen. Zelfs een afvoervergroting van 600 m<sup>3</sup>/s (figuur 5.70) is nog niet voldoende, maar de duur dat de drinkwatervoorziening via de

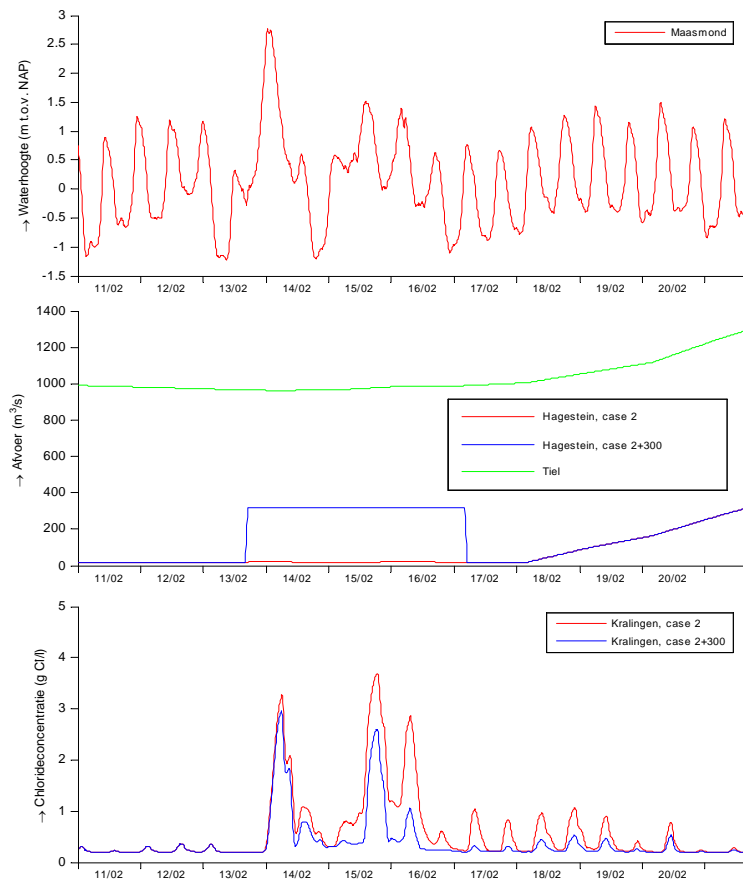
noodinlaat in gevaar zou kunnen komen is dan wel aanzienlijk afgenomen. (Zie bijlage i)

- o Bij de tweede berekening (figuur 5.72) is een afvoervergroting van  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  wel voldoende om de verzilting terug te dringen. Een vergroting van  $300 \text{ m}^3/\text{s}$  (figuur 5.71) beperkt de problemen sterk.

De vraag is natuurlijk of de extra afvoer van 300 of  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  in dergelijke situaties van vrij lage afvoer wel is te realiseren. In beide gevallen is de afvoer van de Waal rond de  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ , de Bovenrijnafvoer is dan ongeveer  $1250 \text{ m}^3/\text{s}$  en de IJsselafvoer ongeveer  $220 \text{ m}^3/\text{s}$ . Door het trekken van de stuwen langs de Nederrijn zal een gedeelte van deze  $220 \text{ m}^3/\text{s}$  richting de Rijn-Maasmonding geleid kunnen worden. De gewenste hoeveelheid van 300 resp.  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  is in dergelijke situaties dus niet beschikbaar.

In figuur 5.73 zijn de gevolgen voor de tweede berekening bij een extra afvoer over de Lek van  $150 \text{ m}^3/\text{s}$  in beeld gebracht. Het verzoetend effect tijdens laagwater is bij deze afvoertoename niet toereikend, maar er is nog steeds een duidelijke vermindering van de duur dat de drinkwatervoorziening in gevaar komt. (Zie bijlage i).

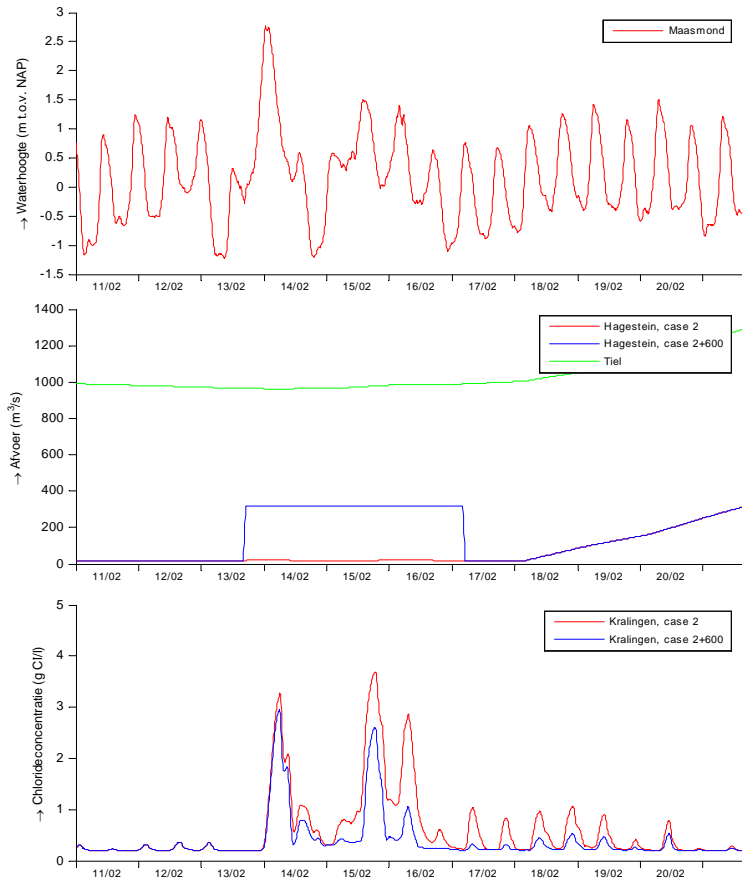
**Figuur 5.69**  
Verzoeting bij Kralingen door een afvoervergroting van de Lek van  $300 \text{ m}^3/\text{s}$





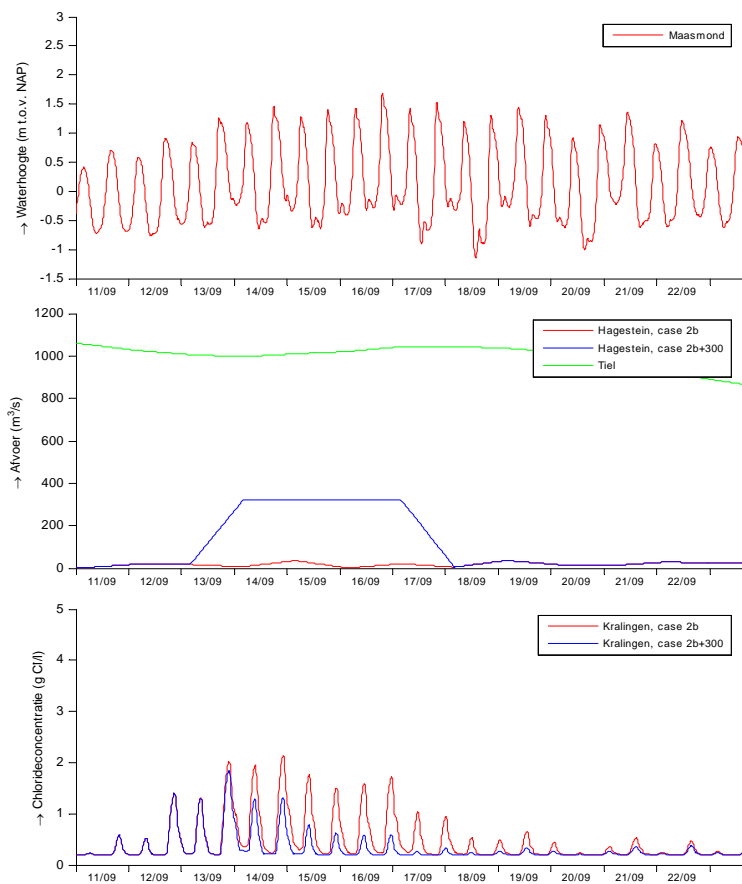
**Figuur 5.70**

Verzoeting bij Kralingen door een afvoervergroting van de Lek van 600 m<sup>3</sup>/s



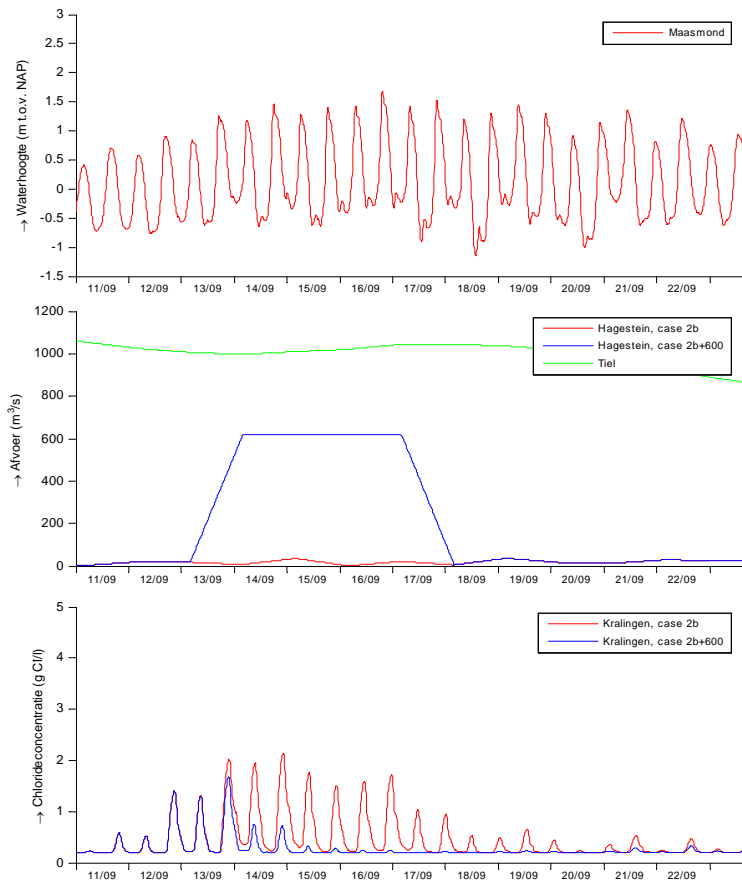
**Figuur 5.71**

Verzoeting bij Kralingen door een afvoervergroting van de Lek van 300 m<sup>3</sup>/s



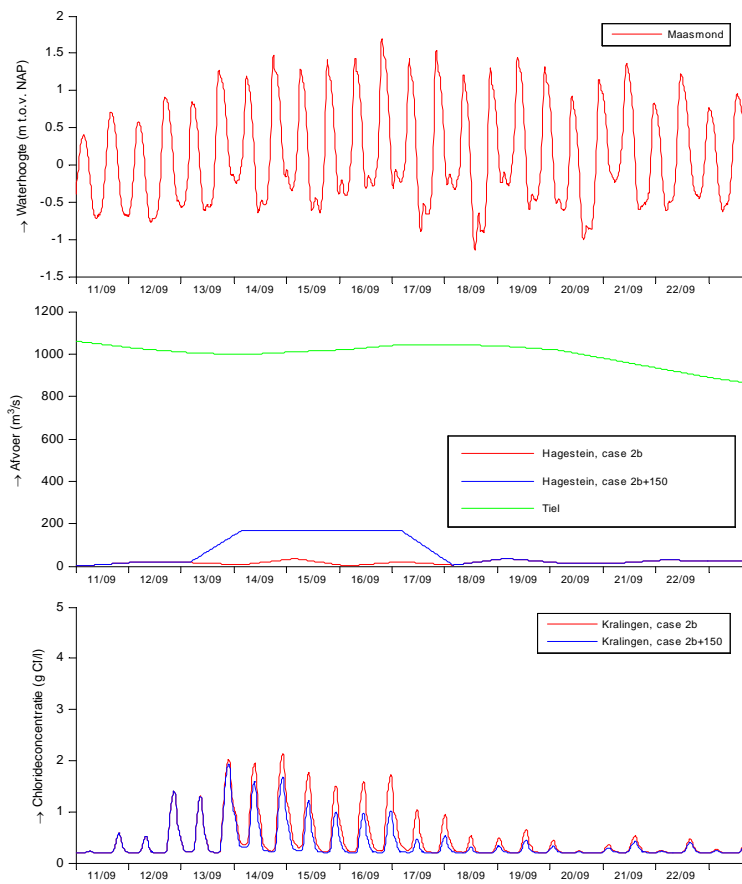
**Figuur 5.72**

Verzoeting bij Kralingen door een afvoervergroting van de Lek van 600 m<sup>3</sup>/s



**Figuur 5.73**

Verzoeting bij Kralingen door een afvoervergroting van de Lek van 150 m<sup>3</sup>/s



---

### **Conclusies**

- De enige maatregel die effectief het innamepunt Kralingen verzoet is het sluiten van de stormvloedkeringen.
- Een afvoervertrekking van de Waal naar de Lek heeft nauwelijks effect.
- Een vergroting van de Lekafvoer zou wel effect hebben. De beschikbare hoeveelheid zoet water is onder omstandigheden waarbij Kralingen verzilt echter ontoereikend.
- Door inzet van de stormvloedkeringen kan het innamepunt snel en zonodig voor langere tijd verzoet worden (onder voorbehoud van effect sluitsnelheid Maeslantkering).

Het gebruik van de stormvloedkeringen voor verzoeting van het innamepunt kent een aantal nadelen:

- Aan elke sluiting zijn hoge kosten verbonden.
- De waterstanden in de Rijn-Maasmonding worden sterk verlaagd. Dit kan problemen geven voor de scheepvaart en voor het innamepunt in de Biesbosch.
- Het bij iedere vloed sluiten van de stormvloedkeringen maakt scheepvaart op de Nieuwe Waterweg langere tijd onmogelijk. Ook de scheepvaart op het Hartelkanaal wordt gehinderd.
- In de periode na de inzet van de stormvloedkeringen treedt gedurende langere tijd een versterkte zoutindringing op, waardoor het innamepunt zeker langere tijd verzilt.

### **5.6.3. Optimalisatie zoetspoelen**

#### **Vraagstelling**

Indien de Bovenrijnafvoer voor langere tijd lager lijkt te worden dan  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$  wordt bij beheer volgens de Kier het Haringvliet zoetgespoeld met  $180 \text{ Mm}^3$ , waarna de Haringvlietsluizen gesloten blijven tot de afvoer groter wordt dan  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ . Door het zoetspoelen treedt tijdelijk een versterkte zoutindringing op langs Oude en Nieuwe Maas. Met name indien de afvoer snel daalt kan dit problemen geven bij de noodinlaatpunten.

Onderzocht is welke maatregelen mogelijk zijn in een situatie waarin het innamepunt Beerenplaat tijdens en na zoetspoelen langer dan 6.8 dagen verzilt.

#### **Onderzoek**

De afvoergegevens van Lobith uit de periode 1900-2002 zijn onderzocht op de grootst voorgekomen daalsnelheid van de afvoer bij onderschrijding van  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ . Met deze daalsnelheid is een zoetspoelberekening gemaakt onder overigens normale getijomstandigheden. De gezochte overschrijdingsduur bij Beerenplaat van 6.8 dagen wordt dan niet gehaald. Door een windopzet op zee te introduceren van 0.50 m op het juiste moment wordt de overschrijdingsduur wel gehaald. Onderzocht is hoe de verzilting beperkt kan worden door de volgende maatregelen:

- 
- Zoetspoelen met dezelfde hoeveelheid van 180 Mm<sup>3</sup> maar volgens een andere verdeling in de tijd:
    - In 6 getijden, eerst veel, later minder.
    - In 6 getijden, gelijk verdeeld.
    - In 10 getijden.
  - Inzet van de stormvloedkeringen tijdens zoetspoelen.

### **Conclusies**

Een andere verdeling van het zoetspoelen in de tijd heeft geen effect. Inzet van de stormvloedkeringen beperkt de verzilting tijdens het zoetspoelen, maar verergert de situatie in de periode erna. Deze maatregel is dus alleen zinvol indien slechts gedurende korte tijd, precies in de periode van het zoetspoelen, een beperking van de verzilting van een noodinlaatpunt gewenst is.

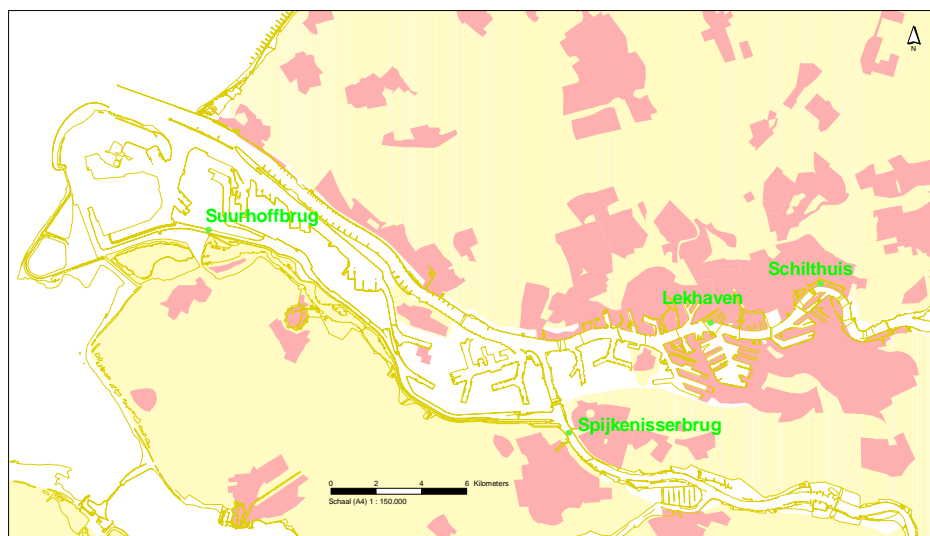
## 5.7 Gevolgen van zoetspoelen in de Rotterdamse haven

### Uitwerking van de vraagstelling

*Wat is het momentane effect van het zoetspoelen na invoering van de gewijzigde besturing van de Haringvlietsluizen volgens "de Kier" op de waterstanden en de verzilting in het Rotterdamse havengebied?*

In eerste instantie zijn een aantal grafieken gemaakt van waterstanden en chlorideconcentraties op een aantal locaties, zoals deze berekend zijn met het ééndimensionale hydrodynamische model Sobek. De keuze van de locaties (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**) is bepaald door de beschikbare uitvoerpunten in de bestaande berekeningen.

Figuur 5.74



De berekeningen beslaan de jaren 1988, 1989 en 1990. Deze jaren worden tezamen representatief geacht voor de langjarig gemiddelde situatie qua rivierafvoer en getij op zee. In deze drie jaren zou bij toepassing van het Kierprogramma 11 keer zijn zoetgespoeld.

Zoetspoelen vindt altijd plaats op het moment dat de Rijnafvoer bij Lobith onder de  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$  daalt. De afvoeromstandigheden zijn bij zoetspoelen dus altijd gelijk. De getijbeweging tijdens en direct na het zoetspoelen kan echter wel variëren. Daarom is voor alle 11 gevallen waarin zou zijn zoetgespoeld het verschil bepaald tussen opgetreden en astronomisch hoogwater te Hoek van Holland voor alle getijden tijdens het zoetspoelen en de 6 dagen erna. Uit deze reeks is telkens de grootste opwaaiing en de grootste afwaaiing bepaald. Het bleek dat voor geen van de 11 perioden een zodanig grote (groter dan 0.5 m) opwaaiing (of afwaaiing) voorkomt dat dit grote gevolgen voor de zoutindringing in het havengebied heeft. In deze paragraaf zijn daarom van twee willekeurige zoetspoel-acties de resultaten weergegeven.

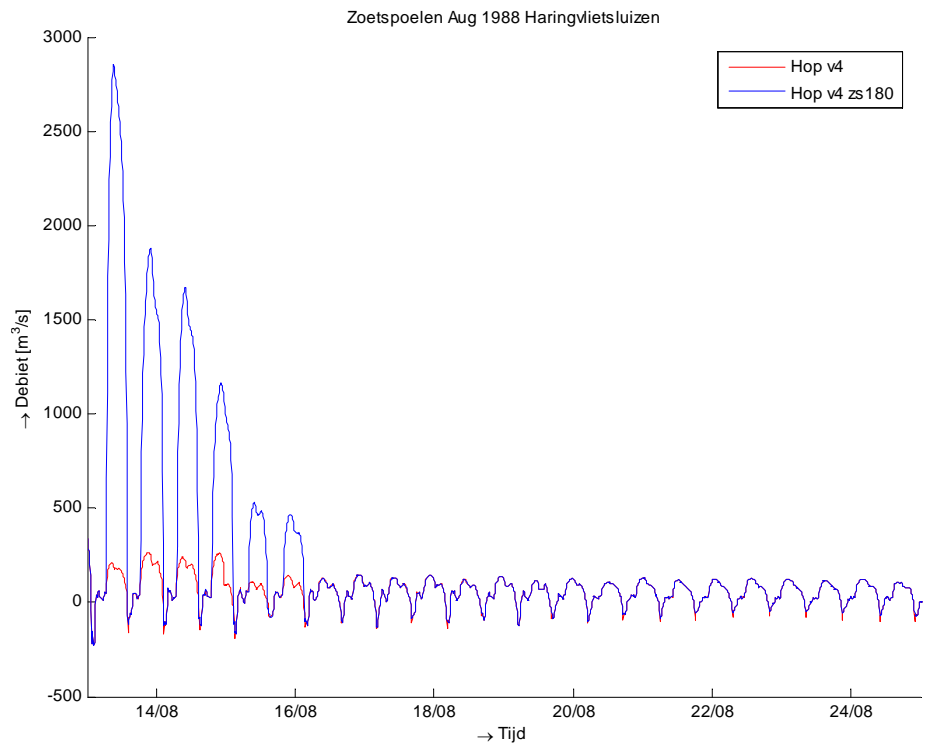
### Augustus 1988

Van 13 augustus tot 2 september 1988 daalt de Rijnafvoer bij Lobith voor de eerste keer dat jaar onder de  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ . Er wordt zoetgespoeld in 6 getijden. De spuiopening van de Haringvlietsluizen tijdens dit

zoetspoelen is achtereenvolgens 750, 400, 400, 250, 150 en 100 m<sup>2</sup>. Op deze wijze wordt ongeveer 180 miljoen m<sup>3</sup> water naar zee geloosd.

In figuur 5.75 is de afvoer door de Haringvlietsluizen weergegeven in de situatie met (de blauwe lijn, 'zs180') en zonder (de rode lijn) zoetspoelen.

**Figuur 5.75**  
Afvoer door Haringvlietsluizen bij zoetspoelen in augustus 1988



De effecten van het zoetspoelen op de waterstanden en de verzilting worden voor een drietal locaties in beeld gebracht in figuur 5.76 t/m figuur 5.80.

### Waterstanden

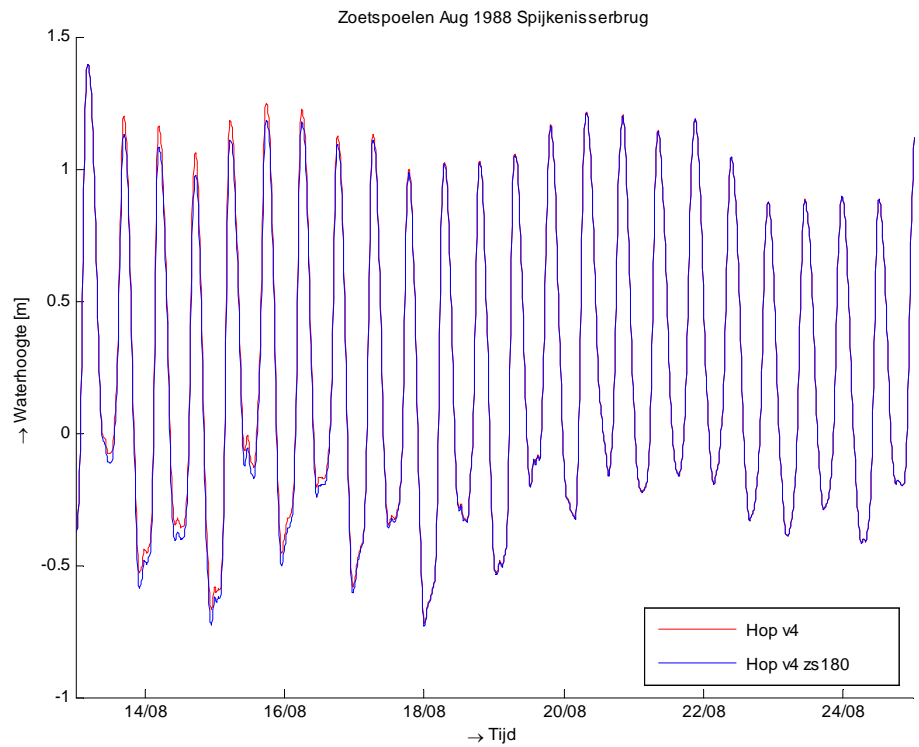
Tijdens het zoetspoelen dalen de waterstanden bij Spijkenisse maximaal 7 cm en bij Rotterdam maximaal 9 cm. De grootste dalingen treden op tijdens hoogwater en laagwater. Tijdens de tussenliggende waterstands daling en –stijging is het verschil slechts enkele centimeters. Door de aflopende reeks spuiopeningen verminderen de waterstands dalingen al tijdens het zoetspoelen. Na het beëindigen hiervan is het waterstandeffect binnen twee getijden verdwenen.

### Chloride

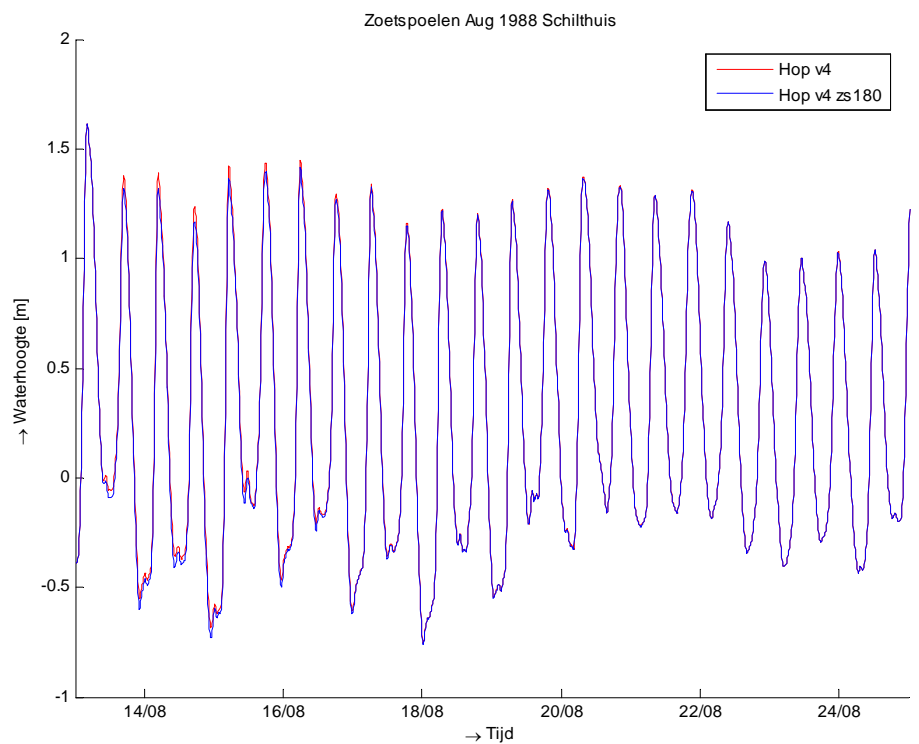
Het effect van het zoetspoelen op de zoutindringing verschilt sterk van het effect op de waterstanden. Is de waterstands daling binnen enkele uren na aanvang van het zoetspoelen in de omgeving van Rotterdam merkbaar, de extra verzilting die het zoetspoelen met zich meebrengt bouwt gedurende de eerste drie getijperioden steeds verder op, blijft dan stabiel om pas na het beëindigen van het zoetspoelen langzaam te gaan dalen. Volledige terugkeer naar de situatie zonder zoetspoelen kan enkele dagen tot een week duren. De effecten verschillen per locatie. Bij Suurhoffbrug (maximale stijging 2.4 g/l) zijn het vooral de minimale chlorideconcentraties die stijgen. Bij Spijkenisserbrug

(maximale stijging 3.4 g/l) stijgen de maxima sterker dan de minima. Bij Lekhaven (maximale stijging 2 g/l) gaat de hele kromme tijdelijk omhoog.

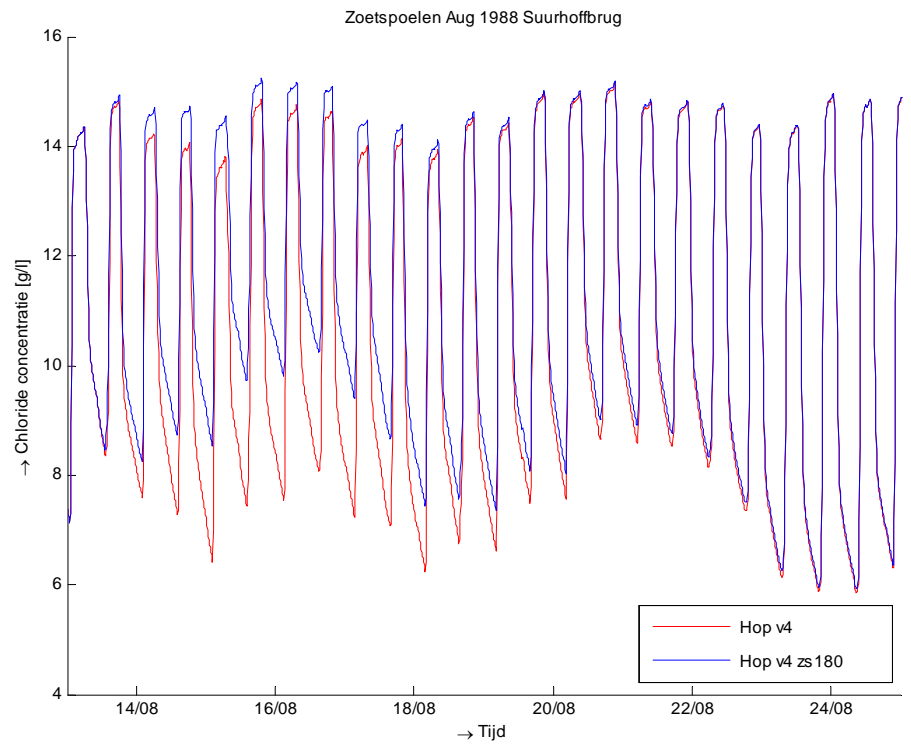
**Figuur 5.76**  
Waterhoogte Spijkenisserbrug bij  
zoetspoelen in augustus 1988



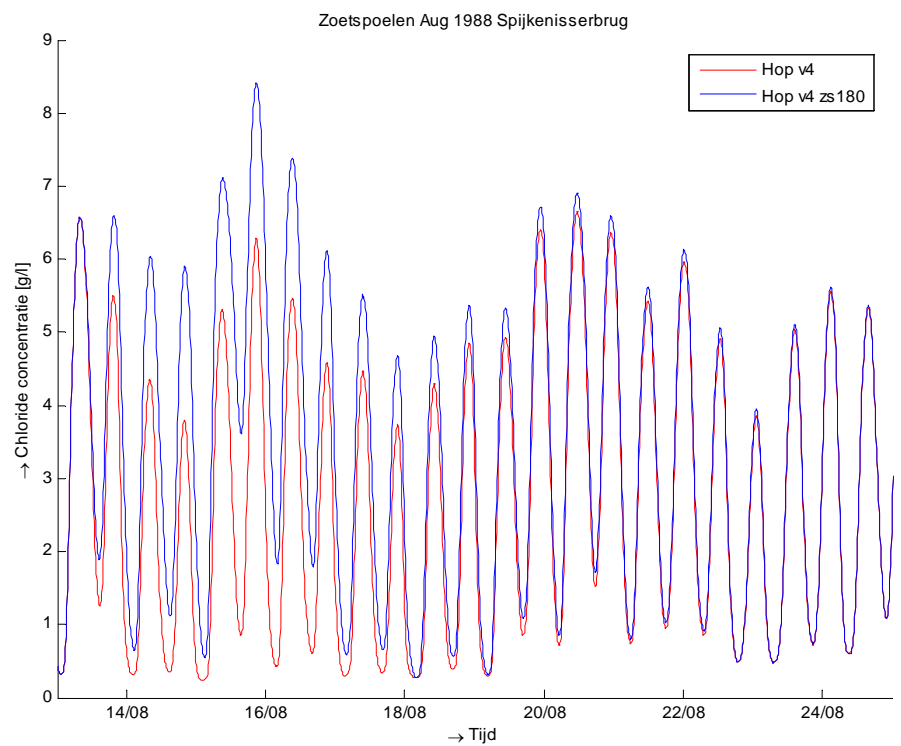
**Figuur 5.77**  
Waterhoogte Schilthuis bij zoetspoelen  
in augustus 1988



**Figuur 5.78**  
Chlorideconcentratie Suurhoffbrug bij  
zoetspoelen in augustus 1988

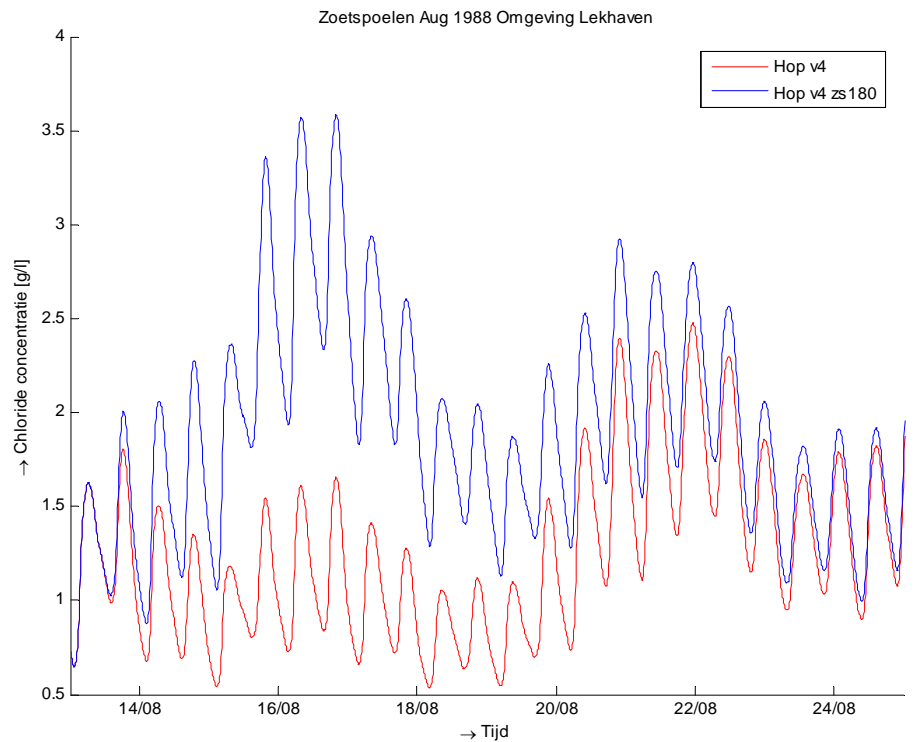


**Figuur 5.79**  
Chlorideconcentratie Spijkenisserbrug  
bij zoetspoelen in augustus 1988





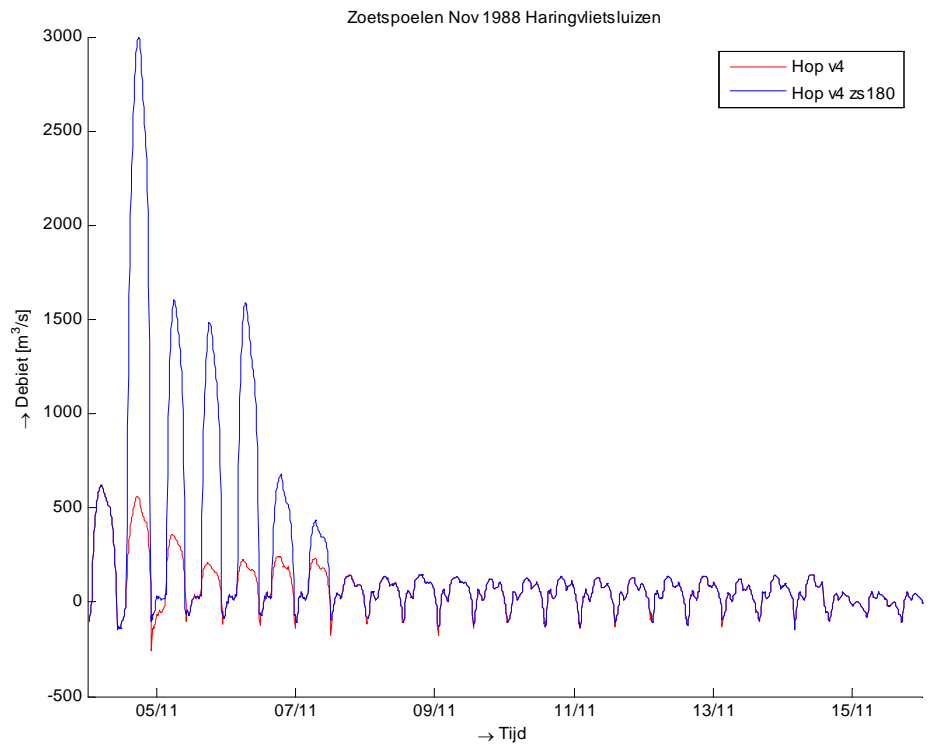
**Figuur 5.80**  
Chloride concentratie Lekhaven bij  
zoetspoelen in augustus 1988



**November 1988**

Van 4 tot 30 november 1988 daalt de Rijnafvoer bij Lobith voor de derde keer dat jaar onder de 1500 m<sup>3</sup>/s. Er wordt zoetgespoeld in 6 getijden. De spuiopening van de Haringvlietsluizen tijdens dit zoetspoelen is achtereenvolgens 750, 500, 400, 400, 150 en 100 m<sup>2</sup>. Op deze wijze wordt ongeveer 180 miljoen m<sup>3</sup> water naar zee geloosd.

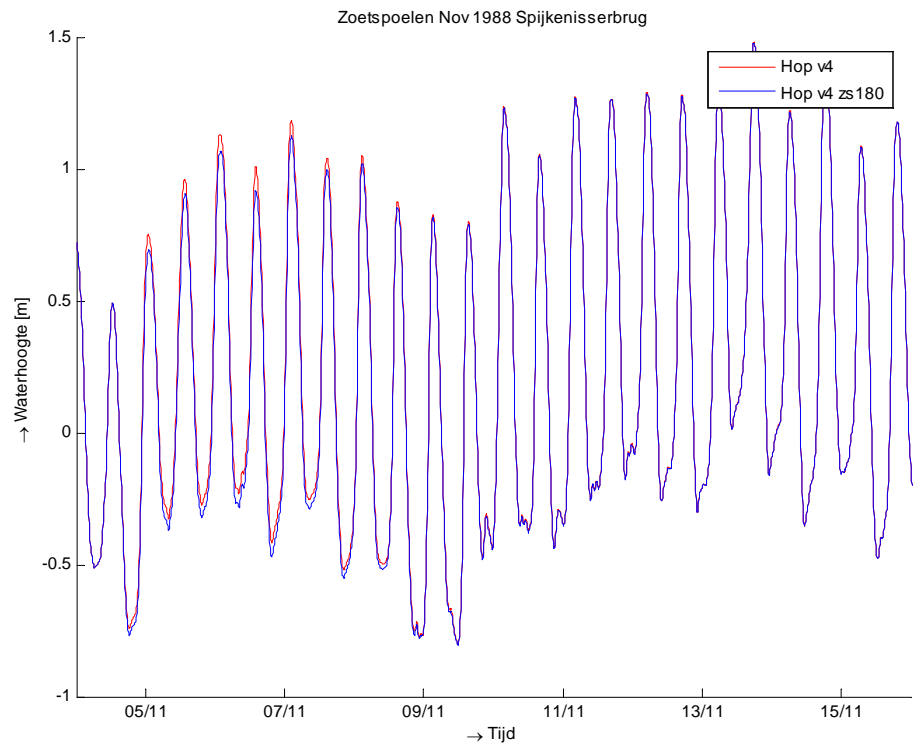
**Figuur 5.81**  
Afvoer door Haringvlietsluizen bij  
zoetspoelen in november 1988



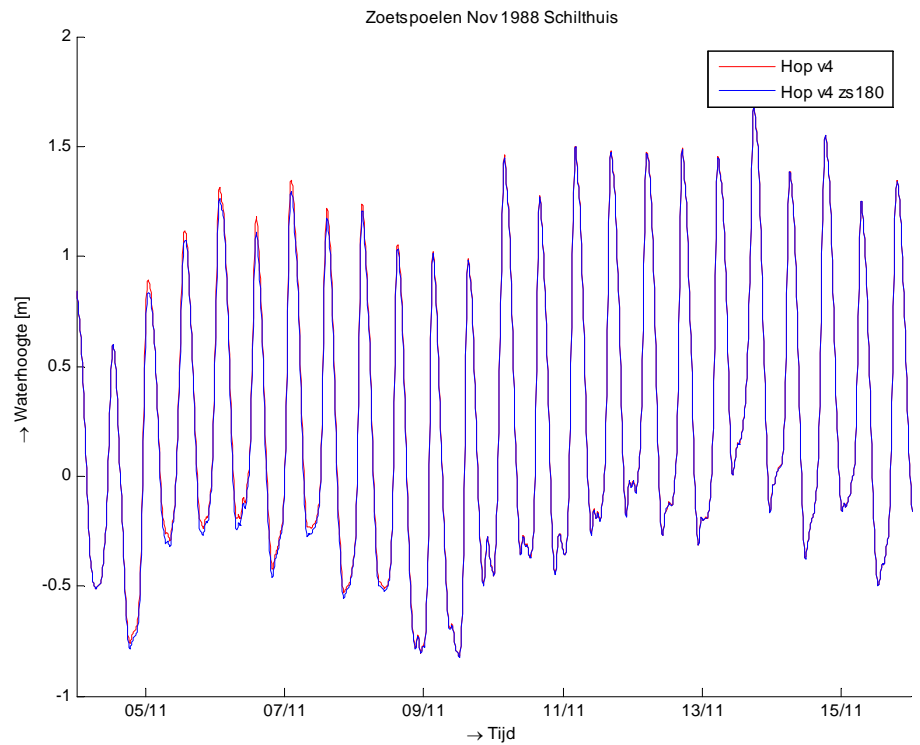
In figuur 5.81 is de afvoer door de Haringvlietsluizen weergegeven in de situatie met (de blauwe lijn, 'zs180') en zonder (de rode lijn) zoetspoelen.

De effecten van het zoetspoelen op de waterstanden en de verzilting worden voor een drietal locaties in beeld gebracht in figuur 5.82 t/m figuur 5.86.

**Figuur 5.82**  
Waterhoogte Spijkenisserbrug bij zoetspoelen in november 1988



**Figuur 5.83**  
Waterhoogte Schilthuis bij zoetspoelen in november 1988

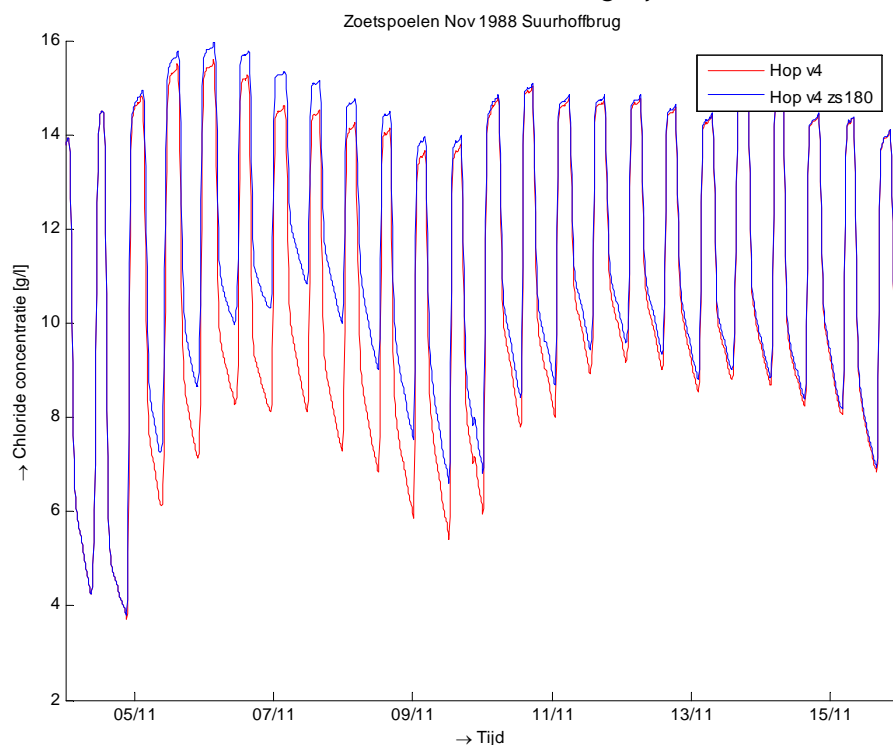


## Waterstanden

Ten aanzien van de waterstandeffecten is er weinig verschil met het zoetspoelen in augustus. Tijdens het zoetspoelen dalen de waterstanden bij Spijkenisse maximaal 9 cm en bij Rotterdam maximaal 7 cm. De grootste dalingen treden ook nu op tijdens hoogwater en laagwater. Net als in augustus verminderen de waterstandsdalingen al tijdens het zoetspoelen door de aflopende reeks spuiopeningen. Na het beëindigen hiervan is het waterstandeffect weer binnen twee getijden verdwenen.

**Figuur 5.84**

Chlorideconcentratie Suurhoffbrug bij zoetspoelen in november 1988



**Figuur 5.85**

Chlorideconcentratie Spijkenisserbrug bij zoetspoelen in november 1988



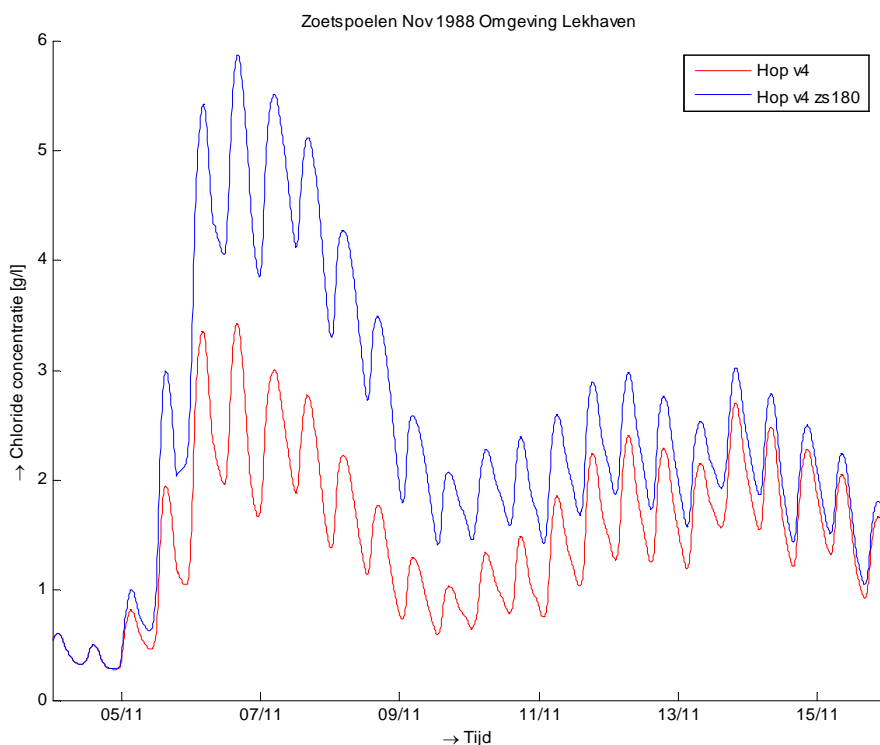
## Chloride

Ook bij chloride verschilt de situatie niet van die bij het zoetspoelen in augustus.

Bij Suurhoffbrug (maximale stijging 2.7 g/l) zijn het vooral de minimale chlorideconcentraties die stijgen. Bij Spijkenisserbrug (maximale stijging 4 g/l) stijgen de maxima sterker dan de minima. Bij Lekhaven (maximale stijging 2.6 g/l) gaat de hele kromme omhoog.

**Figuur 5.86**

Chlorideconcentratie Lekhaven bij zoetspoelen in november 1988



## Conclusies

De gevolgen van het zoetspoelen op de waterbeweging en verzilting in het Rotterdams havengebied zijn beperkt.

De hoog- en laagwaterstanden kunnen tijdens het zoetspoelen en tot 1 dag erna iets lager uitvallen. De dalingen zijn maximaal 5 à 10 cm kort na aanvang van het zoetspoelen en nemen vervolgens af.

Bij de zoutindringing zijn verhogingen van 2 tot 4 g Cl<sup>-</sup>/l te verwachten. De maximale verhoging treedt op tijdens de tweede dag van het zoetspoelen. De terugkeer naar de onverstoorte situatie duurt 3 tot 7 dagen na het einde van het zoetspoelen.

Zowel de waterstands daling als de verzilting zijn klein vergeleken met de natuurlijke variaties die optreden door bijvoorbeeld wisselende rivierafvoer, doortij en springtij en op- en afwaaiing in het getij door wind.

---

## 6. Conclusies

---

De doelstelling van de Kier is het verbeteren van de migratiemogelijkheden voor vis. De randvoorwaarden ten aanzien van de toegestane verandering in verzilting en waterstand in het gebied na invoering van het HOP beperken de mogelijkheden tot opening van de Haringvliet-sluizen sterk. Goede vismigratiemogelijkheden en deze randvoorwaarden zijn onderling tegenstrijdig. Het is niet mogelijk gebleken een HOP versie te vinden die zowel in het noordelijk als in het zuidelijk deel van het gebied niet tot extra verzilting leidt en waarbij ook de waterstanden in de Biesbosch en bij Moerdijk niet vaker onder NAP komen. Er is daarom gezocht naar een HOP-variant waarin de randvoorwaarden minimaal worden overschreden.

Versie 4 met zoetspoelen is in dit onderzoek als beste variant naar voren gekomen. In deze variant wordt bij een Rijnafvoer lager dan  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$  geen zout water ingelaten. Boven de  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$  zijn de sluisopeningen bij inlaten altijd kleiner dan de sluisopeningen bij spuien. Op deze wijze wordt het restdebiet door het Haringvliet groter en de zoutindringing dus kleiner.

Indien de afvoer onder  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$  daalt wordt het brakke water in het Haringvliet in korte tijd zoveel mogelijk gespuid. Tijdens dit zogenaamde zoetspoelen wordt in 6 opeenvolgende getijden 180 miljoen  $\text{m}^3$  water via de Haringvliet-sluizen naar zee afgevoerd. Hiermee wordt voorkomen dat achtergebleven zout zich tijdens lange perioden van lage afvoer gaat verspreiden. Wanneer onder dergelijke omstandigheden innamepunten verzilt raken, is er door de lage afvoer geen mogelijkheid meer hier maatregelen tegen te nemen. Tijdens het zoetspoelen treedt een tijdelijke, versterkte verzilting op lang de noordrand van de Rijn-Maasmonding. Dit effect verdwijnt kort na het beëindigen van het zoetspoelen.

Het vertrouwen in de reproductienauwkeurigheid van de gebruikte hydrodynamische modellen is beperkt. Voor de afregeling kon uitsluitend gebruik gemaakt worden van de meetgegevens van de inlaatproef in 1997. Over de prestaties van de modellen onder andere omstandigheden van rivierafvoer en sluisopening bestaan alleen vermoedens. Deze onzekerheid in modelnauwkeurigheid betekent ook dat de juiste werking van het afgeleide HOP2008 niet volledig gegarandeerd kan worden.

Wegens het beperkte vertrouwen in de modellen is bij de selectie van de beste HOP-variant voor een voorzichtige aanpak gekozen.

Waarschijnlijk zijn bij afvoeren boven de  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$  wat grotere sluisopeningen toelaatbaar dan in versie 4 worden voorgeschreven. De grens van  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$  waaronder de sluisen gesloten moeten worden, zal naar verwachting echter niet verlaagd kunnen worden. In de voorziene periode van "Lerend implementeren" bij invoering van het HOP zal moeten blijken hoe groot de speelruimte voor het HOP echt is.

---

Het HOP2008 is een beperkte invulling van de Kier die uit het oogpunt van vismigratie en ecologie voor verbetering vatbaar is. Een belangrijk inzicht dat tijdens het afleiden van het HOP2008 is ontstaan is dat verdere stappen richting een grotere Kier of een beperkte vorm van getemd getij onvermijdelijk vereisen dat de geconstateerde tegenstrijdigheid in randvoorwaarden wordt opgeheven. Dit kan bijvoorbeeld door de innamepunten Bernisse en Koert te verplaatsen naar een locatie ten oosten van Willemstad. Het Haringvliet kan dan over een grotere afstand verzilten. Er is daardoor minder restafvoer via de Haringvliet-sluizen nodig. Dit vermindert de verzilting langs de noordrand en heeft tevens een gunstige invloed op de laagwaterstanden bij Moerdijk en in de Biesbosch.

### **Aanbevelingen**

- Tijdens het onderzoek naar HOP2008 is gebleken dat er een grote behoefte is aan modellen die de zoutindringing in de Rijn-Maasmonding en met name in het Haringvliet aantoonbaar nauwkeuriger kunnen reproduceren. Na invoering van het HOP kunnen de metingen die noodzakelijk zijn voor de kalibratie en verificatie van deze modellen worden uitgevoerd.
- Er is nog maar weinig onderzoek gedaan naar de meest effectieve manier om zoet te spoelen. Tot nu toe is alleen de hoeveelheid te spuien water onderzocht. Er is niet of nauwelijks gekeken naar effecten van verdeling van deze hoeveelheid over de getijden en de gebruikte sluisconfiguratie. Meer inzicht in het gedrag van het achterblijvende brakke water kan duidelijk maken of de hoeveelheid van 180 Mm<sup>3</sup> nog verder kan worden beperkt. Met name de relatie tussen gelaagdheid, wind en de horizontale en verticale verspreiding van het brakke water over het Haringvliet is hiervoor van groot belang. Tijdens de vrij aanzienlijke (achterwaartse) verzilting van het Haringvliet in november 2005 zijn de risico's van achterblijvend zout in de praktijk gedemonstreerd.

Andere onderwerpen voor nader onderzoek zijn

- de Kier bij hoge afvoer,
- stormsluiting en de effecten op MHW,
- stormsluiting en verzilting,
- de mogelijkheden van het kortstondig volledig openen van een sluisdeur bij gelijke waterstand om zo ook bij lage rivierafvoer visintrek beter mogelijk te maken.

---

## 7.Literatuur

---

Jacobs, P., B.P.C. Steenkamp en S. de Goederen, 2003. Van zoet naar zout in 5 dagen?; Analyse zoutmetingen inlaatproef Haringvliet in maart 1997. RIZA rapport 2003.001, RIZA, Dordrecht.

Kraaijeveld, M., 2003. Een SOBEK-model van het Noordelijk Deltabekken: kalibratie en verificatie zoutbeweging Noordrand. RIZA werkdocument; 2003.047X. RIZA, Dordrecht.

Linden, M. van der, en J.W. van Zetten, 2001. Een SOBEK-model van het Noordelijk Deltabekken: bouw, kalibratie en verificatie. RIZA rapport; 2002.002. RIZA, Dordrecht.

Spijk, Ary van, 2003. Resultaten zout- en zuurstofmetingen in de diepe delen van het Haringvliet. Document AP/2231799/2003/14 (intern), Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland, Rotterdam.

Svašek, 2001. Detailmodel Haringvlietsluizen: Numerieke berekeningen 2-DV model. Rapport no. 1205/R01539/RL/Rott2b, Svašek/Royal Haskoning, Rotterdam.

Svašek, 2002-1. 3D berekeningen Haringvlietsluizen: fase 2. Rapport no. 1205/R02050/Rjla/Rott2b, Svašek/Royal Haskoning, Rotterdam.

Svašek, 2002-2. 3D berekeningen Haringvlietsluizen: Eindrapport fase 3. Rapport no. 1205/R02222/CG/Rott2b, Svašek/Royal Haskoning, Rotterdam.

WL-Delft, 1985. Waterloopkundig Systeemonderzoek Noordelijk Deltabekken, Lozingen/onttrekkingen en afvoervertrekkingen, deel 1, variaties restafvoeren. WL-Delft, Delft.

Ybema, M.S. en J.J.G.M. Backx, 2001. Kansen voor estuariene vissen in het Haringvliet door gewijzigd sluisbeheer. RIZA werkdocument 2001.009X, RIZA, Lelystad.

---



---

## Bijlage A Bedieningsprogramma's Haringvlietsluizen

---

.....

In onderstaande tabel zijn van alle in dit document besproken  
bedieningsprogramma's de ebopeningen (ebop) en vloedopeningen  
(vlop) opgenomen.

Qbr	Qwaal	LPH'84		Getemd getij		De Kier		HOP versie 1		HOP versie 2		HOP versie 3		HOP versie 4		HOP versie 5a		HOP versie 5b		HOP versie 5c		HOP versie 5d		HOP versie 5e		HOP versie 6		HGG versie 1		HGG versie 2	
		ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop
m³/s	m³/s	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
600	535	0	0					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
700	605	0	0					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
800	655	0	0					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
900	695	0	0					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
999	769			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1000	770	0	0	2000	2000	50	50	90	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1050	807.5							105	17.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1100	845	0	0					120	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1150	882.5							135	22.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1200	920	25	0					150	25	25	0	25	0	25	0	25	0	25	0	25	0	25	0	50	0	25	0	25	0	25	0
1250	957.5							187.5	25	25	0	25	0	25	0	25	0	25	0	25	0	25	0	50	0	25	0	25	0	25	0
1300	995	25	0					225	25	25	0	25	0	25	0	25	0	25	0	25	0	25	0	50	0	75	0	25	0	25	0
1340	1025	25	0																												
1350	1032.5							262.5	25	25	0	25	0	25	0	25	0	25	0	25	0	50	0	75	0	25	0	25	0	25	0
1400	1070	25	0					300	25	275	25	50	0	50	0	25	0	25	0	25	0	25	0	100	0	25	0	50	0	50	0
1450	1087.5							337.5	56.3	275	25	50	0	50	0	25	0	25	0	25	0	25	0	75	0	100	0	25	0	75	0
1500	1105	25	0					375	87.5	300	42.9	250	25	100	25	25	0	25	0	25	0	25	0	75	0	125	0	25	0	100	25
1550	1125							412.5	118.8	325	60.7	275	25	125	25	25	0	25	0	25	0	25	0	75	0	125	0	25	0	125	25
1600	1145	25	0					450	150	350	78.6	300	50	150	50	50	0	50	0	50	0	50	0	100	0	150	0	150	50	150	50
1650	1167.5							475	158.3	375	96.4	325	75	175	75	75	0	75	0	75	0	75	0	100	0	150	0	175	75	175	75
1700	1190	25	0			400	400	500	166.7	400	114.3	350	100	200	100	100	25	100	0	100	0	100	0	150	0	25	0	200	100	200	100
1750	1215							525	175	425	132.1	375	125	225	125	125	50	150	25	150	25	150	25	150	25	300	25	250	125	250	150
1800	1240	53	0					550	183.3	450	150	400	150	250	150	150	75	175	50	175	50	175	50	175	50	300	25	300	150	300	200
1850	1265							575	191.7	525	153.6	500	153.6	275	153.6	175	100	200	75	200	75	200	75	200	75	300	25	350	175	350	250
1900	1290	88	0					600	200	600	157.1	600	157.1	300	157.1	200	125	225	100	225	100	225	100	300	25	400	200	400	300	300	
1950	1320							600	216.7	600	160.7	600	160.7	325	160.7	233.3	131.3	256.3	108.3	256.3	108.3	256.3	108.3	256.3	108.3	300	25	450	250	450	350
2000	1350	126	0					600	233.3	600	164.3	600	164.3	350	164.3	266.7	137.5	287.5	116.7	287.5	116.7	287.5	116.7	287.5	116.7	300	25	500	300	500	400
2050	1382.5							600	250	600	167.9	600	167.9	375	167.9	300	143.8	318.8	125	318.8	125	318.8	125	318.8	125	300	25	550	350	550	460
2100	1415	165	0					600	266.7	600	171.4	600	171.4	400	171.4	333.3	150	350	133.3	350	133.3	350	133.3	350	133.3	300	25	600	400	600	520
2150	1445							600	283.3	600	175	600	175	425	175	366.7	156.3	381.3	141.7	381.3	141.7	381.3	141.7	381.3	141.7	300	25	650	450	650	580
2200	1475	206	0					600	300	600	178.6	600	178.6	450	178.6	400	162.5	412.5	150	412.5	150	412.5	150	412.5	150	300	25	700	500	700	640
2250	1507.5							600	316.7	600	182.1	600	182.1	475	182.1	433.3	168.8	443.8	158.3	443.8	158.3	443.8	158.3	443.8	158.3	300	25	750	550	750	700
2300	1540	249	0					600	333.3	600	185.7	600	185.7	500	185.7	466.7	175	475	166.7	475	166.7	475	166.7	475	166.7	300	25	800	600	800	760
2350	1572.5							600	350	600	189.3	600	189.3	525	189.3	500	181.3	506.3	175	506.3	175	506.3	175	506.3	175	300	25	850	650	850	820
2400	1605	294	0					600	366.7	600	192.9	600	192.9	550	192.9	533.3	187.5	537.5	183.3	537.5	183.3	537.5	183.3	537.5	183.3	300	25	900	700	900	880
2450	1640							600	383.3	600	196.4	600	196.4	575	196.4	566.7	193.8	568.8	191.7	568.8	191.7	568.8	191.7	568.8	191.7	300	25	950	750	950	940
2500	1675	341	0					600	400	600	200	600	200	600	200	600	200	600	200	600	200	600	200	600	200	341	25	1000	800	1000	1000
2550	1707.5							600	410	600	220	600	220	600	220	600	220	600	220	600	220	600	220	600	220	365.5	25	1033.3	840	1033.3	1033.3
2600	1740	390	0			400	400	600	420	600	240	600	240	600	240	600	240	600	240	600	240	600	240	600	240	390	25	1066.7	880	1066.7	1066.7
2650	1772.5							600	430	600	260	600	260	600	260	600	260	600	260	600	260	600	260	600	260	415	25	1100	920	1100	1100
2700	1805	440	0			440	440	600	440	600	280	600	280	600	280	600	280	600	280	600	280	600	280	600	280	440	25	1133.3	960	1133.3	1133.3

Qbr	Qwaal	LPH'84		Getemd getij		De Kier		HOP versie 1		HOP versie 2		HOP versie 3		HOP versie 4		HOP versie 5a		HOP versie 5b		HOP versie 5c		HOP versie 5d		HOP versie 5e		HOP versie 6		HGG versie 1		HGG versie 2	
		ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop	ebop	vlop
m³/s	m³/s	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	
2750	1840							600	450	600	300	600	300	600	300	600	300	600	300	600	300	600	300	600	300	466	25	1166.7	1000	1166.7	1166.7
2800	1875	492	0			492	492	600	460	600	320	600	320	600	320	600	320	600	320	600	320	600	320	600	320	492	25	1200	1040	1200	1200
2850	1907.5							600	470	600	340	600	340	600	340	600	340	600	340	600	340	600	340	600	340	519	25	1233.3	1080	1233.3	1233.3
2900	1940	546	0			546	546	600	480	600	360	600	360	600	360	600	360	600	360	600	360	600	360	600	360	546	25	1266.7	1120	1266.7	1266.7
2950	1975							600	490	600	380	600	380	600	380	600	380	600	380	600	380	600	380	600	380	574	25	1300	1160	1300	1300
3000	2010	602	0			602	602	600	500	600	400	600	400	600	400	600	400	600	400	600	400	600	400	600	400	602	25	1333.3	1200	1333.3	1333.3
3200	2145	720	0			720	720	720	620	720	500	720	500	720	500	720	500	720	500	720	500	720	500	720	500	720	25	1466.7	1360	1466.7	1466.7
3400	2275	844	0			844	844	844	740	844	600	844	600	844	600	844	600	844	600	844	600	844	600	844	600	844	25	1600	1520	1600	1600
3500	2340							910.5	800																						
3600	2405	977	0			977	977	977	840	977	700	977	700	977	700	977	700	977	700	977	700	977	700	977	700	977	25	1733.3	1680	1733.3	1733.3
3800	2535	1116	0			1116	1116	1116	920	1116	800	1116	800	1116	800	1116	800	1116	800	1116	800	1116	800	1116	800	1116	25	1866.7	1840	1866.7	1866.7
4000	2665	1240	0	2000	2000	1240	1240	1240	1000	1240	900	1240	900	1240	900	1240	900	1240	900	1240	900	1240	900	1240	900	1240	25	2000	2000	2000	2000
4200	2795	1301	0			1301	1301	1301	1080	1301	1000	1301	1000	1301	1000	1301	1000	1301	1000	1301	1000	1301	1000	1301	1000	1301	25	2133.3	2133.3	2133.3	2133.3
4400	2925	1361	0			1361	1361	1361	1160	1361	1100	1361	1100	1361	1100	1361	1100	1361	1100	1361	1100	1361	1100	1361	1100	1361	25	2266.7	2266.7	2266.7	2266.7
4500	2990							1392	1200																						
4600	3055	1423	0			1423	1423	1423	1200	1423	1200	1423	1200	1423	1200	1423	1200	1423	1200	1423	1200	1423	1200	1423	1200	1423	25	2400	2400	2400	2400
4800	3185	1484	0			1484	1484	1484	1200	1484	1200	1484	1200	1484	1200	1484	1200	1484	1200	1484	1200	1484	1200	1484	1200	1484	25	2533.3	2533.3	2533.3	2533.3
5000	3315	1545	0			1545	1545	1545	1200	1545	1200	1545	1200	1545	1200	1545	1200	1545	1200	1545	1200	1545	1200	1545	1200	1545	25	2666.7	2666.7	2666.7	2666.7
5200	3445	1607	0			1607	1607	1607	1200	1607	1200	1607	1200	1607	1200	1607	1200	1607	1200	1607	1200	1607	1200	1607	1200	1607	25	2800	2800	2800	2800
5400	3570	1669	0			1669	1669	1669	1200	1669	1200	1669	1200	1669	1200	1669	1200	1669	1200	1669	1200	1669	1200	1669	1200	1669	25	2933.3	2933.3	2933.3	2933.3
5600	3705	1732	0			1732	1732	1732	1200	1732	1200	1732	1200	1732	1200	1732	1200	1732	1200	1732	1200	1732	1200	1732	1200	1732	25	3066.7	3066.7	3066.7	3066.7
5800	3835	1796	0			1796	1796	1796	1200	1796	1200	1796	1200	1796	1200	1796	1200	1796	1200	1796	1200	1796	1200	1796	1200	1796	25	3200	3200	3200	3200
6000	3970	1860	0			1860	1860	1860	1200	1860	1200	1860	1200	1860	1200	1860	1200	1860	1200	1860	1200	1860	1200	1860	1200	1860	25	3333.3	3333.3	3333.3	3333.3
6500	4300	2042	0			2042	2042	2042	1200	2042	1200	2042	1200	2042	1200	2042	1200	2042	1200	2042	1200	2042	1200	2042	1200	2042	25	3666.7	3666.7	3666.7	3666.7
7000	4625	2250	0			2250	2250	2250	1200	2250	1200	2250	1200	2250	1200	2250	1200	2250	1200	2250	1200	2250	1200	2250	1200	2250	25	4000	4000	4000	4000
7500	4935	2490	0			2490	2490	2490	1200	2490	1200	2490	1200	2490	1200	2490	1200	2490	1200	2490	1200	2490	1200	2490	1200	2490	25	4333.3	4333.3	4333.3	4333.3
8000	5250	2760	0			2760	2760	2760	1200	2760	1200	2760	1200	2760	1200	2760	1200	2760	1200	2760	1200	2760	1200	2760	1200	2760	25	4666.7	4666.7	4666.7	4666.7
8500	5540	3100	0			3100	3100	3100	1200	3100	1200	3100	1200	3100	1200	3100	1200	3100	1200	3100	1200	3100	1200	3100	1200	3100	25	5000	5000	5000	5000
9000	5825	3640	0			3640	3640	3640	1200	3640	1200	3640	1200	3640	1200	3640	1200	3640	1200	3640	1200	3640	1200	3640	1200	3640	25	5333.3	5333.3	5333.3	5333.3
9500	6110	6000	0			6000	6000	6000	1200	6000	1200	6000	1200	6000	1200	6000	1200	6000	1200	6000	1200	6000	1200	6000	1200	6000	25	5666.7	5666.7	5666.7	5666.7
10000	6405	10000	0	6000	6000	10000	10000	10000	1200	10000	1200	10000	1200	10000	1200	10000	1200	10000	1200	10000	1200	10000	1200	10000	1200	10000	25	6000	6000	6000	6000
10001	6406			10000	10000																										
11000	7010					10000	10000																								
12000	7630					10000	10000																								
13000	8275					10000	10000																								
14000	8910					10000	10000																								
15000	9550					10000	10000																								
16000	10185					10000	10000																								
17000	10835					10000	10000																								
18000	11485			10000	10000	10000	10000																								
20000	13000	10000	0	10000	10000	10000	10000	10000	1200	10000	1200	10000	1200	10000	1200	10000	1200	10000	1200	10000	1200	10000	1200	10000	1200	10000	25	10000	10000	10000	10000

## Bijlage B Locaties

Locatie	Beheerder	Type	Coördinaat		Sobekpunt	Grid punt	Coördinaat		Afstand m	HQVC Gridpunt 1	Gridpunt 2
			X m	Y m			X m	Y m			
Dordrecht		h-meetstation	105600	425900	OUMA_Dordrecht_00	Ja	105610	426090	190	X X X X	
Deeneplaat		h-meetstation	108690	416980	NIME074_16190.00	Ja	108697	417180	200	X X X	
Goidschalxoord		h-meetstation	91780	427320	OUMA035_12886.00	Ja	91731	427555	240	X X X	
Harmsenbrug		h-meetstation	74045	435462	HAKA079_5703.00	Ja	73786	435748	386	X X X	
Heesbeen		h-meetstation	136870	416380	BEMA064_00	Ja	136800	416500	139	X X X	
Hellevoetsluis		h-meetstation	68200	426430	HAVL042_00	Ja	68480	426170	382	X X X	
Hoek van Holland		h-meetstation	67930	444000	NIWA003_00	Ja	67810	443810	225	X X X	
Gouda brug		h-meetstation	109230	446700	HOIJ029_814.00	Ja	109220	446687	16	X X X	
s-Gravendeel haven		h-meetstation	102460	421780	DOKI073_932.00	Ja	102348	422666	893	X X X	
Keizersveer	De Dongestroom	h-meetstation	120950	414720	BEMA062_00	Ja	121090	414570	205	X X X	
Krimpen a/d IJssel		h-meetstation	99360	436750	HOIJ029_18109.00	Ja	99390	436750	30	X X X	
Krimpen a/d Lek		h-meetstation	102800	433850	LEK_030_40973.00	Ja	102823	433718	134	X X X	
Maassluis		h-meetstation	76750	437170	NIWA_SVKW_5034.00	Ja	76160	436872	661	X X X	
Middelharnis		h-meetstation	72540	421220	HAVL047_1061.00	Ja	72999	421574	580	X X X X	
Moerdijk		h-meetstation	102140	413160	HODI055_00	Ja	101760	413780	727	X X X	
Rak noord		h-meetstation	88240	412250	HODI059_811.00	Ja	87563	412560	745	X X X	
Rotterdam		h-meetstation	93950	437210	NIMA_Rotterdam_00	Ja	94160	436720	533	X X X X	
Spijkenisserbrug		h-meetstation	82450	430870	OUMA_Spijkenisse_7627.00	Ja	82668	430934	227	X X X	
Stellendam buiten		h-meetstation	61680	427360	ZEHV098_00	Ja	62670	427790	1079	X X X	
Vlaardingen		h-meetstation	83550	435080	NIMA012_950.00	Ja	83743	434855	296	X X X	
Vuren		h-meetstation	129440	426010	WAAL041_39375.00	Ja	129381	425869	153	X X X	
Werkendam buiten		h-meetstation	119800	424280	NIME074_1403.00	Ja	119458	424658	510	X X X	
Moerdijk (haven)		algemeen			HODI055_722.50	Ja				X X X X	
Maasmond		modelrand			MAMO001_1405.00	Ja				X X X	
Tiel		modelrand			WAAL041_00	Ja				X X X	
Hagesteijn		modelrand			LEK_032_00	Ja				X X X	
Lith		modelrand			MAAS069_00	Ja				X X X	
Monding Hollandse IJssel		algemeen			HOIJ028_2114.00	Ja				X	
Stad a/h Haringvliet		algemeen			HAVL050_7126.00	Ja				X	

Locatie	Beheerder	Type	Coördinaat		Sobekpunt	Grid punt	Coördinaat		Afstand m	H	V	C	Gridpunt 1	Gridpunt 2
			X m	Y m			X m	Y m						
Geertruidenberg, Dongemonding	De Dongestroom				BEMA062_3503.00	Ja	117708	414223					X	
Waalwijk Haveningang	De Dongestroom				BEMA064_6584.22	Nee	131000	413630					X	BEMA064_5871.00
Andel Waalzijde					AFMA065_00	Ja							X X X	
Heusdensch Kanaal					AFMA068_00	Ja							X X X	
Afgedamde Maas km 235					AFMA066_1921.82	Ja							X X X	
Afgedamde Maas km 240					AFMA066_7687.27	Ja							X X X	
Hevel Wolvenpolder			85957	426950	SPIU084_5181.00	Ja	84839	425909	1528				X	
Snelle Sluis					HOIJ029_3938.00	Ja							X	
Molenpolder					HAVL052_00	Ja							X	
Torensteepolder					HODI058_8416.00	Ja							X	
Hoogezandsepolder			93291	413890	HODI058_6520.00	Ja	92202	411730	2419				X	
Raepshille			96419	413690	HODI058_2121.00	Ja	96323	411559	2133				X	
Boezemloozende			99628	414210	HODI056_00	Ja	100300	413590	914				X	
Oude Maas					OUMA_Spijkenisse_3755.00	Ja							X	
Heerjansdam					OUMA035_6540.00	Ja							X	
Oude Maas km 990 (Heijenoordtunnel)					OUMA035_10014.00	Ja							X	
Goidschalxoord			91780	427320	OUMA035_12886.00	Ja	91731	427555	240				X	
Oude Maas km 994.5					OUMA035_14818.00	Ja							X	
Oude Maas km 998					OUMA_Spijkenisse_2778.00	Ja							X	
Oude Maas km 1003					OUMA_Spijkenisse_7627.00	Ja							X	
Krimpen a/d IJssel	DZH	zoutmeetstation	99463	436795	HOIJ029_18109.00	Ja	99390	436750	86				X	
Lekhaven	DZH	zoutmeetstation	89100	435500	NIMA016_506.72	Nee	89100	435360	140				X	NIMA016_00
Brienoordbrug	DZH	zoutmeetstation	96869	435532	NIMA025_798.75	Nee	96926	435382	161				X	NIMA025_00
Kinderdijk	DZH	zoutmeetstation	102596	433583	LEK_030_41221.34	Nee	102585	433664	82				X	LEK_030_40973.00
Beerenplaat Oude Maas	DZH	zoutmeetstation	88407	428330	OUMA_Spijkenisse_747.00	Ja	88498	428442	144				X	
Spijkenisserbrug	DZH	zoutmeetstation	82854	430636	OUMA_Spijkenisse_7274.95	Nee	82836	430627	19				X	OUMA_Spijkenisse_6759.00
Wieldrecht	DZH	zoutmeetstation	102560	422399	DOKI073_1253.66	Nee	102446	422358	121				X	DOKI073_932.00
Alblasserdam	DZH	zoutmeetstation	104637	430035	NOOR098_855.71	Nee	104551	429987	99				X	NOOR098_00
Beerenplaat Spui	DZH	zoutmeetstation	86786	427517	SPIU084_2624.43	Nee	86778	427446	71				X	SPIU084_1736.00
Zuidland	DZH	zoutmeetstation	78840	424680	SPIU084_12007.00	Ja	78812	424511	172				X	
Suurhoffbrug	DZH	zoutmeetstation	66983	439578	HAKA99_1670.75	Nee	66973	439531	49				X	HAKA99_1015.00
Den Bommel	Delta	toek. innamep.	79447	414819	HAVL050_3408.00	Ja							X	
Innamepunt Gat van de Kerksloot	WBB	innamepunt	113053	415400	AMER061_5410.00	Ja	111817	415177	1256	X	X	X	X	
Beerenplaat	WBE	innamepunt	86693	427613	SPIU084_1736.00	Ja	87623	427279	988				X	
Beerenplaat	WBE	innamepunt	86693	427613	SPIU084_2624.43	Nee	86778	427446	187				X	SPIU084_1736.00

Locatie	Beheerder	Type	Coördinaat Sobekpunt		Grid punt	Coördinaat		Afstand HQVC	Gridpunt 1	Gridpunt 2	
			X m	Y m		X m	Y m				
Kralingen	WBE	noodinlaat	96569	435889	NIMA025_1407.00	Ja			X		
Lekkerkerk	WZHO	noodinlaat	103700	434200	LEK_030_40094.63	Nee	103654	433853	350	X LEK_030_39516.00	LEK_030_40973.00
Ridderkerk	WZHO	innamepunt	100600	433600	NIMA026_1981.00	Ja	100243	434333	816	X	
Zwijndrecht	WZHO		105300	426400	NOOR076_497.00	Ja	105524	426722	392	X	
Oudenhorn	Brielse Dijkring	inlaatpunt	70911	426334	HAVL044_3389.32	Nee	70644	425960	460	X HAVL044_2462.00	HAVL044_4430.00
Bernisse	Brielse Dijkring	inlaatpunt	79400	424943	SPIU084_12007.00	Ja	78812	424511	730	X	
Hellevoetsluis	Brielse Dijkring	inlaatpunt	68226	426557	HAVL042_00	Ja	68480	426170	463	X	
Brakelsveer	WGW	inlaatpunt	85757	426480	SPIU084_3979.00	Ja	85723	426655	178	X	
Sluis Nieuw Beijerland	WGW	sluis	82451	425320	SPIU084_8044.65	Nee	82268	425524	274	X SPIU084_7453.00	SPIU084_8679.00
Trekdam	WGW		102326	419030	DOKI073_4521.26	Nee	102574	419105	259	X DOKI073_4102.00	DOKI073_5075.00
Westerse Polder	WGW	gemaal	86368	415970	HAVL052_3396.26	Nee	86009	415491	599	X HAVL052_2343.00	HAVL052_3809.00
De Bosschen	WGW	gemaal	90403	427240	OUMA035_14232.80	Nee	90450	427470	235	X OUMA035_13836.00	OUMA035_14818.00
De Eendragt	WGW	gemaal	81179	418970	HAVL049_4222.00	Ja	81219	418375	596	X	
Hitsertse Kade	WGW	inlaatpunt	84411	417140	HAVL049_702.00	Ja	84167	416899	343	X	
Kuipersveer	WGW	gemaal	97599	426410	OUMA035_5648.00	Ja	97869	426351	276	X	
Leenheerenpolder	WGW	gemaal	78269	423950	SPIU084_12422.30	Nee	78410	424580	646	X SPIU084_12007.00	SPIU084_12930.00
Oud-Heinenoord	WGW	gemaal	91907	427140	OUMA035_12886.00	Ja	91731	427555	451	X	
Piershilse Haven	WGW	inlaatpunt	80056	424270	SPIU084_10925.00	Ja	79823	424355	248	X	
PKF Post	WGW	inlaatpunt	91136	427120	OUMA035_13548.88	Nee	91099	427448	330	X OUMA035_12886.00	OUMA035_13836.00
Puttershoek	WGW	gemaal	99299	424380	OUMA035_3124.01	Nee	99389	424628	264	X OUMA035_2674.00	OUMA035_3748.00
Koert	Goeree-Overflakkee	gemaal	74152	419295	HAVL048_1352.93	Nee	74414	419601	403	X HAVL048_984.00	HAVL048_1890.00
Westplaat Eerste Bekading	Goeree-Overflakkee	inlaatpunt	71870	420800	HAVL043_00	Ja	71390	421840	1145	X	
Zuiderdiep	Goeree-Overflakkee	sluis	67500	423550	HAVL042_00	Ja	67740	423900	424	X	
De Bommelse Polders	Goeree-Overflakkee	gemaal	78510	414930	HAVL050_3408.00	Ja	78459	415602	674	X	
Hevel Ridderkerk	IJsselmonde	inlaatpunt	102540	431919	NOOR098_3637.29	Nee	102900	432119	411	X NOOR098_3150.00	NOOR098_4180.00
Oostendam	IJsselmonde	inlaatpunt	103932	429846	NOOR098_1047.00	Ja	104452	430147	601	X	
Hevel van Rhoon	IJsselmonde	inlaatpunt	88597	429036	OUMA_Spijkenisse_747.00	Ja	88498	428442	603	X	
Hevel van Poortugaal	IJsselmonde	inlaatpunt	85934	429007	OUMA_Spijkenisse_3433.09	Nee	85895	428648	361	X OUMA_Spijkenisse_2778.00	OUMA_Spijkenisse_3755.00
Gusto	IJsselmonde	inlaatpunt	100832	433696	NIMA026_1224.87	Nee	100941	434062	382	X NIMA026_986.00	NIMA026_1981.00
Hevel IJsselmonde	IJsselmonde	inlaatpunt	97737	435152	NIMA026_5014.00	Ja	97680	435540	392	X	
Hevel Heerjansdam	IJsselmonde	inlaatpunt	97692	427385	OUMA035_6540.00	Ja	97570	427118	294	X	
Langeland en Kortland	Krimpenerwaard	inlaatpunt	99717	437035	HOIJ029_17800.00	Ja	99487	437042	230	X	
Niervaert	Land van Nassau		95595	410813	HODI058_2897.00	Nee	95595	411520	707	X HODI058_2121.00	HODI058_3199.00
Buitendijk	Land van Nassau		95473	410716	HODI058_3199.00	Ja	95311	411520	820	X	
Snelle Sluis	Schieland	sluis	104687	443482	HOIJ029_7100.00	Ja	104588	443258	245	X	
Schilthuis	Schieland	gemaal	93853	437462	NIMA_Rotterdam_00	Ja	94160	436720	803	X	

## Bijlage C Uitgebreide resultaten jaarsommen

### Moerdijk

Waterstand onder NAP in de periode 1988-1990

		Zwendl		Sobek			Kier	HOP-v1	HOP-v2	HOP-v3	HOP-v4	HOP-v5a	HOP-v5b	HOP-v5c	HOP-v5d	HOP-v5e	HOP-v6	GG-v0	HGG-v1	HGG-v2	
		Lph	Kier	Lph	Lphw	Wbh															Wbhw
Aantal		57	77	106	109	55	63	183	449	366	313	139	109	114	114	118	132	124	1673	430	393
Totale duur	uur	142	199	274	291	103	121	449	1278	998	827	321	253	265	265	280	316	335	6527	1105	989
Gemiddelde duur	uur	02:29	02:34	02:34	02:40	01:52	01:54	02:27	02:50	02:43	02:38	02:18	02:19	02:19	02:22	02:23	02:42	03:54	02:34	02:31	
Maximale onderschrijding	m	-0.37	-0.25	-0.45	-0.46	-0.20	-0.23	-0.34	-0.46	-0.40	-0.37	-0.36	-0.36	-0.36	-0.36	-0.36	-0.45	-0.76	-0.53	-0.53	

### Moerdijk

Waterstand onder NAP - 0.10 in de periode 1988-1990

		Zwendl		Sobek			Kier	HOP-v1	HOP-v2	HOP-v3	HOP-v4	HOP-v5a	HOP-v5b	HOP-v5c	HOP-v5d	HOP-v5e	HOP-v6	GG-v0	HGG-v1	HGG-v2	
		Lph	Kier	Lph	Lphw	Wbh															Wbhw
Aantal		15	20	39	43	7	10	48	165	131	111	37	26	29	29	32	36	42	1466	210	192
Totale duur	uur	33	46	82	93	15	20	114	398	287	225	75	53	57	57	62	70	96	4614	453	401
Gemiddelde duur	uur	02:10	02:16	02:05	02:10	02:08	02:01	02:22	02:24	02:11	02:01	02:02	02:02	01:58	01:58	01:56	01:57	02:16	03:08	02:09	02:05
Maximale onderschrijding	m	-0.37	-0.25	-0.45	-0.46	-0.20	-0.23	-0.34	-0.46	-0.40	-0.37	-0.36	-0.36	-0.36	-0.36	-0.36	-0.36	-0.45	-0.76	-0.53	-0.53

### Moerdijk

Waterstand onder NAP - 0.20 in de periode 1988-1990

		Zwendl		Sobek			Kier	HOP-v1	HOP-v2	HOP-v3	HOP-v4	HOP-v5a	HOP-v5b	HOP-v5c	HOP-v5d	HOP-v5e	HOP-v6	GG-v0	HGG-v1	HGG-v2	
		Lph	Kier	Lph	Lphw	Wbh															Wbhw
Aantal		4	4	7	8	0	1	14	42	29	23	5	3	4	4	4	4	8	1099	80	70
Totale duur	uur	10	6	16	19	0	2	26	94	60	50	10	8	8	8	8	19	2841	141	125	
Gemiddelde duur	uur	02:25	01:25	02:20	02:23	00:00	01:30	01:51	02:14	02:03	02:09	02:04	02:33	02:00	02:00	02:00	02:00	02:22	02:35	01:45	01:46
Maximale onderschrijding	m	-0.37	-0.25	-0.45	-0.46	0.00	-0.23	-0.34	-0.46	-0.40	-0.37	-0.36	-0.36	-0.36	-0.36	-0.36	-0.36	-0.45	-0.76	-0.53	-0.53

### Moerdijk

Onderschrijdingfrequenties van de laagwaterstand per getijde in de periode 1988-1990

Onderschrijdingsfrequentie		Zwendl		Sobek			Kier	HOP-v1	HOP-v2	HOP-v3	HOP-v4	HOP-v5a	HOP-v5b	HOP-v5c	HOP-v5d	HOP-v5e	HOP-v6	GG-v0	HGG-v1	HGG-v2	
		Lph	Kier	Lph	Lphw	Wbh															Wbhw
5.00%	m	0.07	0.03	0.00	0.00	0.03	0.03	-0.04	-0.13	-0.11	-0.10	-0.02	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.51	-0.18	-0.16
1.00%	m	-0.07	-0.10	-0.14	-0.14	-0.05	-0.05	-0.16	-0.25	-0.22	-0.21	-0.14	-0.12	-0.12	-0.12	-0.13	-0.14	-0.63	-0.29	-0.28	
0.50%	m	-0.11	-0.15	-0.19	-0.19	-0.07	-0.09	-0.21	-0.29	-0.28	-0.26	-0.16	-0.15	-0.16	-0.16	-0.16	-0.19	-0.66	-0.33	-0.32	
0.01%	m	-0.27	-0.23	-0.31	-0.31	-0.16	-0.18	-0.29	-0.35	-0.32	-0.32	-0.24	-0.21	-0.21	-0.12	-0.21	-0.21	-0.31	-0.73	-0.37	-0.37
0.00%	m	-0.37	-0.25	-0.45	-0.46	-0.20	-0.23	-0.34	-0.46	-0.40	-0.37	-0.36	-0.36	-0.36	-0.36	-0.36	-0.45	-0.76	-0.53	-0.53	

### Innamepunt Beerenplaat (Spui)

Overschrijding van het achtergrondgehalte met meer dan 25 mg/l gedurende meer dan 48 uur in de periode 1988-1990

		Zwendl		Sobek			Kier	HOP-v1	HOP-v2	HOP-v3	HOP-v4	HOP-v5a	HOP-v5b	HOP-v5c	HOP-v5d	HOP-v5e	HOP-v6	GG-v0	HGG-v1	HGG-v2	
		Lph	Kier	Lph	Lphw	Wbh															Wbhw
Aantal		3	38	8	11	7	9	14	43	38	39	17	26	26	25	29	31	22	19	23	21
Totale duur	uur	303	16441	738	1150	1085	1255	19272	10118	7920	7755	14567	12731	8595	8582	7317	5999	2292	15687	13943	15123
Maximale duur	uur	163	4570	160	344	470	479	5949	1863	1006	957	3453	1787	1750	1750	1216	1117	433	5069	3440	3478
Gemiddelde duur	uur	101	433	92	105	155	139	1377	235	208	199	857	490	331	343	252	194	104	826	606	720

### Innamepunt Schilthuis

Overschrijding van het achtergrondgehalte met meer dan 25 mg/l gedurende meer dan 48 uur in de periode 1988-1990

		Zwendl		Sobek		Lphw	Wbh	Wbhw	Kier	HOP-v1	HOP-v2	HOP-v3	HOP-v4	HOP-v5a	HOP-v5b	HOP-v5c	HOP-v5d	HOP-v5e	HOP-v6	GG-v0	HGG-v1	HGG-v2
		Lph	Kier	Lph	Lph																	
Aantal		3	11	17	18	17	16	30	32	39	26	19	18	18	18	19	19	22	19	21	20	19
Totale duur	uur	283	845	1659	1874	2159	2245	3635	10463	3608	2299	1848	1747	1736	1862	1894	2087	1773	12326	1932	1932	
Maximale duur	uur	135	170	206	255	260	259	274	2011	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	2757	205	206
Gemiddelde duur	uur	94	77	98	104	127	140	121	327	93	88	97	97	96	98	100	95	93	587	97	102	

### Monding Hollandsche IJssel

Jaargemiddelde chlorideconcentratie in de periode 1988-1990

		Zwendl		Sobek		Lphw	Wbh	Wbhw	Kier	HOP-v1	HOP-v2	HOP-v3	HOP-v4	HOP-v5a	HOP-v5b	HOP-v5c	HOP-v5d	HOP-v5e	HOP-v6	GG-v0	HGG-v1	HGG-v2
		Lph	Kier	Lph	Lph																	
Gemiddelde concentratie	mg/l	207	223	252	258	267	274	300	453	303	277	256	253	253	255	256	263	253	887	259	259	

### Innamepunt Bernisse

Overschrijding van het achtergrondgehalte met meer dan 25 mg/l gedurende meer dan 48 uur in de periode 1988-1990

		Zwendl		Sobek		Lphw	Wbh	Wbhw	Kier	HOP-v1	HOP-v2	HOP-v3	HOP-v4	HOP-v5a	HOP-v5b	HOP-v5c	HOP-v5d	HOP-v5e	HOP-v6	GG-v0	HGG-v1	HGG-v2
		Lph	Kier	Lph	Lph																	
Aantal		2	13	10	14	6	6	16	24	26	28	15	21	31	32	36	45	51	22	21	15	
Totale duur	uur	386	20601	1356	1712	1128	1142	21559	8642	9155	10611	16468	16273	14399	14400	13209	10952	9646	15233	15540	16905	
Maximale duur	uur	338	6026	339	471	469	471	6062	2443	1450	1004	3638	3041	1835	1835	1835	1761	882	5047	3588	3685	
Gemiddelde duur	uur	193	1585	136	122	188	190	1347	360	352	379	1098	775	464	450	367	243	189	692	740	1127	

### Innamepunt Bernisse

Overschrijding van het achtergrondgehalte met meer dan 200 mg/l gedurende meer dan 48 uur in de periode 1988-1990

		Zwendl		Sobek		Lphw	Wbh	Wbhw	Kier	HOP-v1	HOP-v2	HOP-v3	HOP-v4	HOP-v5a	HOP-v5b	HOP-v5c	HOP-v5d	HOP-v5e	HOP-v6	GG-v0	HGG-v1	HGG-v2
		Lph	Kier	Lph	Lph																	
Aantal		1	19	1	1	2	3	23	12	2	2	45	33	5	6	2	1	1	23	48	51	
Totale duur	uur	58	14819	50	76	204	404	16085	1427	138	137	6666	4499	762	712	346	110	97	7518	6320	8052	
Maximale duur	uur	58	4933	50	76	119	204	4946	382	72	77	595	645	359	261	211	110	97	1989	595	718	
Gemiddelde duur	uur	58	780	50	76	102	135	699	119	69	69	148	136	152	119	173	110	97	327	132	158	

### Haringvlietsluizen

Percentage van de tijd geopend in de periode 1988-1990

		Zwendl		Sobek		Lphw	Wbh	Wbhw	Kier	HOP-v1	HOP-v2	HOP-v3	HOP-v4	HOP-v5a	HOP-v5b	HOP-v5c	HOP-v5d	HOP-v5e	HOP-v6	GG-v0	HGG-v1	HGG-v2
		Lph	Kier	Lph	Lph																	
Geopend	%			58	58	60	60	96	96	80	78	78	74	74	76	73	73	73	73	96	81	81
Tijdens eb	%			57	57	60	60	62	61	55	55	55	56	56	59	56	55	56	60	56	56	
Tijdens vloed	%			1	1	0.1	0.1	34	35	25	23	23	18	18	17	17	18	17	36	24	24	

### Ridderkerk

Jaargemiddelde chlorideconcentratie in de periode 1988-1990

		Zwendl		Sobek		Lphw	Wbh	Wbhw	Kier	HOP-v1	HOP-v2	HOP-v3	HOP-v4	HOP-v5a	HOP-v5b	HOP-v5c	HOP-v5d	HOP-v5e	HOP-v6	GG-v0	HGG-v1	HGG-v2
		Lph	Kier	Lph	Lph																	
Gemiddelde concentratie	mg/l	201	203	225	230	233	238	247	330	247	235	226	225	225	226	226	229	225	610	228	227	



### Noodinlaat Kralingen

Overschrijding van het achtergrondgehalte met meer dan 25 mg/l gedurende meer dan 8 uur in de periode 1988-1990

	Zwendl		Sobek				Kier	HOP-v1	HOP-v2	HOP-v3	HOP-v4	HOP-v5a	HOP-v5b	HOP-v5c	HOP-v5d	HOP-v5e	HOP-v6	GG-v0	HGG-v1	HGG-v2	
	Lph	Kier	Lph	Lphw	Wbh	Wbhwh															
Aantal	29	68	98	97	119	122	226	277	228	179	108	97	97	107	107	137	99	199	118	118	
Totale duur	uur	533	1194	2229	2367	2726	2884	4743	10685	4907	3420	2418	2254	2254	2414	2411	2818	2314	12513	2574	2555
Maximale duur	uur	82	96	180	181	184	184	182	308	180	180	180	180	180	180	180	180	180	2359	180	180
Gemiddelde duur	uur	18	18	23	24	23	24	21	39	22	19	22	23	23	23	23	21	23	63	22	22

### Noodinlaat Kralingen

Overschrijding van het achtergrondgehalte met meer dan 25 mg/l gedurende meer dan 48 uur in de periode 1988-1990

	Zwendl		Sobek				Kier	HOP-v1	HOP-v2	HOP-v3	HOP-v4	HOP-v5a	HOP-v5b	HOP-v5c	HOP-v5d	HOP-v5e	HOP-v6	GG-v0	HGG-v1	HGG-v2	
	Lph	Kier	Lph	Lphw	Wbh	Wbhwh															
Aantal	3	3	8	11	10	12	16	56	15	8	8	8	8	9	8	10	8	23	8	8	
Totale duur	uur	214	262	760	998	1053	1220	1471	6800	1255	794	779	771	771	854	772	928	778	9769	781	781
Maximale duur	uur	82	96	180	181	184	184	182	308	180	180	180	180	180	180	180	180	180	2359	180	180
Gemiddelde duur	uur	71	87	95	91	105	102	92	121	84	99	97	96	96	95	96	93	97	425	98	98

### Hevel van Rhoon/Poortugaal

Overschrijding van het achtergrondgehalte met meer dan 50 mg/l gedurende meer dan 48 uur in de periode 1988-1990

	Zwendl		Sobek				Kier	HOP-v1	HOP-v2	HOP-v3	HOP-v4	HOP-v5a	HOP-v5b	HOP-v5c	HOP-v5d	HOP-v5e	HOP-v6	GG-v0	HGG-v1	HGG-v2	
	Lph	Kier	Lph	Lphw	Wbh	Wbhwh															
Aantal	5	14	15	18	21	21	13	58	52	43	21	22	23	23	21	23	16	28	23	22	
Totale duur	uur	418	15942	1351	1629	2043	2276	16212	11524	5326	4121	10659	8085	3478	3273	2633	2206	1475	15828	10161	11384
Maximale duur	uur	117	5085	148	149	224	299	5094	1501	234	224	1551	1166	795	699	624	156	148	4681	1419	1628
Gemiddelde duur	uur	84	1139	90	91	97	108	1247	199	102	96	507	367	151	142	125	96	92	565	442	517

### Gat van de Kerksloot

Waterstand onder NAP in de periode 1988-1990

	Zwendl		Sobek				Kier	HOP-v1	HOP-v2	HOP-v3	HOP-v4	HOP-v5a	HOP-v5b	HOP-v5c	HOP-v5d	HOP-v5e	HOP-v6	GG-v0	HGG-v1	HGG-v2	
	Lph	Kier	Lph	Lphw	Wbh	Wbhwh															
Aantal	55	82	73	79	39	47	167	415	335	282	115	84	90	90	94	110	94	1590	363	322	
Totale duur	uur	132	207	180	207	75	99	405	1175	901	741	264	196	209	224	260	240	5936	868	762	
Maximale duur	uur	07:40	06:00	08:10	09:30	06:40	09:30	09:10	10:30	09:20	08:40	06:40	06:40	06:40	06:40	06:40	08:20	22:50	07:30	07:10	
Gemiddelde duur	uur	02:24	02:31	02:27	02:37	01:55	02:05	02:25	02:49	02:41	02:37	02:17	02:20	02:19	02:19	02:22	02:22	02:33	03:44	02:23	02:22
Maximale onderschrijding	m	-0.37	-0.24	-0.40	-0.41	-0.20	-0.24	-0.30	-0.44	-0.38	-0.35	-0.31	-0.31	-0.31	-0.31	-0.31	-0.40	-0.74	-0.49	-0.48	

### Middelharnis

Overschrijding van het achtergrondgehalte met meer dan 25 mg/l gedurende meer dan 48 uur in de periode 1988-1990

	Zwendl		Sobek				Kier	HOP-v1	HOP-v2	HOP-v3	HOP-v4	HOP-v5a	HOP-v5b	HOP-v5c	HOP-v5d	HOP-v5e	HOP-v6	GG-v0	HGG-v1	HGG-v2	
	Lph	Kier	Lph	Lphw	Wbh	Wbhwh															
Aantal	1	11	10	7	3	5	12	16	16	16	11	11	15	15	17	19	16	22	11	12	
Totale duur	uur	424	20825	2508	2245	794	958	21267	9223	10197	11772	16641	16651	15587	15614	14597	12672	11313	11088	15861	17032
Maximale duur	uur	424	6034	1025	523	417	465	6047	2453	2587	2747	5148	3780	3456	3483	2612	2581	1958	2718	5088	5161
Gemiddelde duur	uur	424	1893	251	321	265	192	1772	576	637	736	1513	1514	1039	1041	859	667	707	504	1442	1419

Stad a/h Haringvliet

Overschrijding van het achtergrondgehalte met meer dan 25 mg/l gedurende meer dan 48 uur in de periode 1988-1990

	Zwendl		Sobek		Lphw	Wbh	Wbhwh	Kier	HOP-v1	HOP-v2	HOP-v3	HOP-v4	HOP-v5a	HOP-v5b	HOP-v5c	HOP-v5d	HOP-v5e	HOP-v6	GG-v0	HGG-v1	HGG-v2
	Lph	Kier	Lph	Lph																	
Aantal			1	1	3	3	12	9	16	15	12	14	15	15	15	15	11	7	16	12	12
Totale duur	uur		409	460	606	687	16247	4510	6917	7989	13510	12998	9487	9486	7418	4690	2279	3437	13011	13614	
Maximale duur	uur		409	460	358	396	5115	1534	1537	1572	3899	2683	2377	2380	1844	1731	931	481	3877	3923	
Gemiddelde duur	uur		409	460	202	229	1354	501	432	533	1126	928	632	632	495	426	326	215	1084	1135	

Gemaal Koert

Overschrijding van het achtergrondgehalte met meer dan 25 mg/l gedurende meer dan 48 uur in de periode 1988-1990

	Zwendl		Sobek		Lphw	Wbh	Wbhwh	Kier	HOP-v1	HOP-v2	HOP-v3	HOP-v4	HOP-v5a	HOP-v5b	HOP-v5c	HOP-v5d	HOP-v5e	HOP-v6	GG-v0	HGG-v1	HGG-v2
	Lph	Kier	Lph	Lph																	
Aantal			1	10																	
Totale duur	uur		397	17264																	
Maximale duur	uur		397	5897																	
Gemiddelde duur	uur		397	1726																	

Den Bommel

Overschrijding van het achtergrondgehalte met meer dan 25 mg/l gedurende meer dan 48 uur in de periode 1988-1990

	Zwendl		Sobek		Lphw	Wbh	Wbhwh	Kier	HOP-v1	HOP-v2	HOP-v3	HOP-v4	HOP-v5a	HOP-v5b	HOP-v5c	HOP-v5d	HOP-v5e	HOP-v6	GG-v0	HGG-v1	HGG-v2
	Lph	Kier	Lph	Lph																	
Aantal			1	1	3	3	13	9	4	3	14	12	6	6	4	3	1	11	14	14	
Totale duur	uur		222	447	552	665	10052	2486	1498	1413	8789	6895	2870	2295	1807	1075	247	1963	8206	8777	
Maximale duur	uur		222	447	327	374	2756	632	621	657	1723	1773	1563	1254	1216	744	247	416	1711	1785	
Gemiddelde duur	uur		222	447	184	222	773	276	375	471	628	575	575	383	452	358	247	110	586	627	

Gouda, Snelle Sluis

Overschrijding van het achtergrondgehalte met meer dan 25 mg/l gedurende meer dan 48 uur in de periode 1988-1990

	Zwendl		Sobek		Lphw	Wbh	Wbhwh	Kier	HOP-v1	HOP-v2	HOP-v3	HOP-v4	HOP-v5a	HOP-v5b	HOP-v5c	HOP-v5d	HOP-v5e	HOP-v6	GG-v0	HGG-v1	HGG-v2	
	Lph	Kier	Lph	Lph																		
Aantal			0	0	13	13	11	13	11	25	16	13	13	13	13	13	13	13	11	13	13	
Totale duur	uur		0	0	3695	4200	4956	6918	14232	7606	4887	3898	3780	3781	3973	3942	4203	3762	14962	4002	4007	
Maximale duur	uur		0	0	599	634	817	823	2408	4582	796	674	614	602	600	603	623	671	599	4670	615	616
Gemiddelde duur	uur		0	0	284	323	348	451	532	1294	304	305	300	291	291	306	303	323	289	1360	308	308

Zuiderdiep, Hellevoetsluis

Overschrijding van het achtergrondgehalte met meer dan 25 mg/l gedurende meer dan 48 uur in de periode 1988-1990

	Zwendl		Sobek		Lphw	Wbh	Wbhwh	Kier	HOP-v1	HOP-v2	HOP-v3	HOP-v4	HOP-v5a	HOP-v5b	HOP-v5c	HOP-v5d	HOP-v5e	HOP-v6	GG-v0	HGG-v1	HGG-v2
	Lph	Kier	Lph	Lph																	
Aantal						4	4					13						18	15	15	15
Totale duur	uur					987	976					22981						16822	20651	21423	22072
Maximale duur	uur					451	453					6194						4037	6047	6071	6096
Gemiddelde duur	uur					247	244					1768						935	1377	1428	1471

### D.1 Dispersieafregeling Sobek-model HOP-H

#### Inleiding

Het SOBEK-model van de Rijn-Maasmonding is wat chloride betreft afgeregeld op de noordrand. Er is met name naar de noordrand gekeken omdat hier, via de Nieuwe Waterweg, het zout de Rijn-Maasmonding binnenkomt. Via de zuidrand wordt in de huidige situatie via de Haringvlietsluizen alleen maar vanaf het Haringvliet zoetwater geloosd. Wanneer het verval over de sluisen negatief is, het zeewater staat hoger dan het rivierwater, gaan de sluisen dicht en kan er geen zoutwater naar binnen komen.

Op een gegeven moment is het plan ontstaan om de Haringvlietsluizen meer open te zetten zodat er op het Haringvliet en Hollandsch Diep weer een meer natuurlijke getijdenbeweging kan ontstaan. Weliswaar in beperkte mate en nog niet zodanig zoals het voor de afsluiting van het Haringvliet was, maar toch meer overeenkomstig een estuarium. Naar aanleiding van dit plan zijn er heel wat modelberekeningen uitgevoerd waarbij gekeken is naar wat er met de waterbeweging gebeurt. Ook de berekening van de chloridenconcentraties zijn in deze berekeningen meegenomen. Aangezien er op de zuidrand weinig tot geen chloridenmetingen zijn uitgevoerd in het verleden kon er alleen maar een onderling vergelijk tussen de berekeningen uitgevoerd worden, maar niet gekeken worden in absolute zin. Daarvoor was er te weinig kennis over het chloridenverloop op het Haringvliet beschikbaar.

Om o.a. hier wat meer inzicht in te verschaffen zijn op 10 t/m 15 maart 1997 metingen uitgevoerd waarbij volgens verschillende scenario's de Haringvlietsluizen zijn opengezet, zodat zowel bij eb als bij vloed water het Haringvliet uit als in kon stromen. Met de resultaten van deze metingen is geprobeerd, voor zover dat mogelijk is, het SOBEK-model NDB1\_0\_0 voor de zuidrand af te regelen. Hiervoor is gebruik gemaakt van de zoutmetingen van twee meetboeien, Boei2Oost en Boei3Zuid, en twee meetpalen, Paal4Noord en Paal4Zuid, die gegevens geregistreerd hebben tijdens de proef. Het afregelen heeft zich beperkt tot de Sobektakken ZEHV098 en HAVL042. Vanwege tijdsdruk is het bij een grove afregeling gebleven.

#### Modelinstellingen dispersiecoëfficiënten

Binnen Sobek kan het zoutgehalte afgeregeld worden door het aanpassen van de dispersiecoëfficiënten.

De dispersie wordt in Sobek berekend met behulp van de Thatcher-Harleman formulering (WL | Delft Hydraulics, 2000):

$$\begin{aligned}
D = & f_1(x, t) + \\
& + f_3(x, t) d(x, t) \frac{\sqrt{g}}{C(x)} |u(x, t)| + \\
& + f_4(x, t) L_e^2 \left( \frac{T_p g}{\rho_w} \right)^{\frac{1}{4}} \frac{u_0^*(j)}{c_0^*(j)} [d_0(j)(\rho(j) - \rho_w)]^{\frac{1}{4}} \left[ \frac{Q_f(j, t)}{P_e(j, t) u_0^2(j, t)} \right]^{\frac{1}{4}} \cdot \\
& \bullet \left\langle \frac{c(x, t)}{c_0(j, t)} \frac{\partial c(x, t)}{\partial x} \right\rangle
\end{aligned}$$

In het model NDB1\_0\_0 heeft elke tak zijn eigen dispersiecoëfficiënten. Per tak zijn de waarden voor de variabelen f1, f3 en f4 uit de formulering opgegeven, als zijnde constant of afhankelijk van plaats in de tak.

In tabel d.1 zijn de plaatsafhankelijke instellingen van tak HAVL042 gegeven.

**Tabel d.1**  
Dispersieinstelling van tak HAVL042

Locatie	f1	f3	f4
0	100	0	0
6400	100	0	0
6401	1	0	0
6412	1	0	0
6611	100	1	0

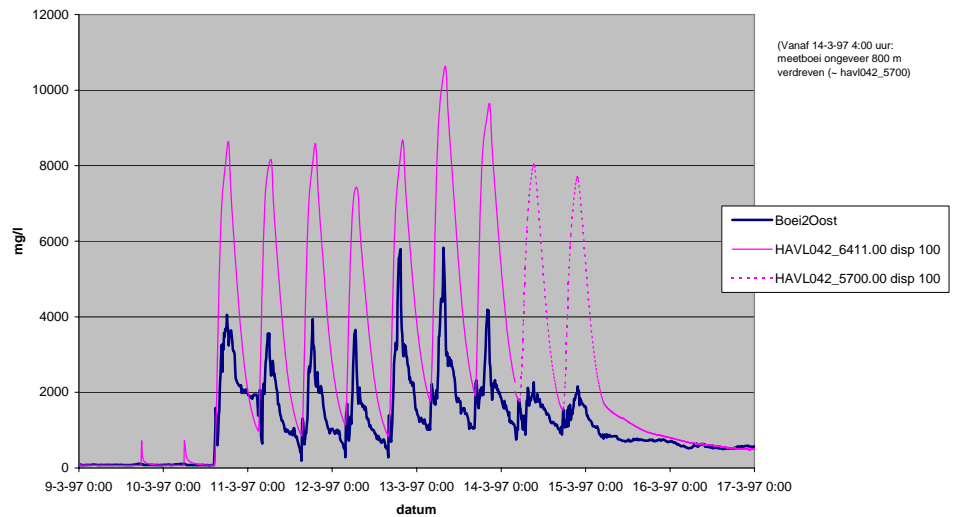
Eigenlijk dus een constant waarde van 100 m<sup>2</sup>/s voor de hele tak behalve ter plaatse van de Haringvlietsluizen. Hier is de waarde op 1 gesteld om rekenkundig geen zout door de sluis te krijgen indien de sluisen gesloten zijn. Dit is aangepast door de "gamma"-waarde, de bovenstrooms ('Left') en benedenstrooms ('Right') waarde van de effectieve structure lengte, van bovenstrooms op 100000 te zetten.

### De afregeling

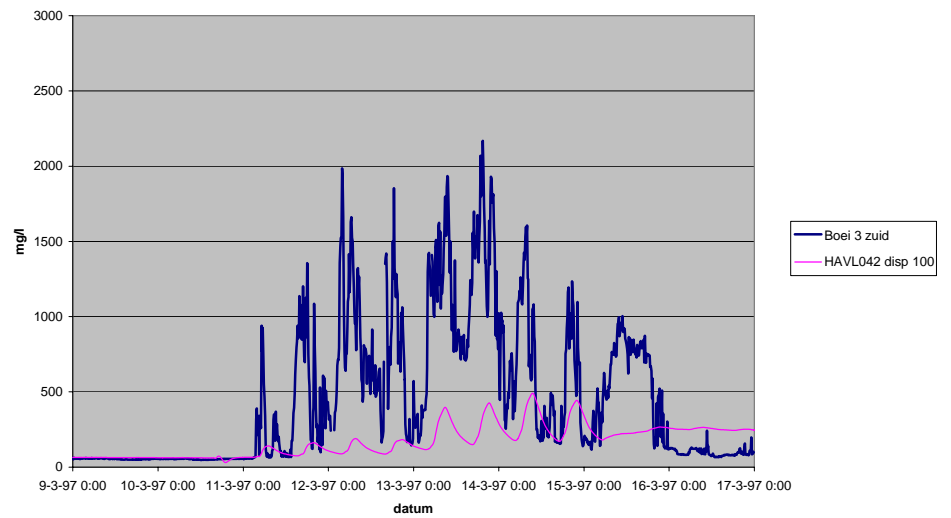
Voor elke boei zijn de meetgegevens van de verschillende dieptes omgerekend naar dieptegemiddelde chlorideconcentraties. Vergelijken met de dieptegemiddelde chlorideconcentratie van Boei2Oost (figuur d.1) bleek SOBEK het zoutgehalte hier veel te hoog uit te rekenen, maar daarentegen ter plaatse van Boei3Zuid (figuur d.2) weer veel te laag.

Boei3Noord wordt aardig weergegeven (figuur d.3)

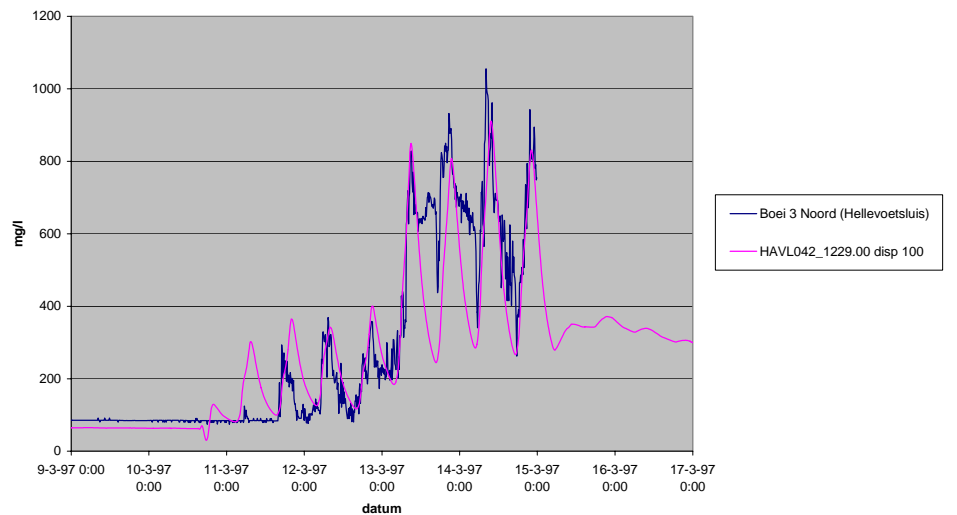
**Figuur d.1**  
Chlorideconcentratie gemeten door Boei 2 Oost en berekend door Sobek in tak HAVL042



**Figuur d.2**  
Chlorideconcentratie gemeten door Boei 3 Zuid en berekend door Sobek in tak HAVL043



**Figuur d.3**  
Chlorideconcentratie gemeten door Boei 3 Noord en berekend door Sobek in tak HAVL042



Aangezien SOBEK een 1-dimensionaal model is en dus geen verschil aan kan geven tussen noord en zuid, en de zouttong toch hoofdzakelijk via de zuidkant van het Haringvliet binnenkomt is er verder hoofdzakelijk naar Boei2Oost en Boei3Zuid gekeken.

---

Om de door SOBEK berekende chlorideconcentraties beter op de metingen te krijgen zijn er enkele berekeningen uitgevoerd waarbij verschillende dispersiewaarden voor de tak HAVL042 zijn ingesteld:

- Een constante dispersie van 1500

Ter plaatse van Boei2Oost zakt de chlorideconcentratie een heel eind in en liggen de waarde de eerste drie dagen aardig op de meting. De laatste dag zakken de metingen in, hetgeen de berekeningen niet doen. T.o.v. de berekening met een constante dispersie van 100 is een constante dispersie van 1500 wel een verbetering. (figuur d.4)

Ook bij de berekening met een constante dispersie van 1500 laat de berekende chlorideconcentratie bij Boei3Zuid het tegenovergestelde zien als bij Boei2Oost. De SOBEK-waarden vliegen de lucht in. (figuur d.5)

- Een constante dispersie van 300

De berekende chlorideconcentratie bij Boei2Oost is nog steeds te hoog. Wel lager dan bij de berekening met een constante dispersie van 100, maar nog hoger dan bij de berekening met een constante dispersie van 1500 (figuur d.4).

Bij Boei3Zuid komen de waarden gedurende de eerste drie dagen van de proef aardig overeen met de metingen. De laatste dagen zakken de metingen in hetgeen de berekeningen niet doen. (figuur d.5)

- Een constante dispersie van 250

Bij Boei2Oost geeft dit een heel klein verschil in maximale chlorideconcentratie ten opzichte van de berekening met een constante dispersie van 300 (figuur d.4).

Het verschil t.o.v. de berekening met een constante dispersie van 300 is bij Boei3Zuid veel groter dan bij Boei2Oost. De berekening met een constante dispersie van 250 laat lagere waarden zien dan de berekening met een constante dispersie van 300. De resultaten van de berekening met een constante dispersie van 300 liggen echter beter op de metingen. De berekening met een constante dispersie van 250 laat dus te lage waarden zien (figuur d.5).

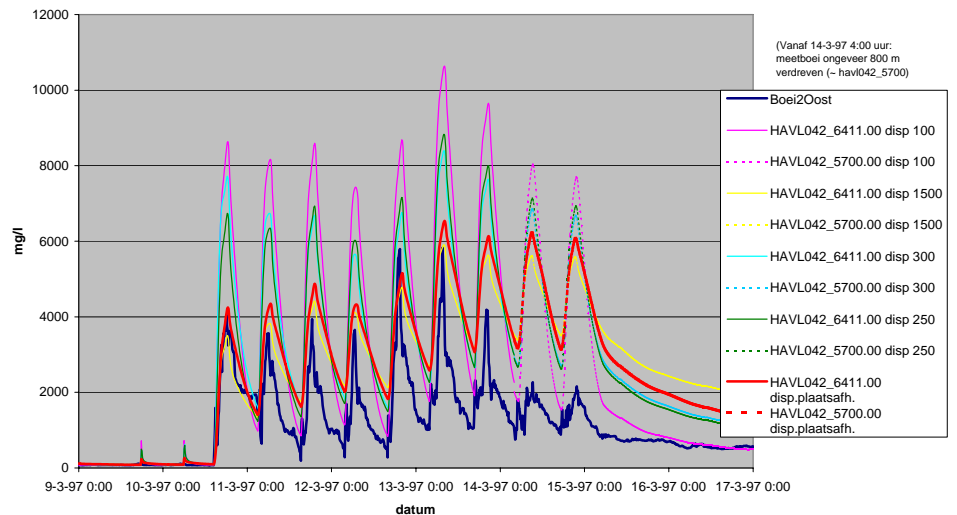
- Constante dispersie van 1000, 500 en 150

Bij Boei3Zuid is er nog gekeken naar resultaten van berekeningen met dispersiewaarden van 1000, 500 en 150. Deze bleken geen verbeteringen ten opzichte van de hierboven beschreven resultaten.

Uit wat hierboven beschreven is blijkt dat als het bij Boei2Oost aardig klopt, dit niet het geval is bij Boei3Zuid en omgekeerd. Hieruit blijkt dat de tak HAVL042 dispersiewaarden moet hebben die echt plaatsafhankelijk zijn. Bij Boei2Oost zou deze ongeveer op 1500 moeten liggen en bij Boei3Zuid op 300.

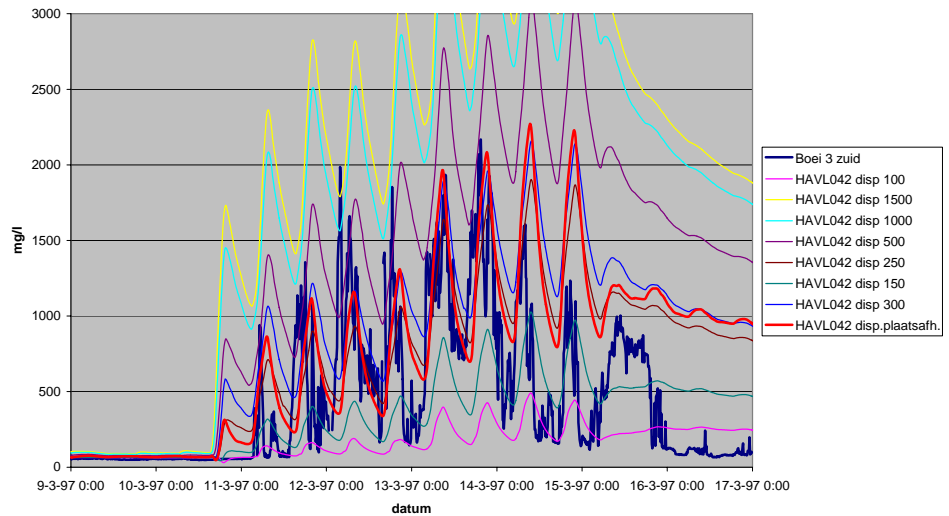
**Figuur d.4**

Chlorideconcentratie gemeten door Boei 2 Oost en berekend door Sobek in tak HAVL042 bij diverse dispersie-instellingen  
(Op 14 maart is de meetboei verdreven. Vanaf deze datum worden de resultaten getoond van een andere locatie)



**Figuur d.5**

Berekende en gemeten chlorideconcentraties bij Boei3Zuid



Vervolgens enkele berekeningen gemaakt met plaatsafhankelijke dispersiecoëfficiënten voor tak HAVL042 (alleen de eerste variabele (f1) van de Thatcher-Harleman formulering gevarieerd) (Zie tabel d.2). De waarden voor f3 en f4 zijn op 0 gesteld.

**Tabel d.2**

Plaatsafhankelijke dispersiecoëfficiënten in tak HAVL042

A		B		C	
Afstand	Dispersie (f1)	Afstand	Dispersie (f1)	Afstand	Dispersie (f1)
m		m		m	
0	200	0	100	0	100
1000	300	1000	200	1000	100
2000	500	2000	300	2000	200
3000	600	3000	400	3000	300
4000	1000	4000	500	4000	500
5000	1500	5000	1000	5000	1000
6400	1500	6400	1500	6400	2000
6401	1	6401	1	6401	1
6412	1	6412	1	6412	1
6611	1500	6611	1500	6611	2000

De berekende chlorideconcentraties van variant C bleek het beste van de drie varianten bij de metingen te passen. In figuur d.4 en figuur d.5

zijn deze weergegeven als de lijn "HAVL042 disp.plaatsafh.". Een verdere variatie in plaatsafhankelijke dispersiecoëfficiënten is niet uitgevoerd.

Om meer inzicht te krijgen in de zoutformulering van Thatcher-Harleman zijn er wat berekeningen uitgevoerd waarbij de eerste, de tweede en de derde term, resp  $f_1$ ,  $f_3$  en  $f_4$  in SOBEK, gevarieerd zijn. Dit geeft misschien ook wat meer dynamiek in het zoutgebeuren. Aan de basis staat het model van de proef met open Haringvlietsluizen.

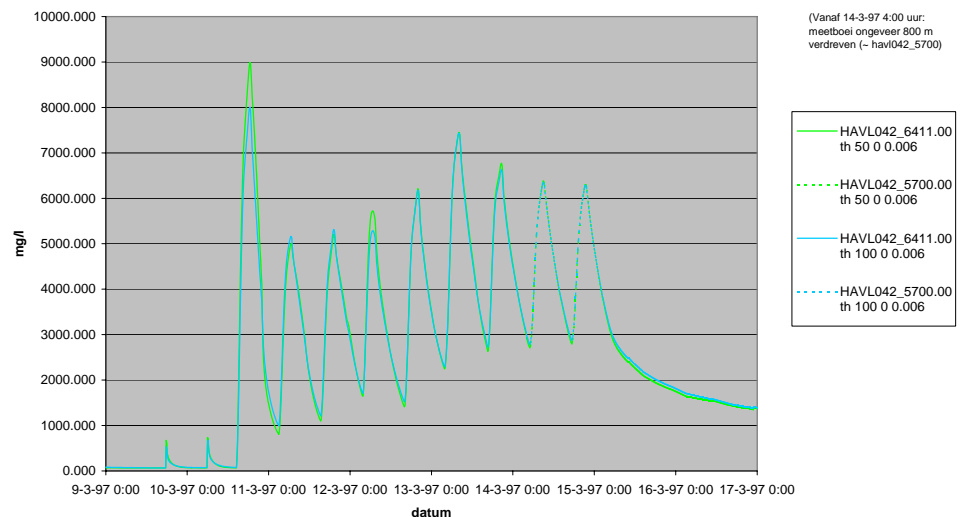
- Als eerste voor tak HAVL042 de Thatcher-Harleman waarden van de takken aan de buitenzijde van de Haringvlietsluizen overgenomen,  $f_1=50$ ,  $f_3=0$  en  $f_4=0.006$  (TH 50 0 0.006). Deze waarden gelden voor de hele tak, dus niet plaatsafhankelijk.

Ter plaatse van Boei2Oost wordt de maximale chlorideconcentratie nu hoger berekend dan bij de berekening met een plaatsafhankelijke dispersie (disp.plaatsafh.) en het minimale zoutgehalte lager.

Bij Boei3Zuid liggen de berekende chlorideconcentraties veel te laag. Op de vierde dag komen ze pas in de buurt van de berekening met een plaatsafhankelijke dispersie om daarna er voor twee dagen boven te liggen.

- Eerste term ( $f_1$ ) twee keer zo groot gemaakt (TH 100 0 0.006)  
Ter plaatse van Boei2Oost (figuur d.6) liggen de waarden van deze berekening op die van TH 50 0 0.006, of het maximum ligt iets lager en het minimum iets hoger. De eerste term twee keer vergroten geeft op deze locatie niet zo veel verschil.  
Ter plaatse van Boei3Zuid (figuur d.7) liggen de berekende waarden in het geheel hoger dan TH 50 0 0.006. Het verschil is overal ongeveer gelijk.

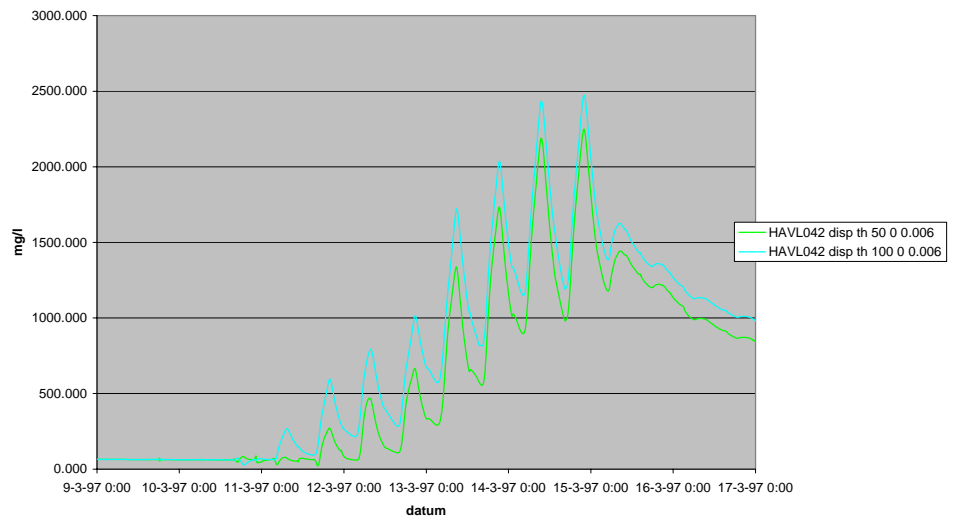
**Figuur d.6**  
Chlorideconcentratie Boei 2 Oost zoals berekend door Sobek met  $f_1 = 50$  en  $f_1 = 100$





**Figuur d.7**

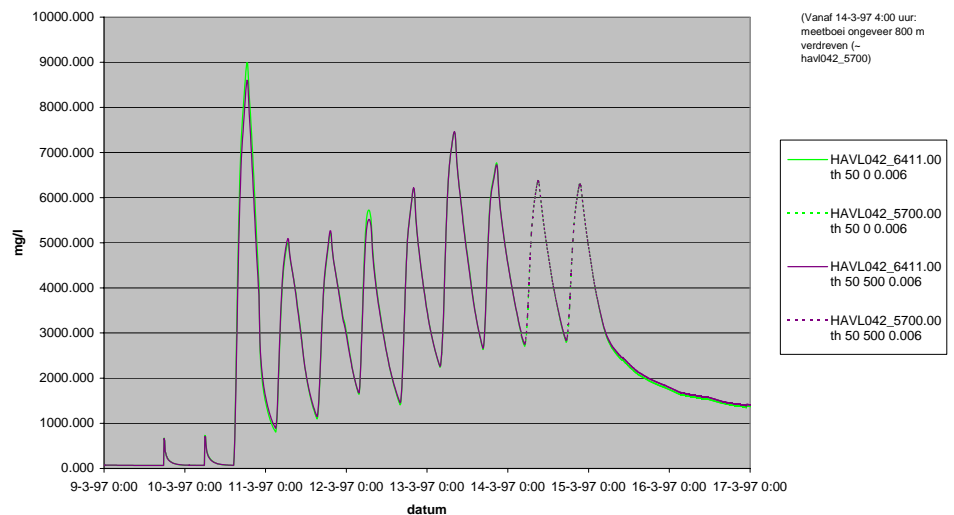
Chlorideconcentratie bij Boei 3 Zuid zoals berekend door Sobek met  $f1 = 50$  en  $f1 = 100$



- De tweede term ( $f3$ ) op 500 ingesteld. Bij Boei2Oost (figuur d.8) is het verschil nauwelijks te zien, op deze locatie heeft  $f3$  dus nauwelijks invloed. Bij Boei3Zuid (figuur d.9) liggen de waarden (TH 50 500 0.006) boven die van TH 50 0 0.006.

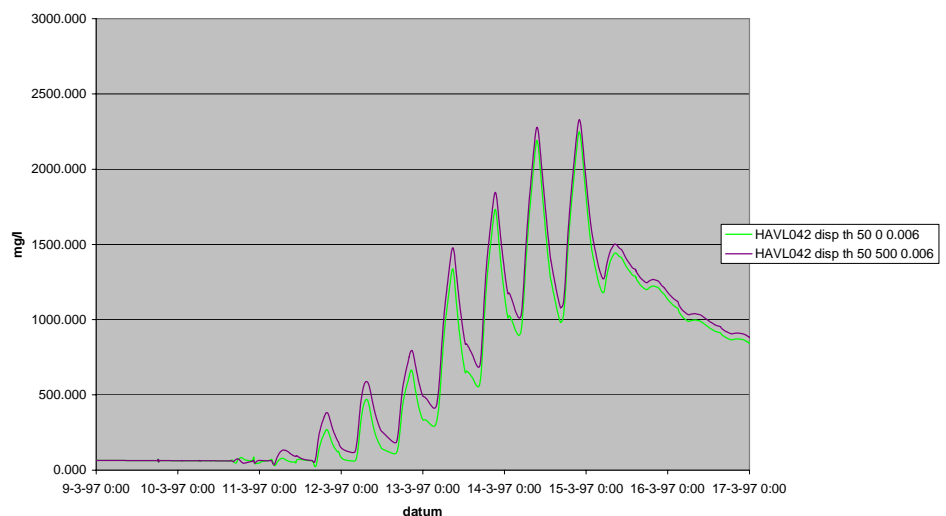
**Figuur d.8**

Chlorideconcentratie Boei 2 Oost zoals berekend door Sobek met  $f3 = 0$  en  $f3 = 500$



**Figuur d.9**

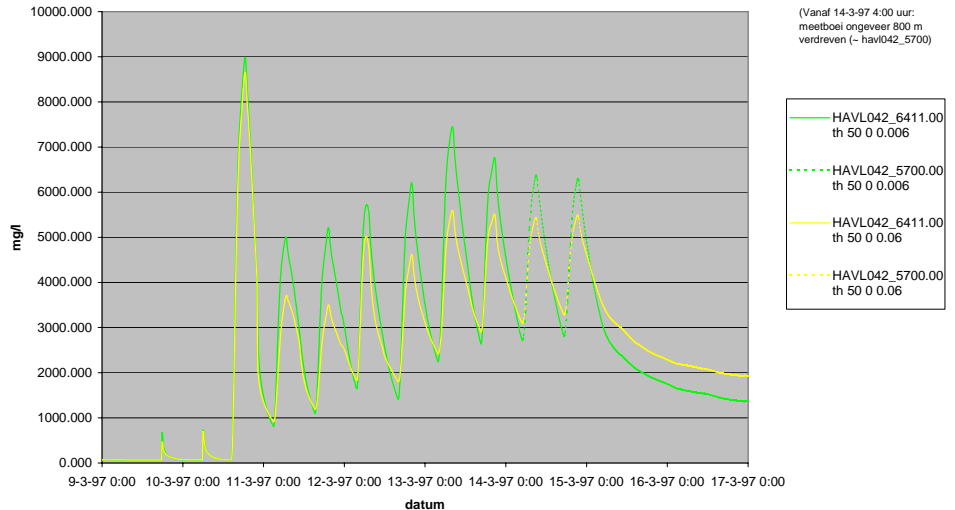
Chlorideconcentratie Boei 3 Zuid zoals berekend door Sobek met  $f3 = 0$  en  $f3 = 500$



- De derde term ( $f_4$ ) tien keer zo groot gemaakt. (TH 50 0 0.06)  
 Bij Boei2Oost (figuur d.10) ligt het maximum van TH50 0 0.06 lager dan het maximum van TH 50 0 0.006. Het minimum daarentegen weer hoger. Het verschil tussen maximum chlorideconcentratie en minimum chlorideconcentratie is duidelijk kleiner dan bij voorgaande berekeningen. Ten opzichte van de metingen is TH 50 0 0.06 op deze locatie wel beter dan TH 50 0 0.006.  
 Bij Boei3Zuid (figuur d.11) vliegen de berekende chlorideconcentraties de lucht in.

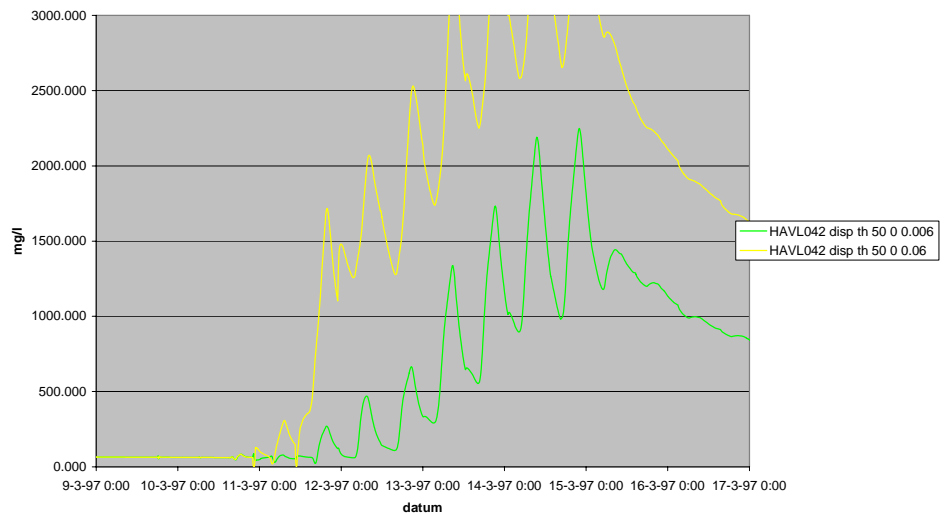
**Figuur d.10**

Chlorideconcentratie Boei 2 Oost zoals berekend door Sobek met  $f_4 = 0.006$  en  $f_4 = 0.06$



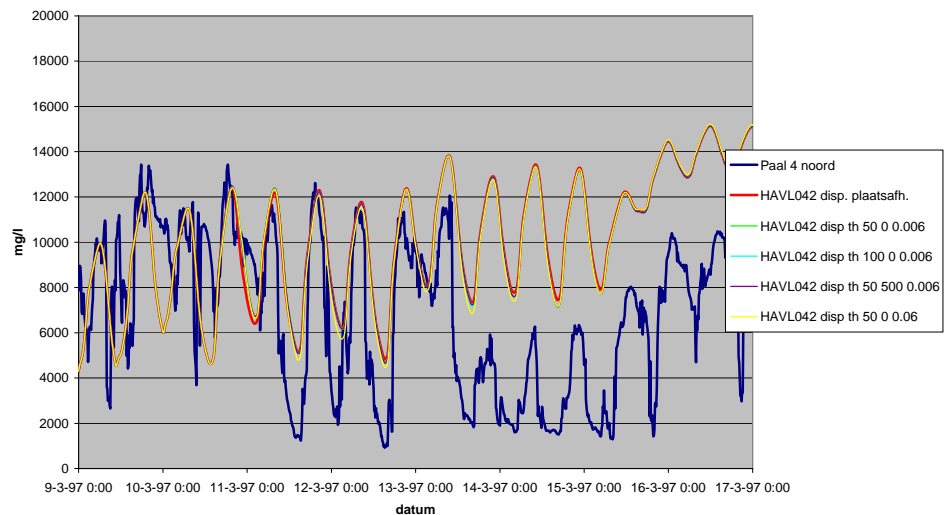
**Figuur d.11**

Chlorideconcentratie Boei 3 Zuid zoals berekend door Sobek met  $f_4 = 0.006$  en  $f_4 = 0.06$

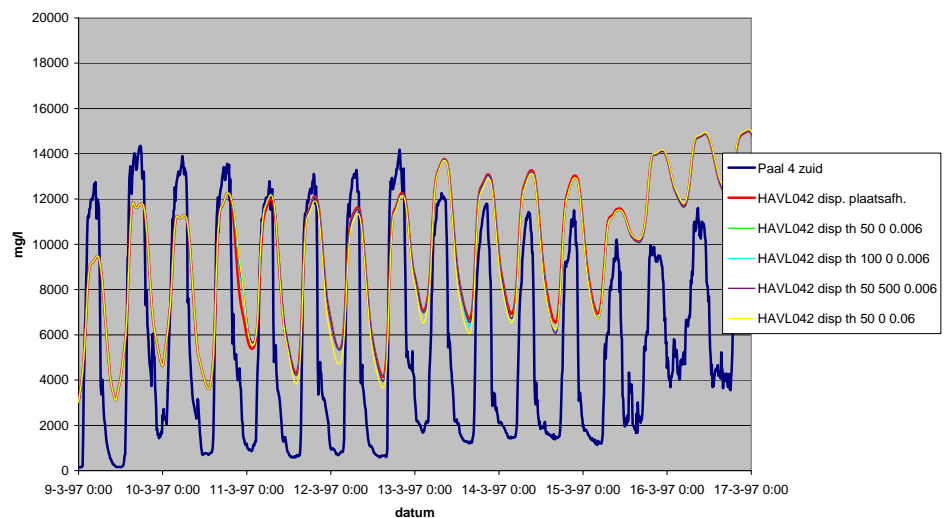


Aan de buitenzijde van de Haringvlietsluizen zijn ook metingen uitgevoerd (Paal4Noord en Paal4Zuid). De berekeningen van deze locaties zijn vergeleken met de naar dieptegemiddelde chlorideconcentraties omgerekende meetgegevens. Uit figuur d.12 en figuur d.13 blijkt dat de verschillende instellingen van de dispersiecoëfficiënten voor tak HAVL042 niet zoveel invloed hebben op de buitengaatse takken. Met de huidige instellingen van Tak ZEHV097 wordt Paal4Noord redelijk goed weergegeven (de eerste 4½ dag). Voor Paal4Zuid geldt dit echter niet (ZEHV098). Het berekende maximum is te laag en het minimum te hoog. Aangezien het zout via deze takken het Haringvliet opkomt, is eerst getracht tak ZEHV098 af te regelen aan de hand van Paal4Zuid.

**Figuur d.12**  
Chlorideconcentratie bij Paal 4 Noord



**Figuur d.13**  
Chlorideconcentratie bij Paal 4 Zuid

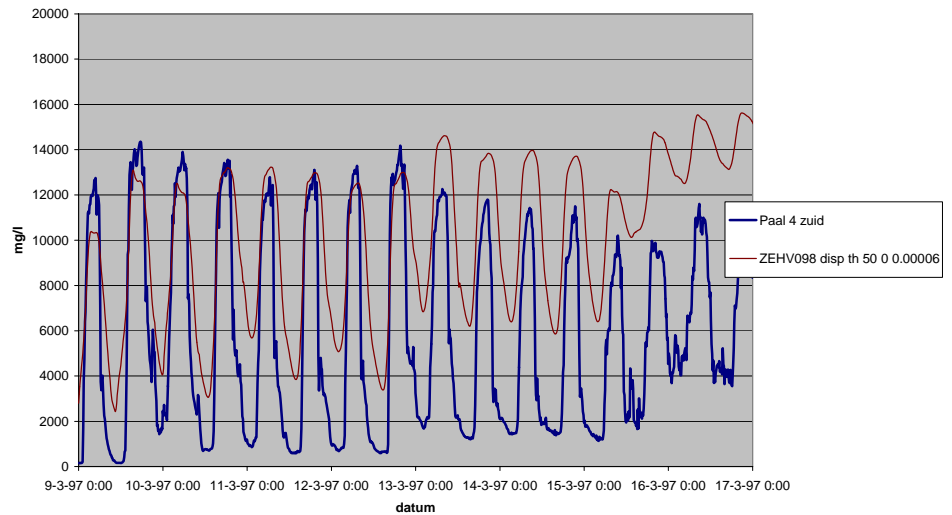


Uit het eerder beschreven onderzoekje naar de coëfficiënten van de Thatcher-Harleman formule blijkt dat de instelling van  $f_4$  voor de meeste dynamiek zorgt, en dat is wat op deze locatie gewenst is. Na enkele berekeningen waarbij  $f_4$  is gevarieerd,  $f_1$  is op 50 en  $f_3$  op 0 gehouden, bleek de waarde van  $f_4$  tussen 0.000001 en 0.0001 te moeten liggen. Met deze instelling werden de naar dieptegemiddelde chlorideconcentraties omgerekende meetgegevens van Paal4Zuid het beste benaderd.

Vervolgens is een dispersiecoëfficiënt tussen 0.000001 en 0.0001 gekozen, namelijk 50 0 0.00006 (figuur d.14). Ten opzicht van TH 50 0 0.000001 dalen zowel het maximum als het minimum van de variant TH 50 0 0.00006 iets.

Het is blijkbaar erg lastig om de meting van Paal4Zuid met SOBEK te reproduceren. Het minimum is niet verder naar beneden te krijgen, en het beste resultaat op dit moment wordt verkregen met de dispersiecoëfficiënten  $f_1=50$ ,  $f_3=0$  en  $f_4=0.00006$ . De maximale chlorideconcentratie wordt in ieder geval aardig weergegeven en dat is voor het binnendringen op het Haringvliet tijdens de proefperiode het belangrijkste. Dus voor de tak ZEHV098 zijn verder de dispersiecoëfficiënten 50 0 0.00006 aangehouden.

**Figuur d.14**  
Chlorideconcentratie bij Paal 4 Zuid

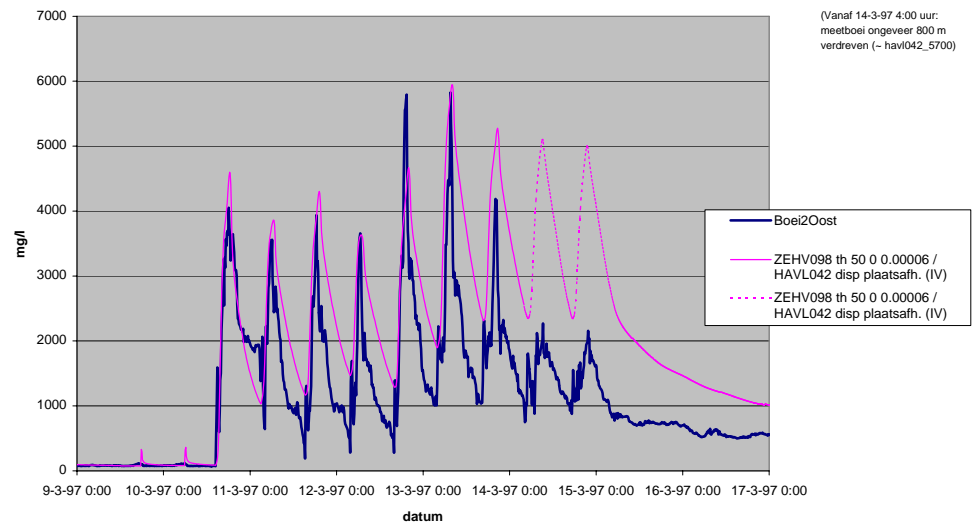


Vervolgens is getracht tak HAVL042 verder af te regelen. Voor de afregeling van tak ZEHV098 zijn met SOBEK de meetgegevens van Boei2Oost en Boei3Zuid op de tak HAVL042 nog het best benaderd met een plaatsafhankelijke dispersie voor HAVL042. Hier is nog verder mee gevarieerd, waarbij ook de coëfficiënt f4 is meegenomen. Uiteindelijk is de afregeling gestopt met de instellingen zoals vermeld in tabel d.3, waarmee vergeleken met andere instellingen de meetgegevens nog het best zijn benaderd (figuur d.15 en figuur d.16). Er zal echter nog meer onderzoek moeten worden verricht om een nog betere afregeling te krijgen.

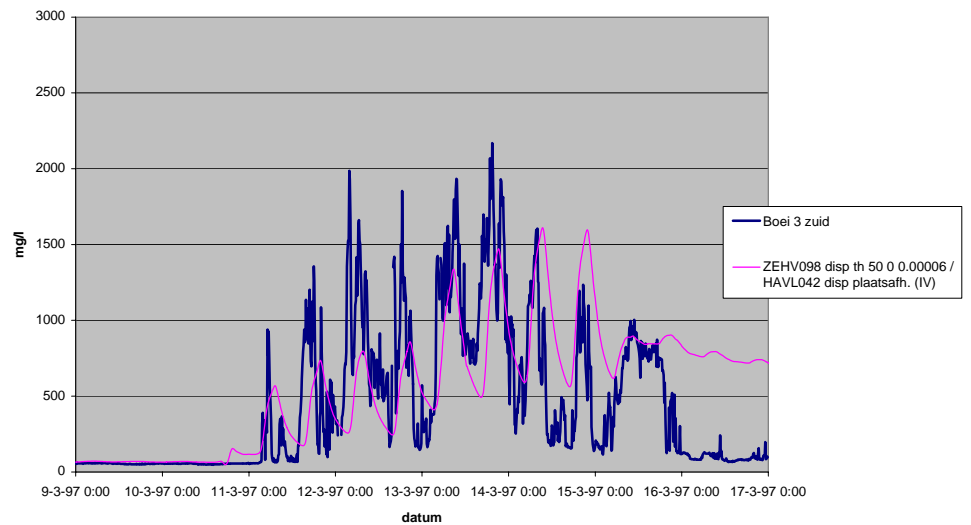
**Tabel d.3**  
Plaatsafhankelijke dispersiecoëfficiënten voor tak HAVL042

Afstand m	Dispersie (f1)	Dispersie (f3)	Dispersie (f4)
0	100	0	0
1000	100	0	0
2000	200	0	0
3000	300	0	0
4000	500	0	0
5000	1000	0	0
6400	50	0	0.006
6401	50	0	0.006
6412	50	0	0.006
6413	50	0	0.006
6611	50	0	0.006

**Figuur d.15**  
Chlorideconcentraties bij Boei 2 Oost



**Figuur d.16**  
Chlorideconcentraties bij Boei 3 Zuid



### Conclusie

Voor de afregeling zijn er een aantal verschillende instellingen voor de dispersiecoëfficiënten doorgerekend, waarbij steeds de uitkomst was dat het bij het ene meetpunt de berekening verbeterde maar bij de andere verslechterde. Daarom is er voor gekozen om de dispersiecoëfficiënt in de tak HAVL042 plaats afhankelijk te maken. Dit gaf een flinke verbetering te zien. Door nu ook een instelling voor dispersiecoëfficiënt  $f_4$  te nemen nam de dynamiek in de chlorideconcentratie ook iets toe. Uiteindelijk is voorlopig gekozen voor de instellingen zoals vermeld in tabel d.3.

Er moet wel opgemerkt worden dat dit nog niet de in te stellen dispersiecoëfficiënten zijn en dat er nog meer onderzoek moet volgen om de zoutindringing binnen Sobek goed af te regelen.

### Literatuur

WL | Delft Hydraulics, 2001. SOBEK Salt Intrusion Technical Reference, januari 2000.

---

## D.2 Dispersieafregeling Sobek-model HOP-I

### Beschikbare gegevens

Bij de afregeling uitgegaan van de metingen van de inlaatproef in maart 1997 en van de Zeedelta berekening met HOP2005 versie 4 zonder zoetspoelen van augustus 1988 (§5.3.6).

### Eerdere afregeling

Het tot nu toe voor de Kier gebruikte Sobek-model (HOP-H) was afgeregeld op de inlaatproef. Hierbij is de dispersie ingesteld door vooral gebruik gemaakt van de constante  $f_1$  in de Thatcher-Harleman vergelijking.

### Doelstelling

Een afregeling zodanig dat Sobek zowel de metingen van de inlaatproef als de zoutindringing van de Zeedelta berekening beter reproduceert. Met name de sterke verspreiding van zout bij kleine sluisopeningen is onrealistisch en hinderlijk bij de beoordeling van de effecten van nieuwe sluisprogramma's.

### Het HOP-I model

Voor deze betere afregeling is onderzocht wat de mogelijkheden zijn van

- de modellering van het westelijk deel van het Haringvliet
- de  $f_3$  en  $f_4$  coëfficiënten in de TH vergelijking
- de Empirical dispersion formula in Sobek
- het wijzigen van de estuary mouth van het Haringvliet

### Modellering van het westelijk deel van het Haringvliet

Uit de metingen tijdens de inlaatproef is gebleken dat de zoutindringing via de zuidelijke geulen van het Haringvliet sterker is dan via de noordelijke. Daarom is de westelijke tak (HAVL042) van het Haringvliet in Sobek gesplitst in drie delen. Een westelijk deel van 561 m vlak bij de sluizen, met aansluitend twee paralleltakken van 6 km. Een noordelijk deel met 2/3 van het profiel van de originele tak en een zuidelijk deel met 1/3 deel van het profiel van de originele tak. De verbinding tussen de noordelijke en zuidelijke takken ten westen van Slijkplaat is vervallen. De zuidelijke tak heeft voor de vloedstroom een wat lagere ruwheid gekregen en voor de ebstroom een wat hogere. De dispersie is voor de zuidelijke tak hoger dan voor de noordelijke. Het resultaat is een model dat de ongelijke verdeling van de zoutindringing bij de inlaatproef beter weergeeft. De splitsing is daarom gehandhaafd bij de volgende stappen. Een nadeel van deze opsplitsing is dat het verloop van het debiet door de Haringvlietssluisen in sommige omstandigheden enige onstabieleit vertoont.

### Afregelen met $f_3$

Door gebruik te maken van de  $f_3$  coëfficiënt in de TH-vergelijking wordt de dispersie afhankelijk gemaakt van de locale momentane stroomsnelheid. De stroomsnelheid op het Haringvliet heeft een directe relatie met de opening van de sluizen. Door gebruik van de  $f_3$  wordt bij

---

kleinere sluisopening de dispersie verlaagd en dus ook de ongewenste zoutverspreiding onder dergelijke omstandigheden.

- Allereerst is het model opnieuw afgeregeld op de inlaatproef, waarbij de verlaagde  $f_1$  waarden worden gecompenseerd door het instellen van een  $f_3$ .
- Toepassing van de nieuwe instellingen op de Zeedelta-som leidt tot de conclusie dat de zoutindringing nog te hoog is. Dit wordt in belangrijke mate veroorzaakt door het feit dat de Voordelta in Sobek veel zouter is dan in Zeedelta.
- Verlaging van de dispersie in de Voordelta geeft een model dat ook op het Haringvliet beter presteert.
- Toepassing van de verlaagde dispersie in de Voordelta op de inlaatproef leidt echter tot een veel te kleine zoutindringing in het Haringvliet.
- Vervolgens is gezocht naar een middenweg tussen de twee dispersieinstellingen.

Een probleem bij alle berekeningen is dat het patroon van de verzilting in de tijd zoals dat gemeten is of berekend wordt in Zeedelta slecht gereproduceerd kan worden.

### **Emperical dispersion formula**

Deze lijkt erg op TH. Het verschil zit in de wijze waarop het vloedvolume en de maximale vloedsnelheid worden berekend. In de emperical formula worden deze berekend als lineaire functie van het tijverschil op de zeerand, waarbij de coëfficiënten van de lineaire functie vrij kunnen worden gekozen.

Het tijverschil wordt echter nauwelijks beïnvloed door de opening van de Haringvlietsluizen. Om deze reden lijkt deze emperical formula geen goed alternatief. Er zijn geen berekeningen mee uitgevoerd.

### **Wijzigen van de estuary mouth**

In Sobek is elke tak voor de TH-vergelijking gekoppeld aan één of meerder zeemonden t.b.v. de berekening van vloedvolume en maximale vloedsnelheid. Het blijkt mogelijk een willekeurige node in het model als estuary mouth te definiëren. Er is voor gekozen de node aan het einde van het westelijk deel van tak 42 als estuary mouth (200 m buiten de sluisen) te kiezen voor alle Haringvliettakken. Vervolgens is geprobeerd de dispersie te regelen m.b.v. een hogere  $f_4$  coëfficiënt en een lagere  $f_1$  en  $f_3$  coëfficiënt. Dit bleek geen verbetering t.o.v. voorgaande modellen.

Omdat vloedvolume en maximale vloedsnelheid per getijperiode worden bepaald wijzigt de dispersiecoëfficiënt voor de gehele getijperiode, zowel tijdens eb- als vloed. Indien er alleen gespuid wordt is de  $Q_f$  (zoetwateraanvoer) groot en de  $P_e$  (vloedvolume) laag. De deling van deze twee die in de TH vergelijking voorkomt wordt dan erg groot, met grote dispersiecoëfficiënten onder deze omstandigheden tot gevolg. Dit is niet het beoogde gedrag.

### **Zeerandvoorwaarde**

Bij vergelijking van het chloridegehalte bij HA10 en HA20 blijkt dat Sobek in de zoetspoelsom een te hoge zourandvoorwaarde heeft. Deze is verlaagd tot 17.5 g/l (31.60) voor HA10 en 16 g/l (28.90) voor

HA20. Dit brengt het niveau wat dichter bij de Zeedelta som. De vorm van met name HA20 is niet goed. Bij Paal 4N/Z en voor de sluizen is het nog steeds te zout. Er is grote twijfel aan de juiste werking van de Voordelta in Sobek. Tijd en data om dat te verbeteren ontbreekt op dit moment echter.

### Spui

In de zoetspoelsom verzilt Bernisse voorwaarts in Sobek maar niet in Zeedelta. Door verlaging van de dispersie in de eerste 5 km van het Spui vanaf het Haringvliet is geprobeerd dit te verminderen. Dit heeft echter geen enkel effect. De voorwaartse verzilting van Bernisse is blijkbaar uitsluitend advectief.

### Conclusie

De verzilting van het Haringvliet t.g.v. van de Kier is een proces waarvan het karakter sterk afhangt van de bij de Kier sterk wisselende opening van de sluizen bij eb en bij vloed. Er is geen mogelijkheid gevonden dit gedrag via dispersieformuleringen bij wisselende omstandigheden bij benadering te reproduceren. Sobek is ongeschikt voor berekening van de verzilting in het Haringvliet t.b.v. de Kier.

### Keuze

Er is gekozen het model hop2005I.sbk case 15 te gebruiken. Dit model heeft de volgende afwijkingen t.o.v. het H-model.

- Tak 42 is gesplitst in een noordelijk, een zuidelijk en een westelijk deel, zoals boven beschreven.
- De zouttrandvoorwaarde voor HA10 en HA20 is verlaagd naar 31.60 resp. 28.90 kg/m<sup>3</sup>.
- De Thatcher-Harleman dispersieinstellingen op het Haringvliet zijn gewijzigd volgens tabel d.4.

**Tabel d.4**  
Dispersieinstellingen in het Haringvliet in het model hop-I

Tak	Afstand	f1	f3	f4
HAVL042W	0	10	4000	0
	350	10	4000	0
	351	1	200	0
	362	1	200	0
	561	10	4000	0
HAVL042N	40	1000	0	0
HAVL044	10	2000	0	0
HAVL045	10	1000	0	0
HAVL046	10	1000	0	0
HAVL042Z	30	2000	0	0
HAVL043	10	4000	0	0
HAVL047	10	1000	0	0
HAVL048	100	1	0	0
Overig HAVL/HODI/SPUI (ongewijzigd)	50	0	0.006	

Het model met deze instellingen is het nieuwe HOP2005I model.



### E.1 SOBSET

Het programma SOBSET maakt uitgaande van een bestaande SOBKE-case nieuwe cases aan waarbij in iedere nieuwe case de constante afvoerrandvoorwaarden bij Hagestein, Tiel en Lith en de bediening van de Haringvlietsluizen naar wens worden aangepast.

Een nieuwe case wordt aangemaakt door alle bestanden behorende bij de opgegeven basis-case te kopiëren naar de nieuwe-case directory. Vervolgens worden caselist.cmt en register.cmt aangevuld met de gegevens voor de nieuwe case.

In het bestand defcnd.2 worden de records FLBO met de id's 13, 15 en 21 aangepast. In het NDB\_1\_0\_0 model beschrijven deze de afvoerrandvoorwaarden van resp. Hagestein, Tiel en Lith. In deze records worden debietwaarden in de afvoertabel vervangen door een nieuwe waarde.

In het bestand defstr.4 worden de controllers met de namen "Hvl\_Open\_Contr" en "Hvl\_Sluit\_Contr" aangepast. De tabel van de "Hydraulic Controller" wordt vervangen door een nieuwe tabel met de gewenste hefhoogten. Bij bediening volgens LPH wordt de tabel ongemoeid gelaten. Het is dus belangrijk dat in de basis-case de juiste bediening volgens LPH is ingesteld.

Het programma SOBSET wordt bestuurd door een stuurbestand, waarvan de naam als commandline argument moet worden opgegeven:

```
% sobset -s stuurbestand.stu
```

Onderstaand is een voorbeeld van een stuurbestand gegeven.

```
# Invoerbestand voor sobset
#
# Aantal permanente debietrandvoorwaarden
15
# Afvoertabel (m3/s)
# Qbr Hagsn Tiel Lith
1000 20 785 90
1150 20 898 112
1300 20 1010 130
1450 60 1102 150
1600 150 1160 180
1750 230 1230 202
1900 300 1305 220
2050 348 1398 238
2200 385 1490 260
2350 420 1588 278
2500 450 1690 300
2750 505 1855 360
3000 555 2025 460
3250 606 2192 520
3500 660 2355 585
# Sluisbediening Haringvlietsluizen (lph, hop-ebvlop)
```

---

```

hop-ebvlop
# Aantal HOP's
7
# Opening Ebopening Vloedopening (m2)
  0    0    0
100  120  80
200  240 160
300  360 240
400  480 320
500  600 400
600  720 480
# Sobek model
../hopd2.sbk
# Te dupliceren case
2
# Basisnaam van de nieuwe cases
hop-d2-e+20%v-20%
# Nummer van de eerste nieuwe case
101

```

In het stuurbestand zijn alle regels die beginnen met een “#” teken commentaarregels. Deze kunnen naar wens worden toegevoegd of weggelaten.

Achtereenvolgens dient het stuurbestand de volgende informatie te bevatten:

- Het aantal debietrandvoorwaarden
- De afvoertabel, voor elke debietrandvoorwaarde een regel met de Bovenrijnafvoer en de bijbehorende afvoeren bij Hagestein, Tiel en Lith.
- De wijze waarop de Haringvlietsluizen bediend worden. De keuze is tussen “lph” en “hop-ebvlop”.
- Het aantal HOP's
- Voor ieder HOP de kenmerkende opening, de sluisopening bij eb (stroming van Haringvliet naar zee) en de sluisopening bij vloed (stroming van zee naar Haringvliet). De openingen worden opgegeven in m<sup>2</sup>. De kenmerkende opening heeft alleen een administratief doel. Behalve een bepaalde waarde voor de opening, kan ook de waarde “lph” in deze tabel worden opgegeven. In dat geval wordt de sluis bediend volgens LPH'84.
- De padnaam naar de directory waarin het te gebruiken Sobek model te vinden is
- Het casenummer van de basis-case welke gedupliceerd moet worden.
- De basisnaam van de nieuwe cases. Deze naam komt aangevuld met het casenummer terecht in de caselist. In de Sobek User Interface is de case aan deze tekst te herkennen.
- Het volgnummer van de eerste nieuwe case. De Sobek User Interface kiest altijd het laagst beschikbare nummer voor nieuwe cases. Door het opgeven van een volgnummer is een meer geordende nummering van de cases mogelijk. Bedenk wel dat de Sobek User Interface bij het opslaan van een bestaande, gewijzigde case deze altijd hernummert naar het laagst beschikbare nummer.

---

## E.2 NFKNIP en NFPLAK

Het programma NKNIP knipt Sobek Nefis uitvoerbestanden (extensie oda en odf) op in de tijd. Het gebruik is als volgt:

```
% nfknip [invoerbestand] [uitvoerbestand] [yyyymmdd]
[hhmm] [yyyymmdd] [hhmm]
```

NFKNIP verwacht 6 argumenten. Achtereenvolgens zijn dit

- De naam van het invoer NEFIS bestand, zonder de extensie oda of odf.
- De naam van het nieuwe NEFIS bestand, zonder de extensie oda of odf.
- De begindatum en begintijd van het nieuwe bestand
- De einddatum en eindtijd van het nieuwe bestand.

De voor het nieuwe bestand gewenste periode moet volledig vallen binnen de in de invoer beschikbare periode aan resultaten.

Het programma NFPLAK plakt Sobek Nefis uitvoerbestanden (extensie oda en odf) aan elkaar in de tijd. Een voorbeeld van het gebruik is:

```
% nfplak lph-1988-1990
lph-1988 19880101 0000 19881231 2350
lph-1989 19890101 0000 19891231 2350
lph-1990 19900101 0000 19901231 2350
end
```

In dit voorbeeld worden de bestanden lph-1988.oda, lph-1989.oda lph-1990.oda samengevoegd tot een uitvoerbestand lph-1988-1990.oda.

Door opgeven perioden moeten exact op elkaar aansluiten. Op deze wijze wordt in het gegeven voorbeeld de inspeelperiode van de berekening uit de uitvoer verwijderd.

## E.3 HOPTAB

Het programma HOPTAB converteert SOBEEK uitvoer naar een MATLAB m-file. De gegevens komen hiermee beschikbaar voor analyse en presentatie in MATLAB.

Het gebruik van het programma HOPTAB is als volgt.

```
% hoptab -s <stuurinvoer> [-o <uitvoer-basisnaam>]
```

Een voorbeeld van een stuurbestand is hieronder gegeven.

```
# Invoerbestand voor hoptab
#
# Variantcode
d2-2w
# Aantal permanente debietrandvoorwaarden
15
# Afvoertabel (m3/s)
# Qbr Hagsn Tiel Lith
1000 20 785 90
1150 20 898 112
1300 20 1010 130
1450 60 1102 150
1600 150 1160 180
1750 230 1230 202
1900 300 1305 220
```

---

```

2050  348  1398  238
2200  385  1490  260
2350  420  1588  278
2500  450  1690  300
2750  505  1855  360
3000  555  2025  460
3250  606  2192  520
3500  660  2355  585
# Aantal HOP's
7
# Opening Ebopening Vloedopening (m2)
  0    0    0
100  120   80
200  240  160
300  360  240
400  480  320
500  600  400
600  720  480
# Referentie model
# Modeldirectory, Nefis uitvoer, basisnaam case,
volgnummer eerste case
../hopd1.sbk
sobek2w
hop-d
81
# HOP model
# Modeldirectory, Nefis uitvoer, basisnaam case,
volgnummer eerste case
../hopd2.sbk
sobek2w
hop-d2-e+20%v-20%
101
# Periode
19910115 0000 19910117 0000
# Aantal parameters
14
# Parameterlijst
#type soort eenheid schaalfactor sobeknaam locatiennaam
# Moerdijk
max C kg/m3 0.55354 HODI055_.00 Moerdijk
# Middelharnis 72750 421500 is HAVL047_1057
max C kg/m3 0.55354 HAVL047_1061.00
Middelharnis
# Bernisse 79075 424550 is SPUI084_11752
max C kg/m3 0.55354 SPUI084_12007.00 Bernisse
# Alblasserdam 104500 430500 is NOOR098_1338
max C kg/m3 0.55354 NOOR098_1047.00
Alblasserdam
# Krimpen a/d IJssel 99387 436814 is HOIJ029_18048
max C kg/m3 0.55354 HOIJ029_18001.00 Krimpen
a/d IJssel
# Hellevoetsluis 68425 426420
max C kg/m3 0.55354 HAVL042_.00
Hellevoetsluis
max C kg/m3 0.55354 HAVL042_3313.00 Tussen
HVS en HVLS
# Spijkenisse 82860 430610 is OUMA_Spijkenisse_7246.67
max C kg/m3 0.55354 OUMA_Spijkenisse_7627.00
Spijkenisserbrug
# Vlaardingen 83550 435070 is NIMA012_1054.33

```

---

---

```

max C kg/m3 0.55354 NIMA012_950.00
Vlaardingen
# Beerenplaat 88590 428400 is OUMA_Spijkenisse_646.79
max C kg/m3 0.55354 OUMA_Spijkenisse_747.00
Beerenplaat
max C kg/m3 0.55354 SPUI084_2931.00
Beerenplaat Spui
# Heijnoordtunnel 94660 427457 is OUMA035_9727.41
max C kg/m3 0.55354 OUMA035_10014.00
Heijnoordtunnel
max C kg/m3 0.55354 NIMA025_1407.00
Kralingen
min H      m          1 HODI055_.00          Moerdijk

```

## E.4 ZOZOZO

Het programma ZOZOZO maakt uit Sobek uitvoer een MATLAB m-file waarmee een figuur gemaakt kan worden van de ligging van de zoet-zout-zone in de tijd.

Het gebruik van het programma is als volgt:

```
% zozozo -s <stuurbestand> -o [basisnaam
uitvoerbestand]
```

Onderstaand is een voorbeeld gegeven van een stuurbestand voor het bepalen van de ligging van de zoet-zout overgang in het traject Voordelta-Haringvliet-Hollandsch Diep.

```

# Invoerbestand voor zozozo
# Variantcode
d1-2w
# Aantal permanente debietrandvoorwaarden
15
# Afvoertabel (m3/s)
# Qbr Hagsn Tiel Lith
1000 20 785 90
1150 20 898 112
1300 20 1010 130
1450 60 1102 150
1600 150 1160 180
1750 230 1230 202
1900 300 1305 220
2050 348 1398 238
2200 385 1490 260
2350 420 1588 278
2500 450 1690 300
2750 505 1855 360
3000 555 2025 460
3250 606 2192 520
3500 660 2355 585
# Aantal HOP's
7
# Opening Ebopening Vloedopening (m2)
0 0 0
100 100 100
200 200 200
300 300 300
400 400 400

```

---

```
500 500 500
600 600 600
# Referentie model
# Modeldirectory, basisnaam case, volgnummer eerste
case
../hopd1.sbk
sobek2w
hop-d
81
# HOP model
# Modeldirectory, basisnaam case, volgnummer eerste
case
../hopd1.sbk
sobek2w
hop-d1-e=v
101
# Periode, twee getijden is 24:50
19910115 1140 19910116 1230
# Soort, eenheid en schaalfactor
C kg/m3 0.55354
# Lengteeenheid
m
# Aantal rekenpunten
65
# Rekenpunten, van HVS tot Moerdijk
ZEHV104_9551.00
ZEHV104_8595.90
ZEHV104_7640.80
ZEHV104_6685.70
ZEHV104_3820.40
ZEHV104_5730.60
ZEHV104_4775.50
ZEHV104_2865.30
ZEHV104_1910.20
ZEHV104_955.10
ZEHV104_.00 = ZEHV100_2956.00
ZEHV100_1970.67
ZEHV100_985.33
ZEHV100_.00 = ZEHV098_3427.00
ZEHV098_2284.67
ZEHV098_1142.33
ZEHV098_.00 = HAVL042_6611.00
HAVL042_6511.00
HAVL042_6412.00
HAVL042_6411.00
HAVL042_6050.00
HAVL042_5700.00
HAVL042_5196.00
HAVL042_4371.00
HAVL042_3313.00
HAVL042_2172.00
HAVL042_1229.00
HAVL042_.00 = HAVL044_5929.00
HAVL044_4430.00
HAVL044_2462.00
HAVL044_1171.00
HAVL044_.00 = HAVL047_3201.89
HAVL047_1849.00
HAVL047_1061.00
HAVL047_.00 = HAVL048_2991.76
```

---

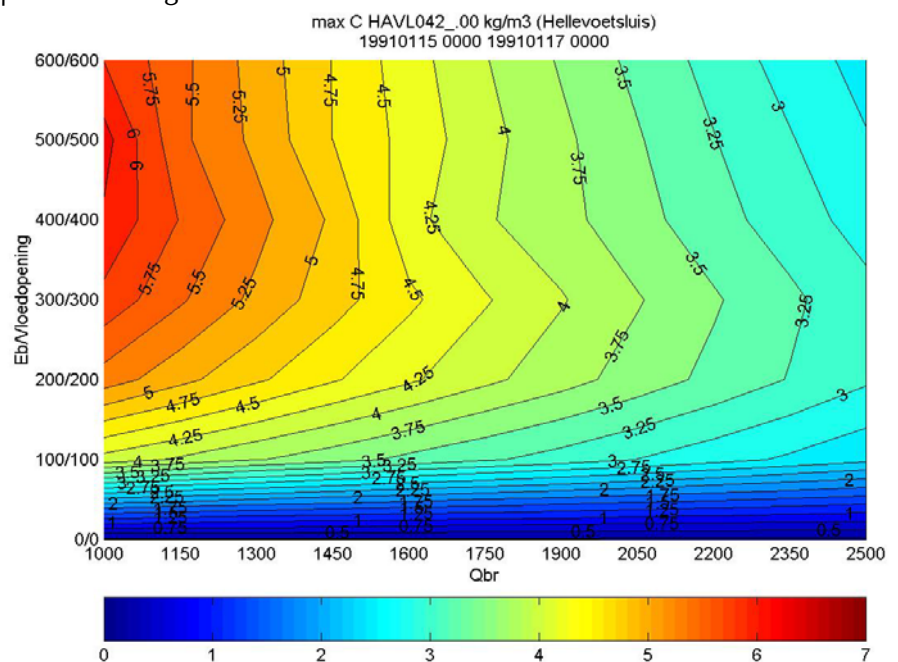
HAVL048\_1890.00  
HAVL048\_984.00  
HAVL048\_.00 = HAVL050\_7955.00  
HAVL050\_7126.00  
HAVL050\_5889.00  
HAVL050\_4632.00  
HAVL050\_3408.00  
HAVL050\_2401.00  
HAVL050\_1170.00  
HAVL050\_.00 = HAVL051\_2986.00  
HAVL051\_2046.00  
HAVL051\_1087.00  
HAVL051\_.00 = HAVL052\_5099.00  
HAVL052\_3809.00  
HAVL052\_2343.00  
HAVL052\_.00 = HODI058\_10870.00  
HODI058\_9685.00  
HODI058\_8416.00  
HODI058\_7533.00  
HODI058\_6520.00  
HODI058\_5470.00  
HODI058\_4230.00  
HODI058\_3199.00  
HODI058\_2121.00  
HODI058\_1039.00  
HODI058\_.00 = HODI056\_2456.00  
HODI056\_1142.00  
HODI056\_.00 = HODI055\_1445.00  
HODI055\_722.50  
HODI055\_.00  
# Nulpunt  
HAVL042\_6411.00

## Bijlage F Verklaring resultaten zoutindringing

Marloes Kraaijeveld, Oktober 2001

Met behulp van het 1-D model Sobek is het chlorideverloop in kaart gebracht op verschillende locaties in het Noordelijk Deltabekken gebied bij toenemende eb-/vloed openingen van de Haringvlietsluizen en toenemend debiet. In figuur 1 is de locatie Hellevoetsluis gepresenteerd. Op de x-as staat het debiet van de Bovenrijn, op de y-as staan de verschillende eb/vloed openingen en de gekleurde lijnen geven de maximum chlorideconcentraties weer. Voor de overige locaties in het Haringvliet en de omgeving ervan wordt een soortgelijk patroon waargenomen.

**Figuur e.1**  
Chlorideconcentraties bij verschillende eb/vloed openingen en Bovenrijnafvoeren voor NDB model

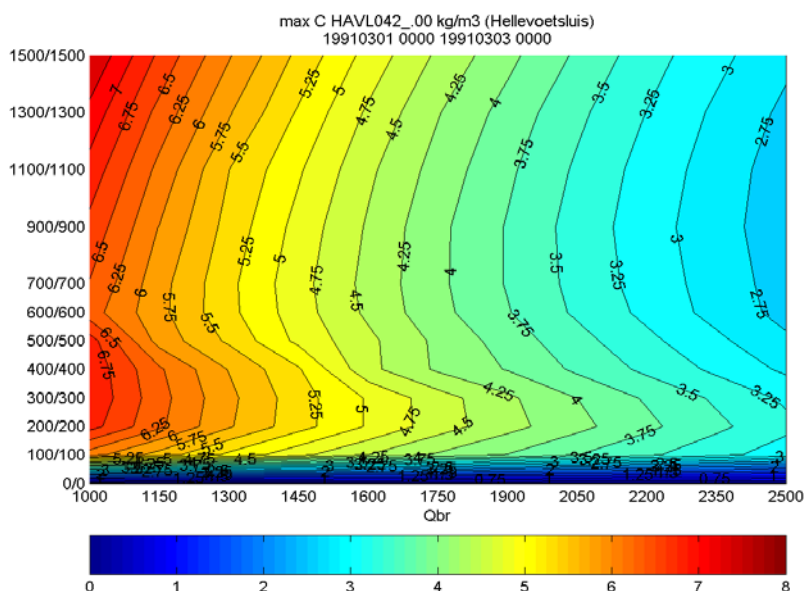


Figuur e.1 vertoont een onverwacht verloop van de chlorideconcentratie, onverwacht omdat bij toenemende eb/vloed opening van de sluisen de chlorideconcentratie minder toeneemt en zelfs afneemt (bij een constante  $Q_{br}$  van 1300 neemt de chlorideconcentratie toe tot een eb/vloed opening van 400 m<sup>2</sup>, bij een opening tussen de 400 en 500 m<sup>2</sup> neemt de chlorideconcentratie af en boven de 500 m<sup>2</sup> blijft het gelijk). Er wordt een patroon verwacht waarbij bij een grotere eb/vloedopening en een toenemend debiet, de chlorideconcentratie naar verhouding toeneemt.

Dit verloop van de chlorideconcentratie doet zich echter alleen voor bij lage eb/vloed openingen. In figuur e.2 is te zien dat bij eb/vloed openingen groter dan 600 m<sup>2</sup> de chlorideconcentratie weer oploopt. Het gaat dus om een tijdelijke zoutterugbuiging bij lage eb/vloed openingen.



**Figuur e.2**  
Chlorideconcentraties NDB model bij eb/vloed openingen t/m 1500 m<sup>2</sup>

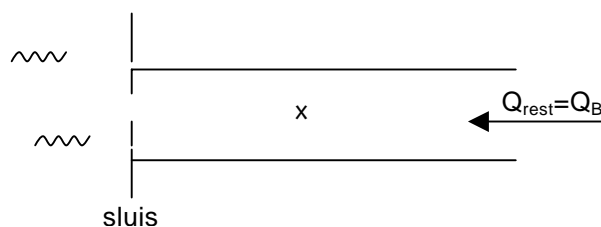


In onderstaande paragrafen wordt getracht dit (onverwachte) verloop te verklaren met behulp van een versimpeld model, een aangepast Noordelijk Deltabekken (NDB) model en het werkelijke NDB model.

### Simpel model

Om het verloop van de chlorideconcentraties bij toenemende eb/vloed openingen en toenemend debiet te verklaren, is in eerste instantie een sterk versimpeld Sobek model opgesteld (zie figuur e.3). Dit model bestaat uit één rivier: het Haringvliet, met een in- en uitlaatsluis. De Bovenafvoer is hierbij gelijk aan het restdebiet, omdat het gaat om één enkele afvoer. De randvoorwaarde op zee is een sinusvormig getij met een constante chlorideconcentratie.

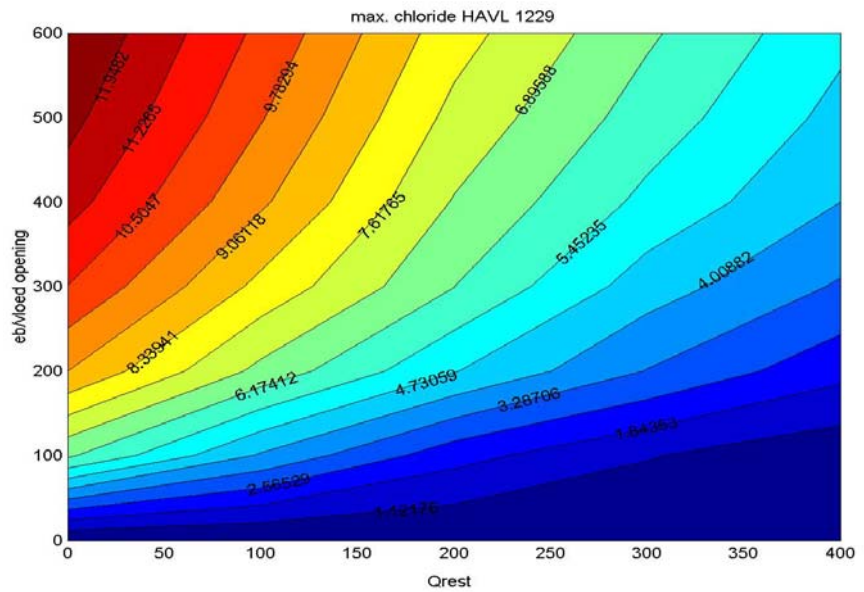
**Figuur e.3**  
Simpel model Sobek (Haringvliet)



Met behulp van dit model zijn voor een locatie nabij de sluis (punt x) maximum chlorideconcentraties berekend bij verschillende eb/vloed openingen en verschillende rivierafvoeren (=restdebiet). De resultaten staan weergegeven in figuur e.4.

Uit deze resultaten blijkt dat bij toenemende eb/vloed openingen en een vast debiet, de chlorideconcentratie toeneemt (verticale pijl in figuur). Wanneer de sluizen bij een gelijkblijvende afvoer verder worden opgezet, wordt de zee-invloed op het Haringvliet meer merkbaar, doordat het zeewater een grotere opening heeft om naar binnen te stromen. Dit heeft een hogere chlorideconcentratie tot gevolg, doordat bij een gelijkblijvend restdebiet de eb- en vloedvolumes toenemen. De toename van het vloedvolume veroorzaakt een hogere chlorideconcentratie.

**Figuur e.4**  
Maximale chlorideconcentraties simpel model



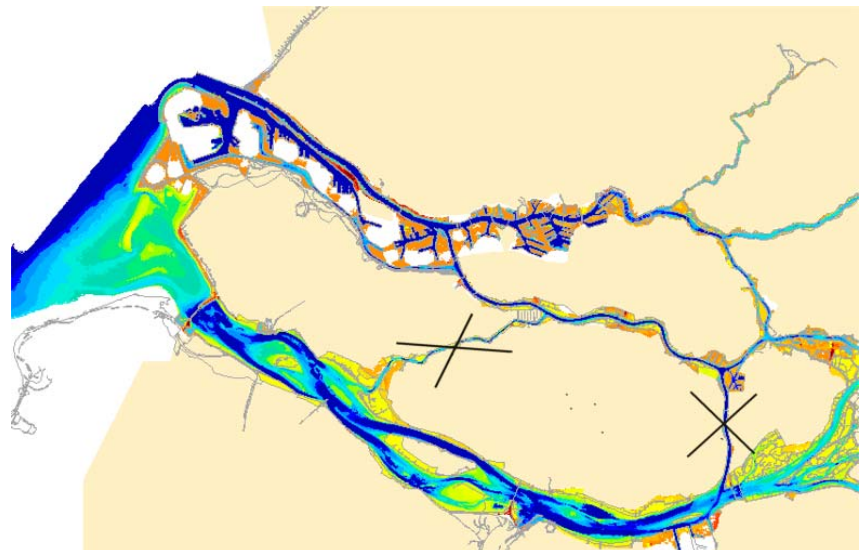
Andersom, bij een toenemend debiet en gelijkblijvende eb/vloed openingen, neemt de chlorideconcentratie af (horizontale pijl): bij een grotere rivierafvoer wordt de zee-invloed minder merkbaar doordat deze wordt teruggedrongen.

Deze figuur voldoet aan de te verwachten effecten voor het hierboven beschreven simpele model.

#### NDB-model zonder Spui en Dordtsche Kil

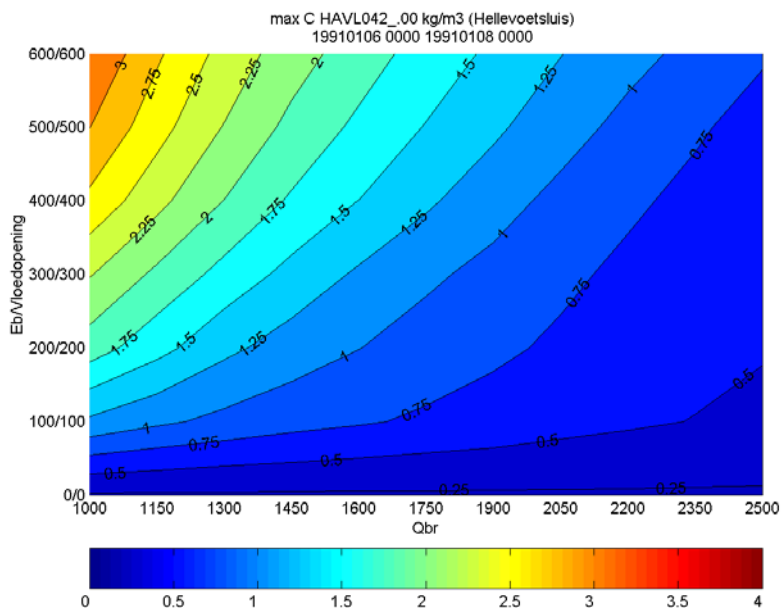
Als tweede model is het Noordelijk Deltabekken model gebruikt, alleen zijn er twee riviertakken afgesloten: het Spui en de Dordtsche Kil. Het idee hierachter is dat mate van zoutindringing bij verschillende sluis-openingen onder andere afhangt van de waterverdeling via het Spui (en de Dordtsche Kil). Figuur e.5 geeft een overzicht van de Rijn-Maasmonding. Het Spui en de Dordtsche Kil zijn hierbij afgesloten.

**Figuur e.5**  
NDB model (Spui en Dordtsche Kil afgesloten)



In figuur e.6 is met behulp van dit model voor de locatie Hellevoetsluis de maximum chlorideconcentratie weergegeven bij verschillende eb/vloed openingen en debieten.

**Figuur e.6**  
Maximum chlorideconcentraties  
aangepast NDB model (Spui en  
Dordtsche Kil afgesloten)

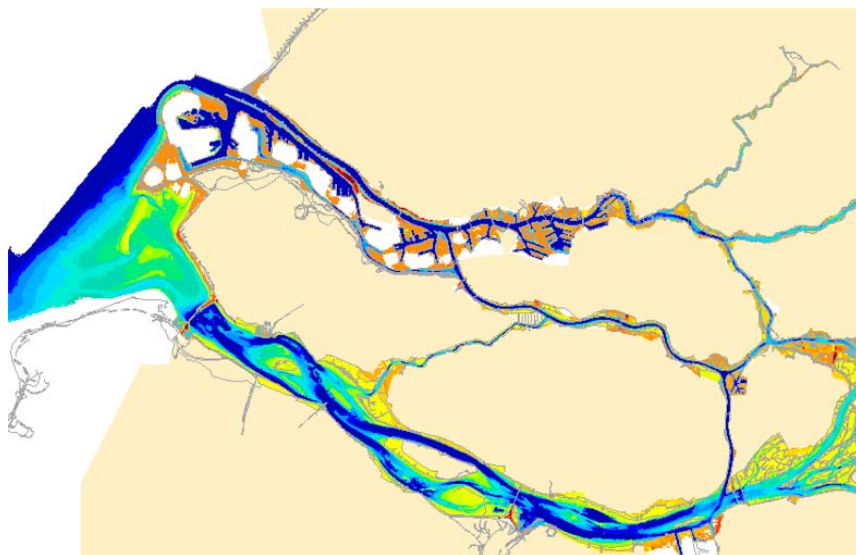


Uit figuur e.6 blijkt dat als uitgegaan wordt van het NDB-model waarbij het Spui en de Dordtsche Kil zijn afgesloten, er wel een “logisch” verloop van de chlorideconcentratie te zijn. De tijdelijke zoutterugbuiging bij lage eb/vloed openingen die optreedt in het complete NDB model (zie figuur 2), treedt niet op wanneer het Spui en de Dordtsche Kil worden afgesloten.

#### Noordelijk Deltabekken model

De hierboven geschetste situatie voldoet niet aan de werkelijke situatie, omdat het Spui en de Dordtsche Kil in werkelijkheid niet afgesloten zijn. In een laatste stap is dan ook uitgegaan van het volledige NDB model, dus zonder afsluitingen (zie figuur 7).

**Figuur e.7**  
NDB model



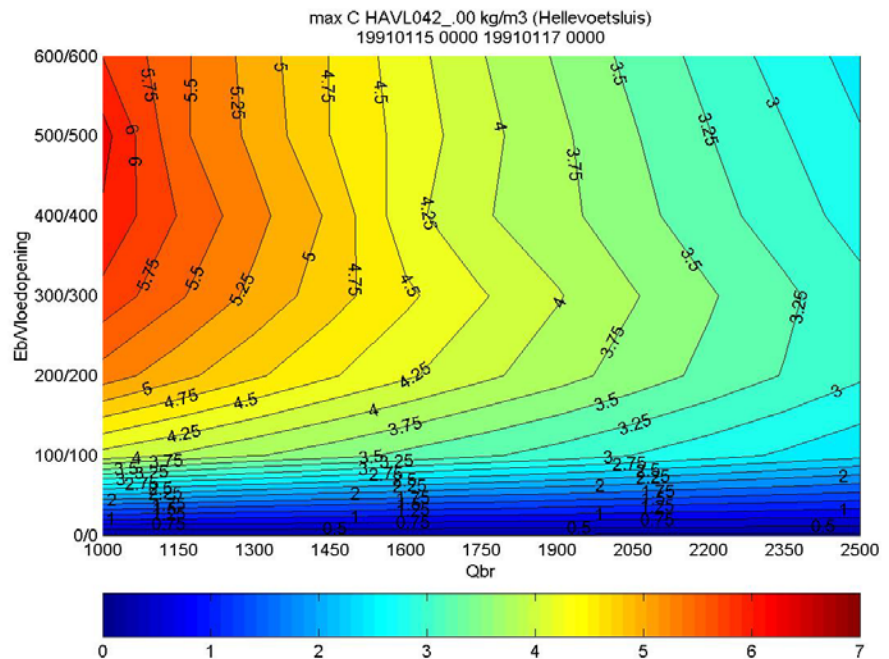
Uit figuur e.7 kan worden afgeleid dat als bij een gegeven constante Bovenrijnafvoer, de eb/vloed opening van de Haringvlietsluizen wordt vergroot, dan tegelijkertijd het restdebiet door het Haringvliet toeneemt (en de afvoer via de Nieuwe Waterweg afneemt). De verdeling van het

water over de twee riviertakken hangt af van een wisselwerking tussen bovenafvoer en de tegendruk van de Haringvlietsluizen. Indien de sluizen verder open worden gezet, vermindert de tegendruk en zal er meer water door het Haringvliet gaan stromen.

Het vergroten van de eb/vloed opening heeft op zich een toename van de chlorideconcentratie in het Haringvliet tot gevolg, als gevolg van een toename in het vloedvolume, echter een toename van het rest-debiet veroorzaakt op zich een afname van de chlorideconcentratie.

In het Sobek model waarbij de werkelijke situatie in het Noordelijk Deltabekken wordt nagestreefd, wordt het resulterend effect van de hierboven beschreven processen berekend. Het is echter niet mogelijk de afzonderlijke invloeden van de veranderingen in het restdebiet en het vloedvolume te bepalen. Figuur e.8 is hetzelfde als figuur e.1 en toont de berekende maximum chlorideconcentratie ter plaatse van Hellevoetsluis als functie van de Bovenrijnafvoer en de grootte van de eb/vloed opening van de Haringvlietsluizen.

**Figuur e.8**  
Chlorideconcentraties bij verschillende eb/vloed openingen en Bovenrijnafvoeren voor het NDB model



Bij bijvoorbeeld een Bovenrijnafvoer van 1000 m<sup>3</sup>/s bij een toename van de eb/vloed openingen van 100/100 naar 500/500 m<sup>2</sup> neemt de chlorideconcentratie toe, bij een verdere toename van de eb/vloed openingen van 500/500 naar 600/600 m<sup>2</sup> neemt de chlorideconcentratie weer af.

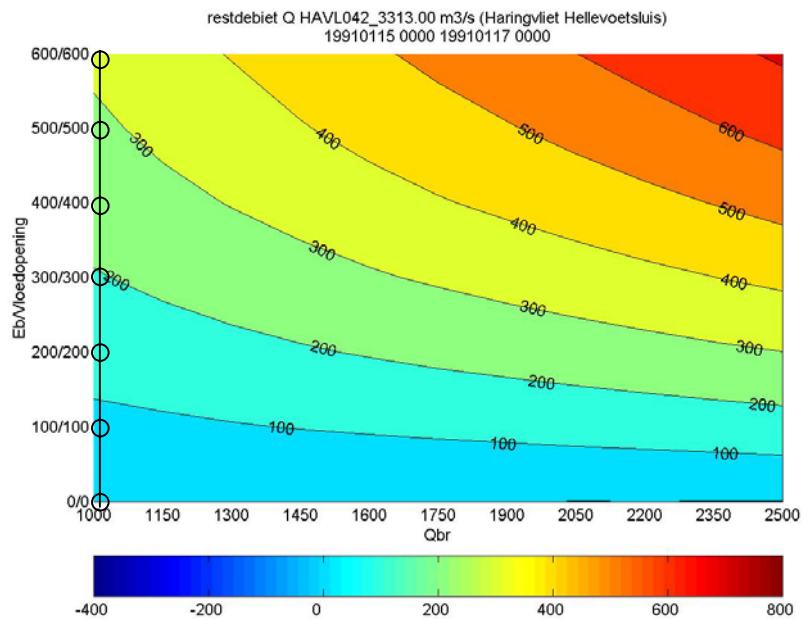
#### Verklaring resultaten

Figuur e.8 vertoont een onverwacht verloop van de chlorideconcentratie, onverwacht omdat de maximale berekende chlorideconcentraties terugbuigen bij een eb-/vloed opening rond de 200/200 m<sup>2</sup>. In onderstaande tekst zal geprobeerd worden een verklaring te vinden voor het verloop van de chlorideconcentraties.

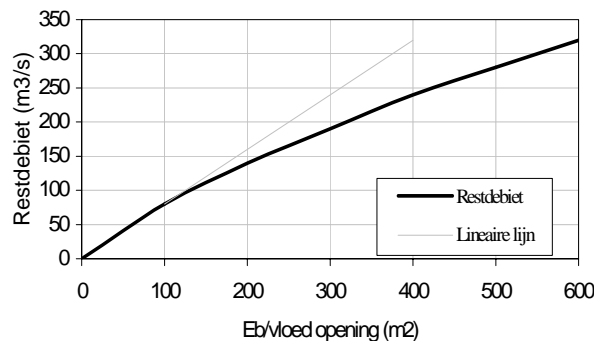
In het simpele model is uitgegaan van verschillende rivierafvoeren bij verschillende eb/vloed openingen. Hierbij is de Bovenafvoer gelijk aan het restdebiet, omdat er maar één afvoer is. In de werkelijke (model)-situatie echter is de Bovenafvoer niet gelijk aan het restdebiet wat door het Haringvliet stroomt. Een deel van de Bovenafvoer stroomt via de Nieuwe Waterweg naar zee en een deel stroomt weg via het Haringvliet. Hoe deze verdeling precies ligt is afhankelijk van zowel de Bovenafvoer, de opening van de Haringvlietssluzen en de dimensies van de riviertakken. Verder blijkt uit het Sobek NDB model dat het Spui en de Dordtsche Kil ook een belangrijke rol spelen in de waterhuishouding in het NDB en dus in de chlorideverdelingen in het Haringvliet.

In figuur e.9 worden de restdebieten in het Haringvliet weergegeven als functie van de Bovenrijnafvoer en de eb/vloed opening. In figuur e.10 en tabel e.1 worden de waarden van de punten weergegeven die horen bij de in de figuur getekende verticale lijn bij  $Q_{Br} = 1000 \text{ m}^3/\text{s}$ . Uit dit plaatje blijkt dat het restdebiet niet-lineair toeneemt bij grotere eb/vloed openingen, én dat het restdebiet niet-lineair toeneemt bij grotere Bovenrijnafvoeren.

**Figuur e.9**  
Restdebieten in het Haringvliet bij verschillende eb/vloed openingen en Bovenrijnafvoeren voor het NDB model



**Figuur e.10**  
Restdebiet in het Haringvliet als functie van de eb/vloedopening bij een vaste waarde van de Bovenrijnafvoer



**Tabel e.1**

Restdebiet in het Haringvliet als functie van de eb/vloedopening bij een vaste waarde van de Bovenrijnafvoer

Eb/vloed opening m <sup>2</sup>	Restdebiet HV m <sup>3</sup> /s
0	0
100	80
200	140
300	190
400	240
500	280
600	320

De hoogte van de chlorideconcentratie is, afgezien van de omstandigheden op zee, afhankelijk van een drietal factoren:

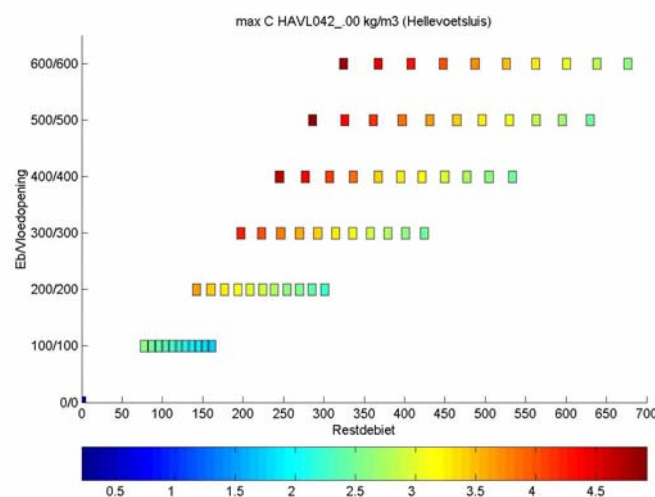
- bovenafvoer;
- restdebiet door het Haringvliet;
- eb/vloed opening van de sluisen.

Bij een gegeven vaste Bovenrijnafvoer is het restdebiet door het Haringvliet gerelateerd aan de eb/vloed opening (zie figuur e.10) en wel op een niet-lineaire manier.

Figuur e.9 kan nu gebruikt worden om een plaatje te maken waarbij het restdebiet door het Haringvliet wordt uitgezet tegen de eb/vloed opening van de Haringvlietssluisen. Dit is gedaan in figuur e.11. De gekleurde blokjes geven de maximale chlorideconcentraties weer bij een bepaald restdebiet en een bepaalde eb/vloedopening. De reden waarom het plaatje niet geheel opgevuld is met blokjes, is omdat er niet meer combinaties zijn in het SOBEK-NDB model. Er zijn 7 verschillende eb/vloed openingen en 11 verschillende Bovenrijnafvoeren ingevoerd, bij elke Bovenrijnafvoer hoort een vast restdebiet, dus zijn er ook 11 restdebieten per eb/vloed opening. Het plaatje is niet geheel opgevuld met kleuren om deze punten goed te kunnen weergeven.

**Figuur e.11**

Geef omschrijving



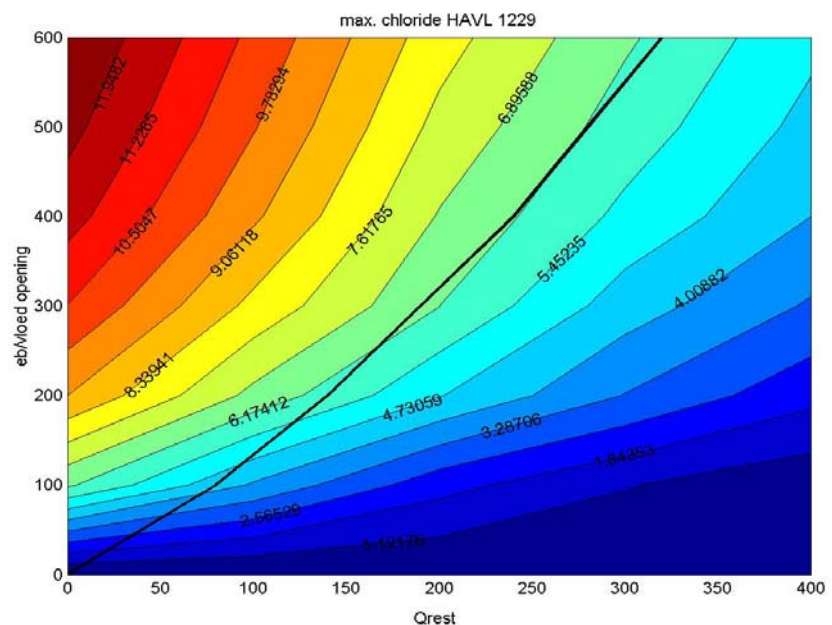
Uit figuur e.11 blijkt dat de chlorideconcentratie toeneemt bij toenemende eb/vloed openingen (denkbeeldige verticale lijn van onder naar boven), en dat de chlorideconcentratie afneemt bij een toenemend restdebiet (horizontale lijn). In dit plaatje is geen terugbuiging van de

zoutindringing waar te nemen. Dat in figuur e.8 wel zoutterugbuiging waar te nemen is en in figuur e.11 niet, ligt aan het feit dat de reststroom door het Haringvliet niet één op één samenhangt met de Bovenrijnafvoer. De zoutterugbuiging is het gevolg van een niet-lineaire verdeling tussen het vloedvolume, reststroom en de Bovenrijnafvoer, en is niet het gevolg van dispersief transport. Dat de zoutterugbuiging niet te wijten is aan dispersief transport, is op te maken uit figuur e.11: bij een vast restdebiet, bijvoorbeeld  $350 \text{ m}^3/\text{s}$ , neemt bij toenemende eb/vloed opening de chlorideconcentratie bij elke stap toe (indien het wel met dispersief transport te maken zou hebben, zou in één van de situaties het chloridegehalte af moeten nemen).

Als laatste is nog een figuur opgenomen, waarbij het resulterend effect op de chlorideconcentratie in beeld wordt gebracht van zowel de toename van de eb/vloed opening als de toename van het restdebiet. Hiertoe is in figuur e.12 de relatie tussen de eb/vloed opening en het restdebiet door middel van een getrokken lijn weergegeven.

Figuur e.12 is wat betreft de kleurenlijnen identiek aan figuur e.4 (simplere model), het geeft de chlorideconcentratie op een bepaald punt weer als functie van de eb/vloed opening en het restdebiet in plaats van de Bovenrijnafvoer. De getrokken lijn in figuur e.12 is afgeleid uit figuur 9 voor een Bovenrijnafvoer van  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ . De bolletjes in figuur e.9 zijn dezelfde punten als de bolletjes in figuur e.12. In figuur e.9 is bij een  $Q_{Br}$  van  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$  en een eb/vloed opening van bijvoorbeeld  $200 \text{ m}^2$ , het restdebiet  $140 \text{ m}^3/\text{s}$  en bij bijvoorbeeld een eb/vloed opening van  $400 \text{ m}^2$  is het restdebiet  $240 \text{ m}^3/\text{s}$ . In figuur e.12 kan men nu voor een  $Q_{Br}$  van  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ , via de getrokken lijn zowel de chlorideconcentratie als het restdebiet als functie van de grootte van de eb/vloed opening aflezen.

**Figuur e.12**  
Chlorideconcentraties als functie van de eb/vloed opening en het restdebiet door het Haringvliet (kleurenlijnen uit simpel Haringvlietmodel (=fig. 4), zwarte lijn uit NDB model voor  $Q_{Br}=1000 \text{ m}^3/\text{s}$  (=fig. 9))



Bijvoorbeeld bij een eb/vloed opening van  $200 \text{ m}^2$  is de chlorideconcentratie ca.  $6 \text{ kg/m}^3$  en het restdebiet  $140 \text{ m}^3/\text{s}$ .

---

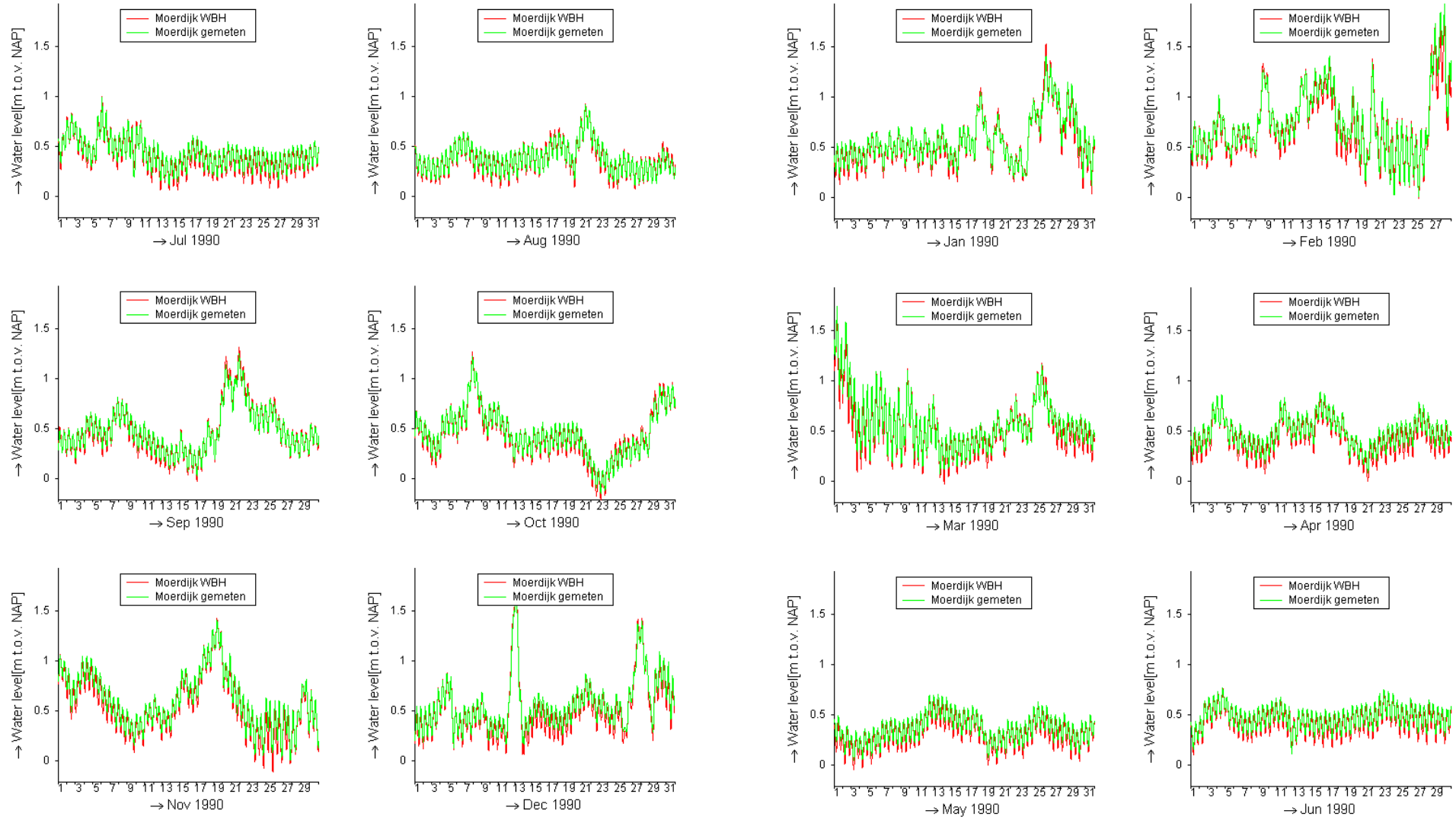
Uit figuur e.12 kan worden afgeleid dat bij een Bovenrijnafvoer van  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$  bij een vergroting van de eb/vloed opening tot circa  $350 \text{ m}^2$  de chlorideconcentratie toeneemt (zie zwarte lijn). Bij verdere vergroting van de eb/vloed opening neemt de chlorideconcentratie weer af. Bij een eb/vloed opening van  $400$  naar  $500 \text{ m}^2$  is te zien dat de chlorideconcentratie afneemt van de groene naar groen/blauwe kleurlijn.

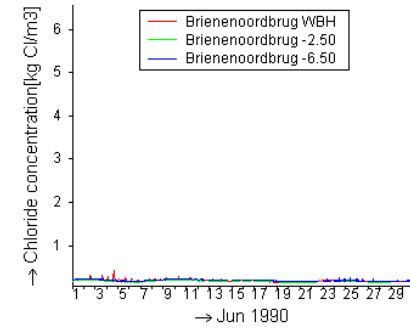
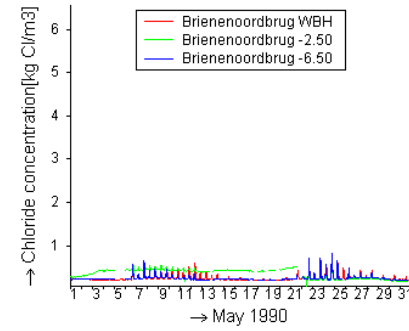
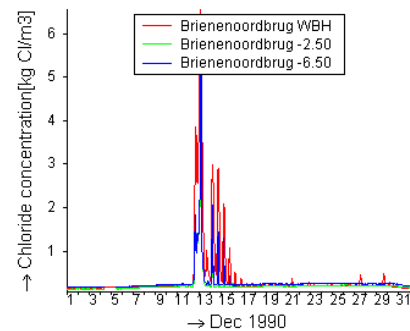
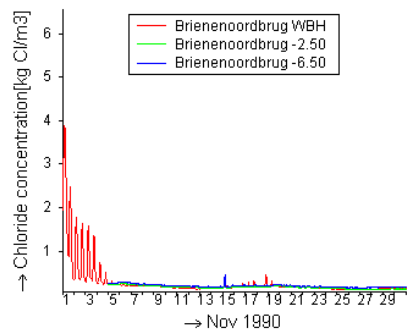
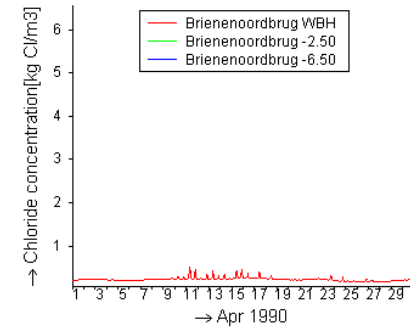
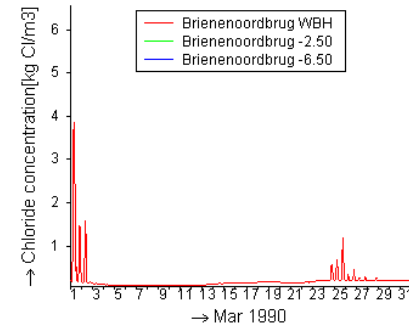
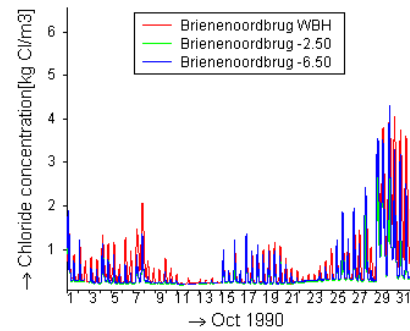
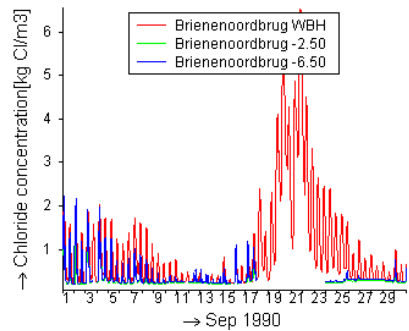
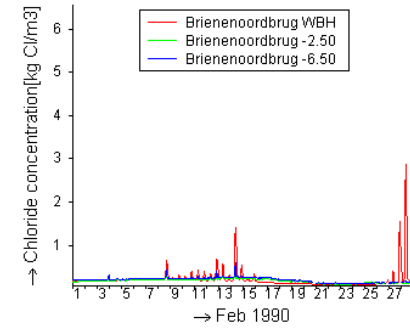
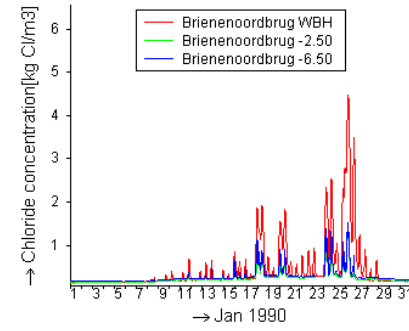
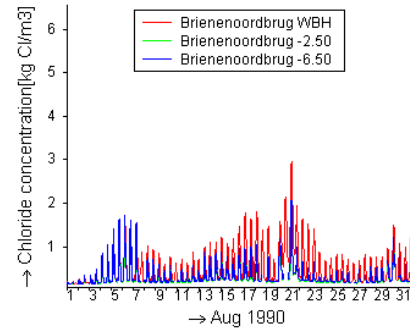
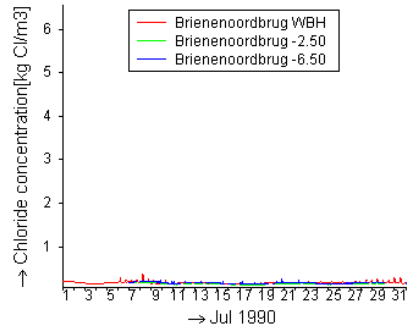
Hieruit blijkt ook dat de verdeling tussen de Bovenafvoer en het rest-debiet over het Haringvliet niet-lineair verloopt met de toename van de eb/vloed openingen, waardoor bij kleine eb/vloed openingen de zee invloed een grotere rol speelt. Indien de eb/vloed openingen groter worden, wordt de invloed van de rivierafvoer groter. Bij dit proces speelt o.a. het Spui ook een rol, evenals de dimensies van de riviertakken.



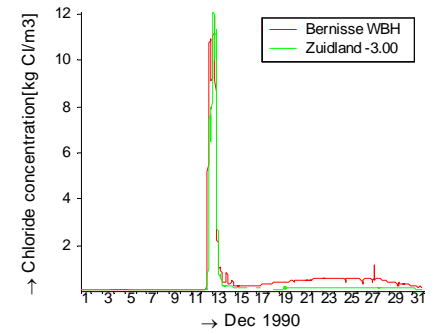
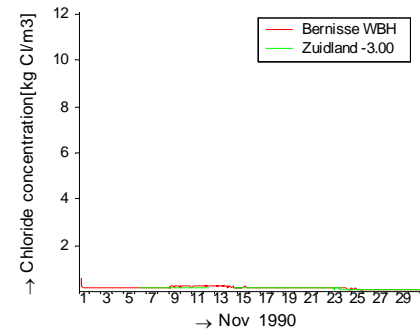
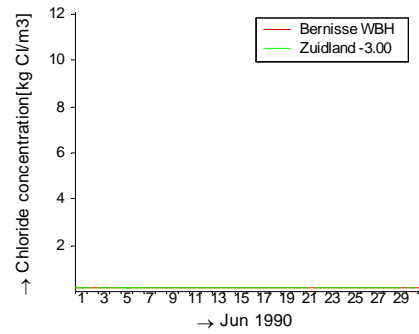
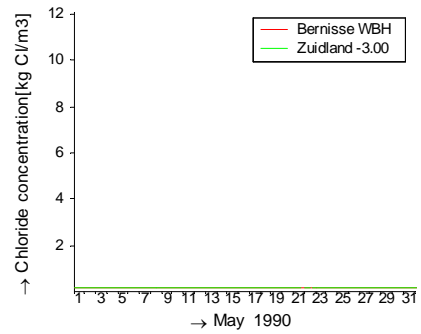
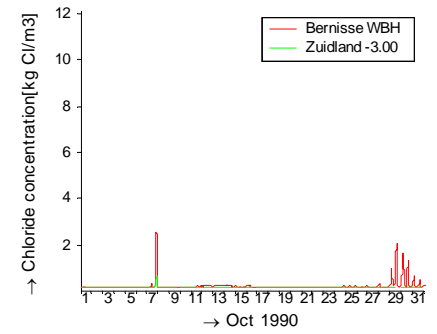
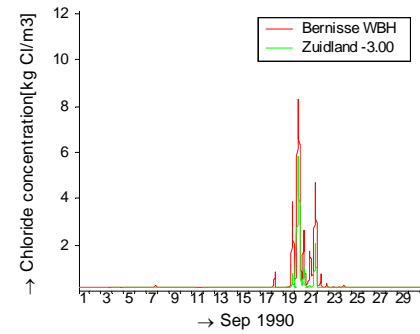
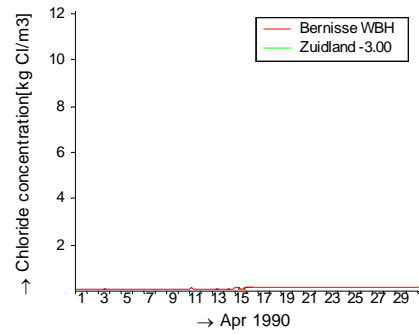
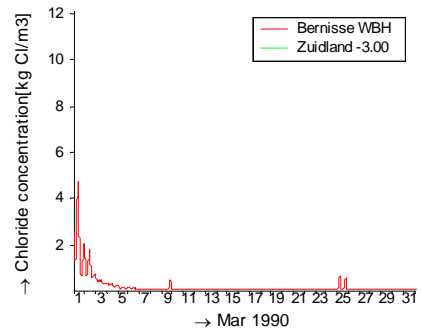
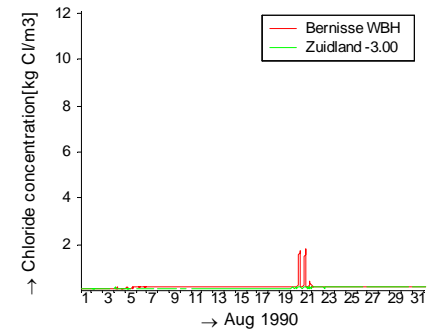
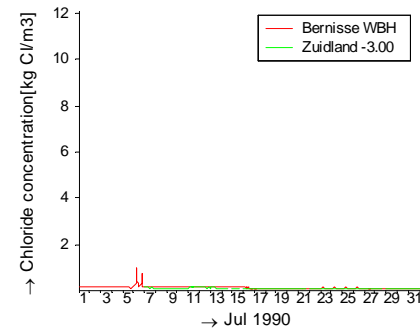
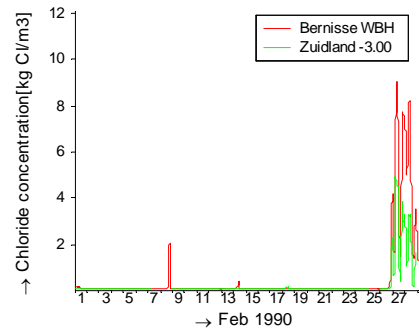
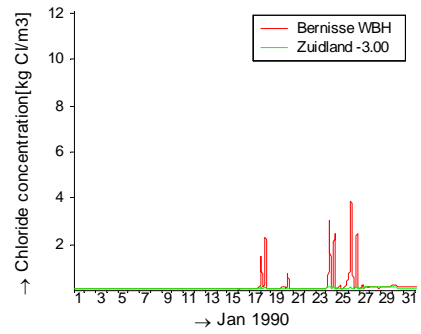
## Bijlage G Vergelijking Werkelijk Beheer en Metingen

Figuur g.1 Waterstanden te Moerdijk uit SOBEK-NDB (rode lijn) en metingen (groene lijn).





**Figuur g.2** Chlorideconcentraties bij de Van Brienenoordbrug uit SOBEK-NDB (rode lijn) en metingen op NAP-2.5 m (groene lijn) en NAP -6.5 m (blauwe lijn)



.....  
**Figuur g.3** Chlorideconcentraties bij Zuidland (inlaat Bernisse) uit SOBEK-NDB (rode lijn) en metingen op NAP-3 m (groene lijn).

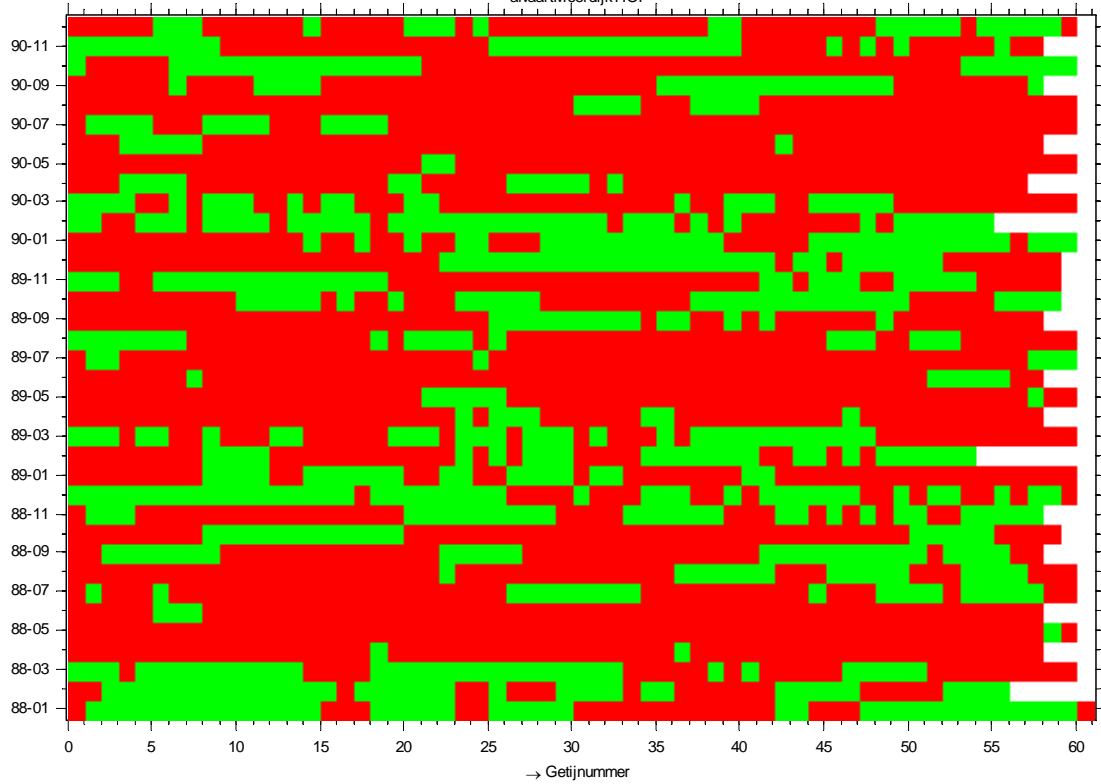
# Bijlage H Verdeling tijpoorten in de tijd

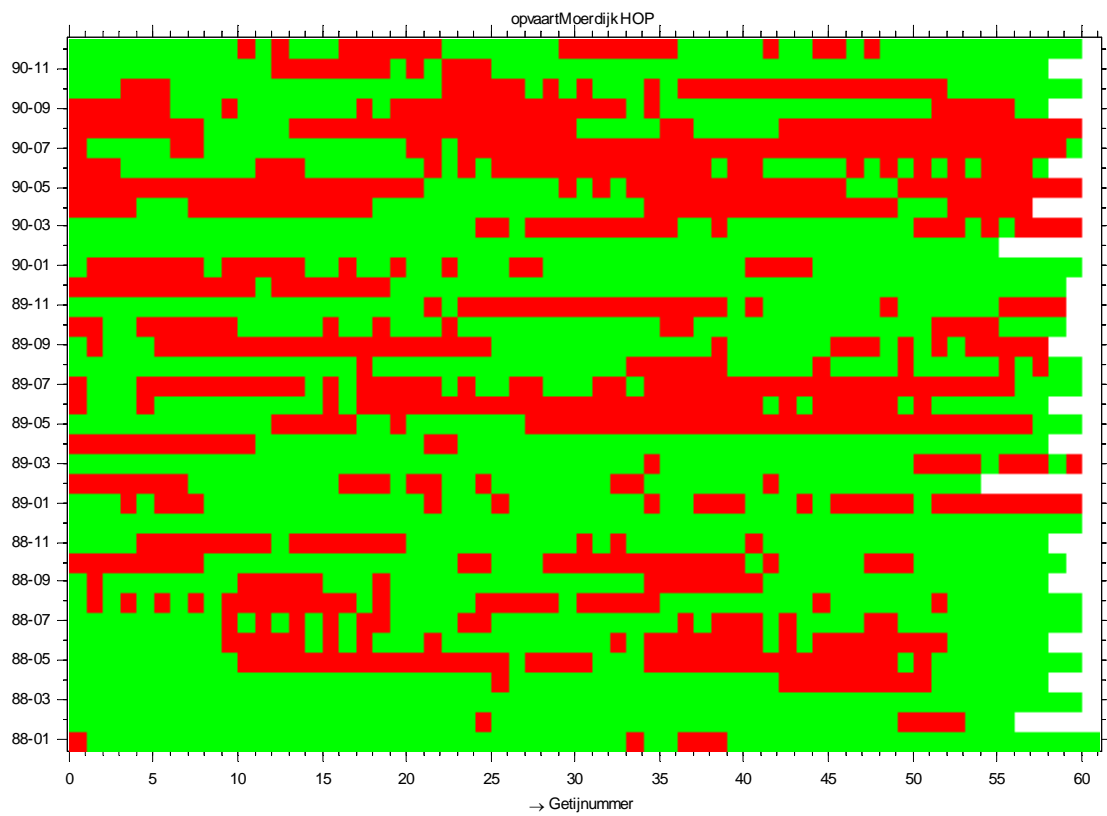
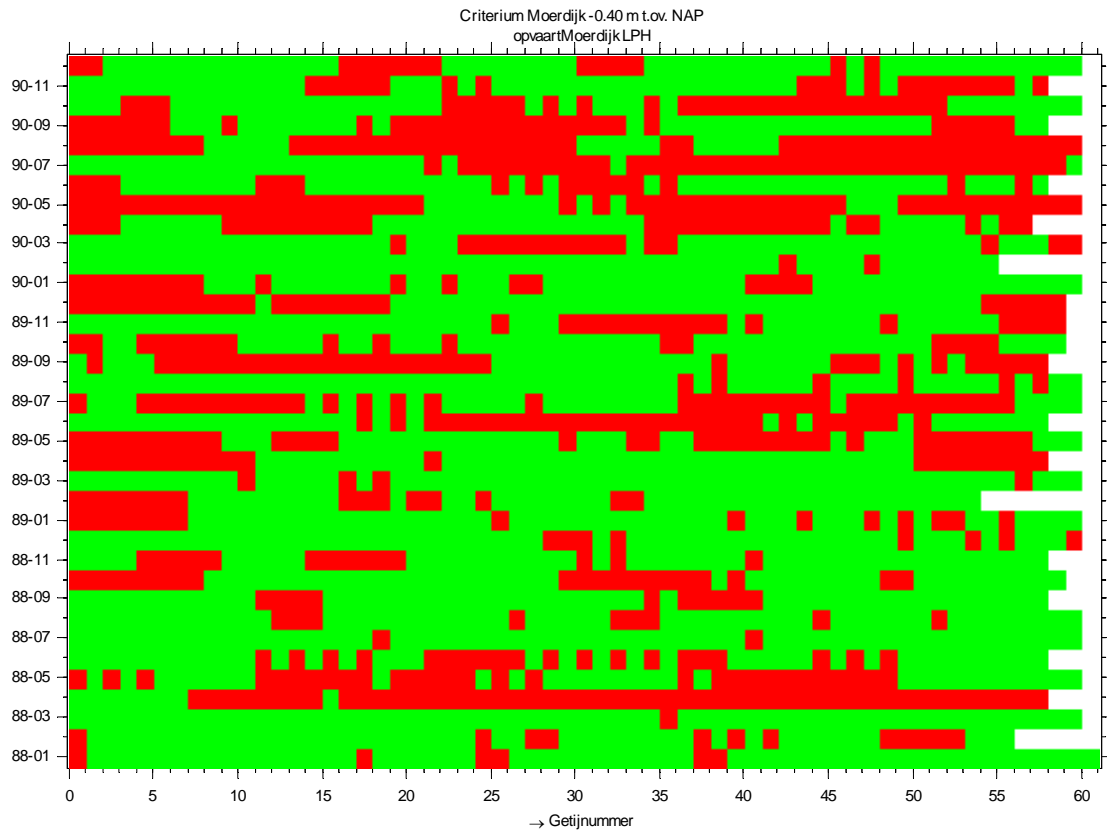


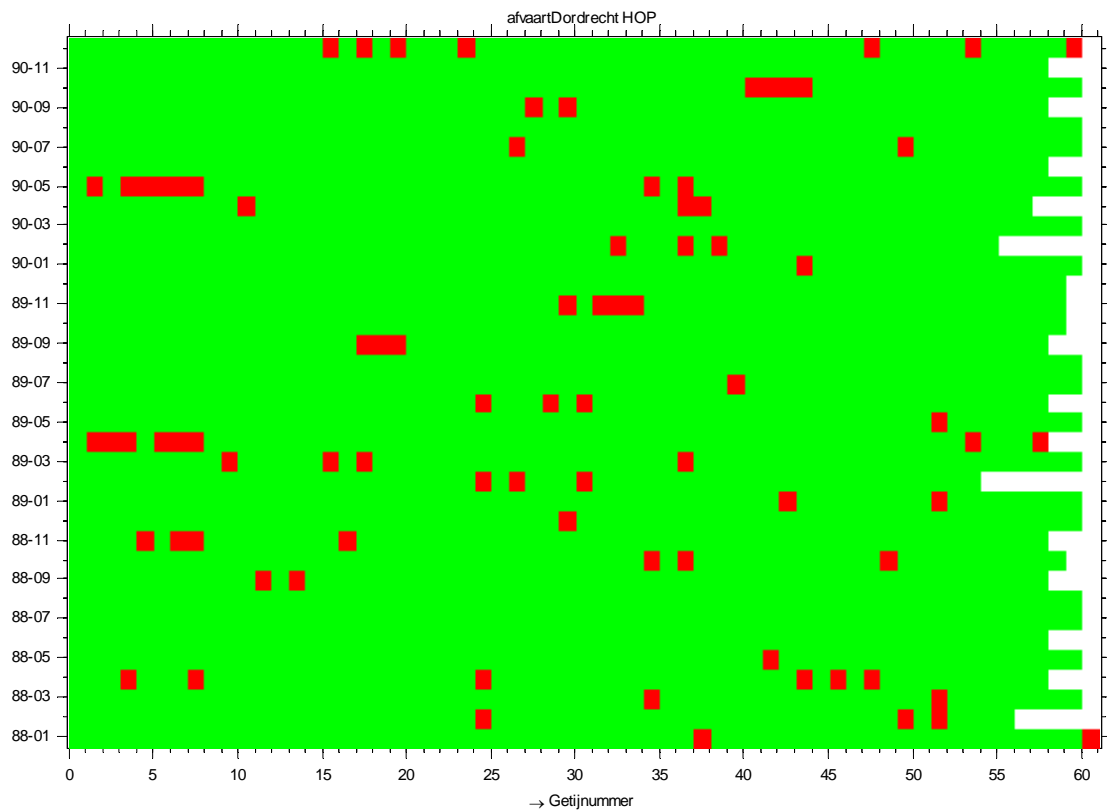
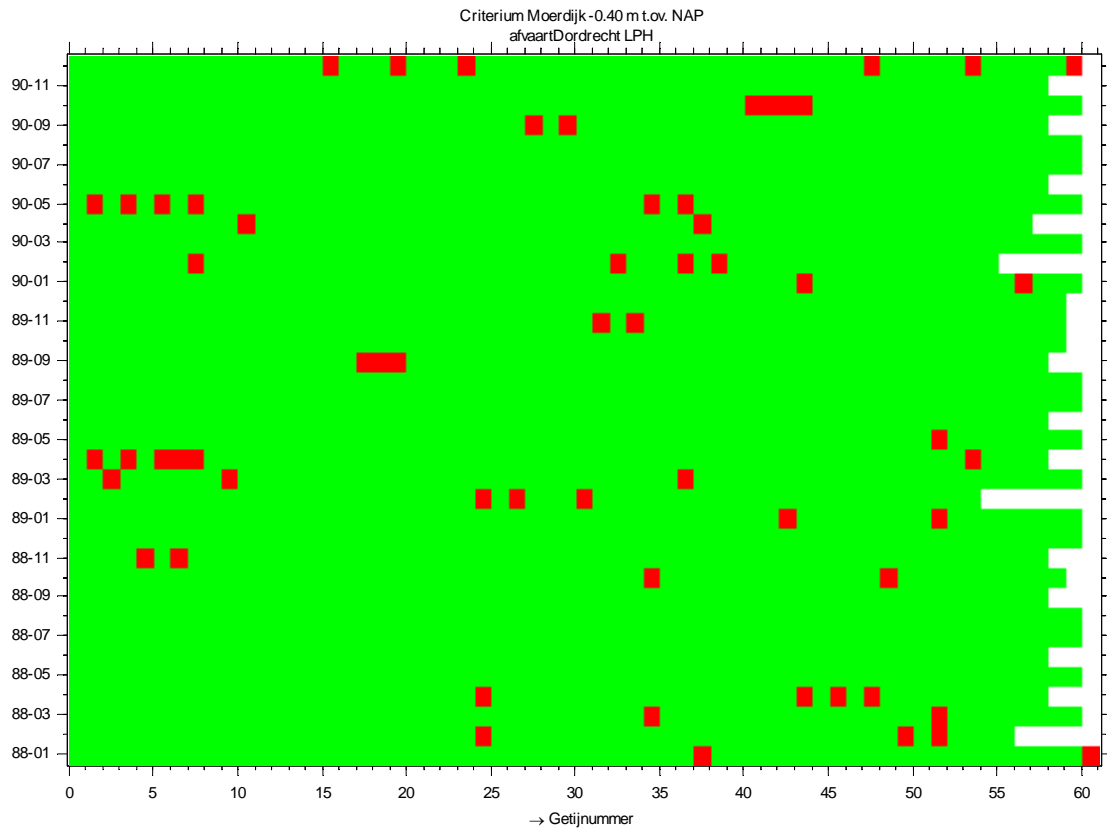
criterium Moerdijk -0.40 m tov. NAP  
afvaartMoerdijk LPH

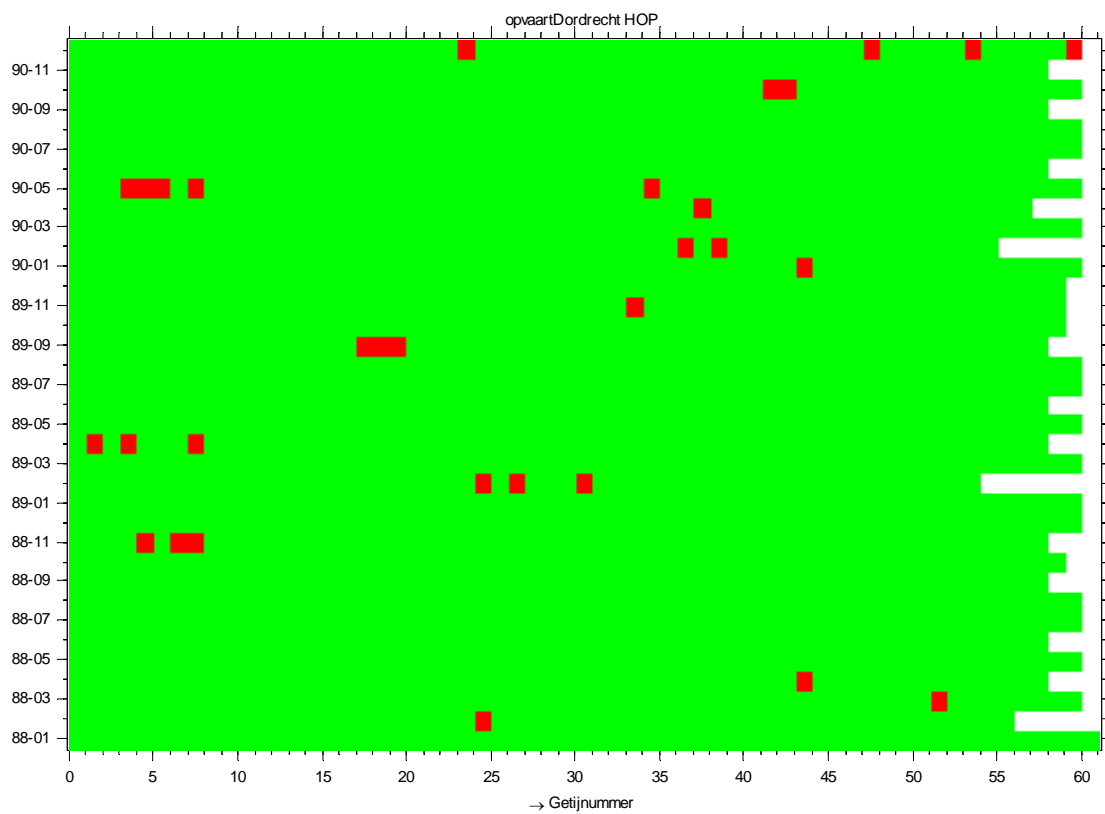
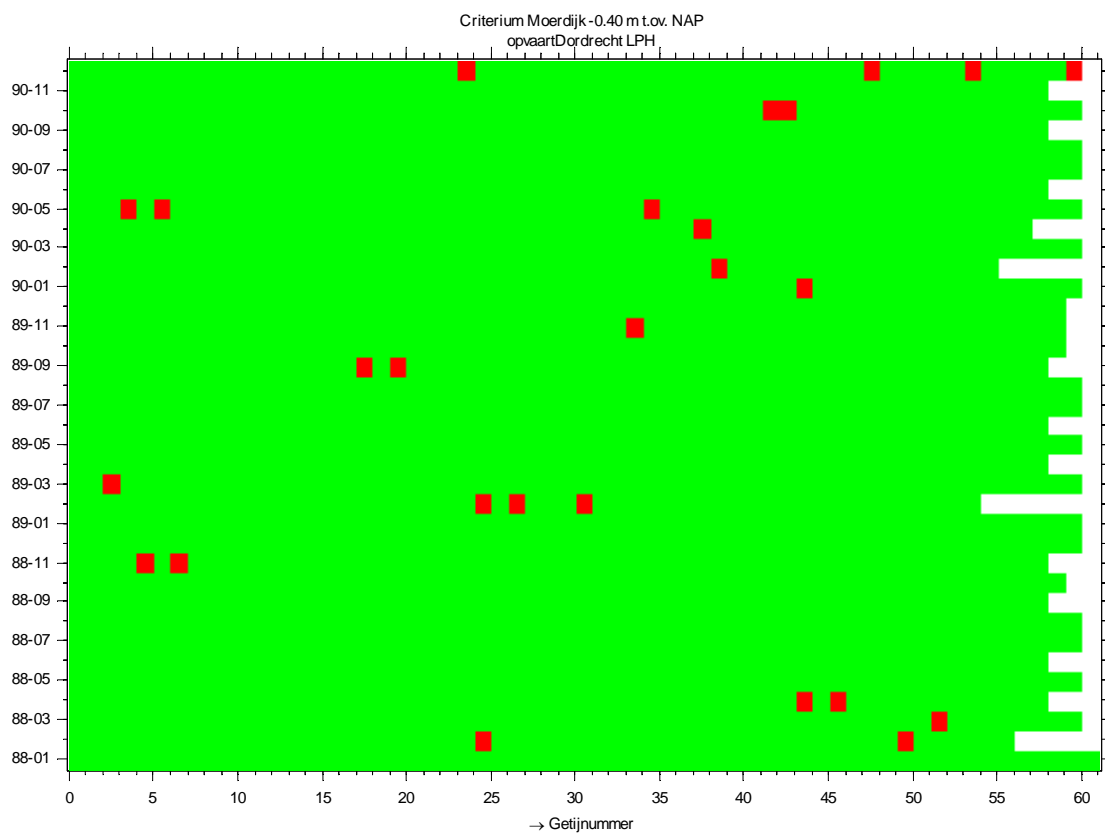


afvaartMoerdijk HOP











## Bijlage I Innamemogelijkheden Evides

Perioden chlorideconcentratie groter resp. kleiner dan de achtergrondconcentratie + 50 mg/l.

I = innemen mogelijk

S = innamestop

Noodinlaat Kralingen. Het voorraadbekken is leeg in 11 uur en kan volledig gevuld worden in 6 uur.

In onderstaande tabellen zijn de innamestops waarbij het voorraadbekken leeg kan raken aangegeven in rood.

**Tabel i.1**  
Innamemogelijkheden volgens case 2

		Van		Tot		Duur
I	01	11/02/1989	00:00	11/02/1989	08:20	8.3
S	02	11/02/1989	08:30	11/02/1989	10:50	2.3
I	03	11/02/1989	11:00	12/02/1989	09:20	22.3
S	04	12/02/1989	09:30	12/02/1989	12:20	2.8
I	05	12/02/1989	12:30	12/02/1989	21:30	9.0
S	06	12/02/1989	21:40	13/02/1989	01:50	4.2
I	07	13/02/1989	02:00	13/02/1989	09:30	7.5
S	08	13/02/1989	09:40	13/02/1989	12:40	3.0
I	09	13/02/1989	12:50	14/02/1989	07:40	18.8
S	10	14/02/1989	07:50	17/02/1989	09:40	73.8
I	11	17/02/1989	09:50	17/02/1989	13:20	3.5
S	12	17/02/1989	13:30	17/02/1989	20:40	7.2
I	13	17/02/1989	20:50	18/02/1989	02:00	5.2
S	14	18/02/1989	02:10	18/02/1989	08:30	6.3
I	15	18/02/1989	08:40	18/02/1989	14:10	5.5
S	16	18/02/1989	14:20	18/02/1989	23:50	9.5
I	17	19/02/1989	00:00	19/02/1989	01:50	1.8
S	18	19/02/1989	02:00	19/02/1989	13:30	11.5
I	19	19/02/1989	13:40	19/02/1989	13:50	0.2
S	20	19/02/1989	14:00	19/02/1989	22:50	8.8
I	21	19/02/1989	23:00	20/02/1989	04:20	5.3
S	22	20/02/1989	04:30	20/02/1989	08:30	4.0
I	23	20/02/1989	08:40	20/02/1989	16:30	7.8
S	24	20/02/1989	16:40	20/02/1989	22:00	5.3

**Tabel i.2**  
Innamemogelijkheden volgens case 2  
lek + 300

		Van		Tot		Duur
I	01	11/02/1989	00:00	11/02/1989	08:20	8.3
S	02	11/02/1989	08:30	11/02/1989	10:50	2.3
I	03	11/02/1989	11:00	12/02/1989	09:20	22.3
S	04	12/02/1989	09:30	12/02/1989	12:20	2.8
I	05	12/02/1989	12:30	12/02/1989	21:30	9.0
S	06	12/02/1989	21:40	13/02/1989	01:50	4.2
I	07	13/02/1989	02:00	13/02/1989	09:30	7.5
S	08	13/02/1989	09:40	13/02/1989	12:40	3.0

		Van		Tot		Duur
I	09	13/02/1989	12:50	14/02/1989	08:00	19.2
S	10	14/02/1989	08:10	16/02/1989	21:30	61.3
I	11	16/02/1989	21:40	17/02/1989	14:40	17.0
S	12	17/02/1989	14:50	17/02/1989	17:30	2.7
I	13	17/02/1989	17:40	18/02/1989	03:20	9.7
S	14	18/02/1989	03:30	18/02/1989	06:00	2.5
I	15	18/02/1989	06:10	18/02/1989	15:00	8.8
S	16	18/02/1989	15:10	18/02/1989	21:10	6.0
I	17	18/02/1989	21:20	19/02/1989	03:10	5.8
S	18	19/02/1989	03:20	19/02/1989	10:00	6.7
I	19	19/02/1989	10:10	19/02/1989	15:40	5.5
S	20	19/02/1989	15:50	19/02/1989	21:10	5.3
I	21	19/02/1989	21:20	20/02/1989	05:50	8.5
S	22	20/02/1989	06:00	20/02/1989	07:00	1.0
I	23	20/02/1989	07:10	20/02/1989	17:00	9.8
S	24	20/02/1989	17:10	20/02/1989	21:10	4.0

**Tabel i.3**  
Innamemogelijkheden volgens case 2  
lek + 600

		Van		Tot		Duur
I	01	11/02/1989	00:00	11/02/1989	08:20	8.3
S	02	11/02/1989	08:30	11/02/1989	10:50	2.3
I	03	11/02/1989	11:00	12/02/1989	09:20	22.3
S	04	12/02/1989	09:30	12/02/1989	12:20	2.8
I	05	12/02/1989	12:30	12/02/1989	21:30	9.0
S	06	12/02/1989	21:40	13/02/1989	01:50	4.2
I	07	13/02/1989	02:00	13/02/1989	09:30	7.5
S	08	13/02/1989	09:40	13/02/1989	12:40	3.0
I	09	13/02/1989	12:50	14/02/1989	08:10	19.3
S	10	14/02/1989	08:20	14/02/1989	19:10	10.8
I	11	14/02/1989	19:20	14/02/1989	20:00	0.7
S	12	14/02/1989	20:10	16/02/1989	06:10	34.0
I	13	16/02/1989	06:20	19/02/1989	05:00	70.7
S	14	19/02/1989	05:10	19/02/1989	07:00	1.8
I	15	19/02/1989	07:10	19/02/1989	17:20	10.2
S	16	19/02/1989	17:30	19/02/1989	19:00	1.5
I	17	19/02/1989	19:10	20/02/1989	17:20	22.2
S	18	20/02/1989	17:30	20/02/1989	20:20	2.8

**Tabel i.4**  
Innamemogelijkheden volgens case 2b

		Van		Tot		Duur
I	01	11/09/1989	00:00	12/09/1989	01:20	25.3
S	02	12/09/1989	01:30	12/09/1989	06:20	4.8
I	03	12/09/1989	06:30	12/09/1989	13:50	7.3
S	04	12/09/1989	14:00	12/09/1989	18:00	4.0
I	05	12/09/1989	18:10	13/09/1989	01:30	7.3
S	06	13/09/1989	01:40	13/09/1989	09:30	7.8
I	07	13/09/1989	09:40	13/09/1989	13:50	4.2
S	08	13/09/1989	14:00	13/09/1989	20:50	6.8
I	09	13/09/1989	21:00	14/09/1989	01:50	4.8
S	10	14/09/1989	02:00	15/09/1989	00:00	22.0

		Van		Tot		Duur
I	11	15/09/1989	00:10	15/09/1989	02:30	2.3
S	12	15/09/1989	02:40	15/09/1989	23:40	21.0
I	13	15/09/1989	23:50	16/09/1989	03:30	3.7
S	14	16/09/1989	03:40	16/09/1989	11:50	8.2
I	15	16/09/1989	12:00	16/09/1989	15:50	3.8
S	16	16/09/1989	16:00	17/09/1989	01:10	9.2
I	17	17/09/1989	01:20	17/09/1989	04:00	2.7
S	18	17/09/1989	04:10	17/09/1989	15:10	11.0
I	19	17/09/1989	15:20	17/09/1989	16:10	0.8
S	20	17/09/1989	16:20	17/09/1989	23:00	6.7
I	21	17/09/1989	23:10	18/09/1989	05:20	6.2
S	22	18/09/1989	05:30	18/09/1989	12:30	7.0
I	23	18/09/1989	12:40	18/09/1989	18:00	5.3
S	24	18/09/1989	18:10	18/09/1989	22:10	4.0
I	25	18/09/1989	22:20	19/09/1989	06:40	8.3
S	26	19/09/1989	06:50	19/09/1989	11:30	4.7
I	27	19/09/1989	11:40	19/09/1989	18:30	6.8
S	28	19/09/1989	18:40	20/09/1989	00:10	5.5
I	29	20/09/1989	00:20	20/09/1989	07:20	7.0
S	30	20/09/1989	07:30	20/09/1989	11:40	4.2
I	31	20/09/1989	11:50	21/09/1989	08:50	21.0
S	32	21/09/1989	09:00	21/09/1989	12:40	3.7
I	33	21/09/1989	12:50	21/09/1989	19:50	7.0
S	34	21/09/1989	20:00	22/09/1989	01:50	5.8
I	35	22/09/1989	02:00	22/09/1989	21:20	19.3

**Tabel i.5**  
Innamemogelijkheden volgens case 2b  
lek + 150

		Van		Tot		Duur
I	01	11/09/1989	00:00	12/09/1989	01:20	25.3
S	02	12/09/1989	01:30	12/09/1989	06:20	4.8
I	03	12/09/1989	06:30	12/09/1989	13:50	7.3
S	04	12/09/1989	14:00	12/09/1989	18:00	4.0
I	05	12/09/1989	18:10	13/09/1989	01:30	7.3
S	06	13/09/1989	01:40	13/09/1989	09:30	7.8
I	07	13/09/1989	09:40	13/09/1989	13:50	4.2
S	08	13/09/1989	14:00	13/09/1989	20:50	6.8
I	09	13/09/1989	21:00	14/09/1989	02:00	5.0
S	10	14/09/1989	02:10	14/09/1989	22:00	19.8
I	11	14/09/1989	22:10	15/09/1989	02:50	4.7
S	12	15/09/1989	03:00	15/09/1989	12:50	9.8 ??
I	13	15/09/1989	13:00	15/09/1989	15:10	2.2
S	14	15/09/1989	15:20	15/09/1989	21:40	6.3
I	15	15/09/1989	21:50	16/09/1989	03:50	6.0
S	16	16/09/1989	04:00	16/09/1989	10:00	6.0
I	17	16/09/1989	10:10	16/09/1989	16:20	6.2
S	18	16/09/1989	16:30	16/09/1989	22:40	6.2
I	19	16/09/1989	22:50	17/09/1989	04:40	5.8
S	20	17/09/1989	04:50	17/09/1989	11:10	6.3
I	21	17/09/1989	11:20	17/09/1989	17:40	6.3
S	22	17/09/1989	17:50	17/09/1989	21:20	3.5

		Van		Tot		Duur
I	23	17/09/1989	21:30	18/09/1989	06:00	8.5
S	24	18/09/1989	06:10	18/09/1989	10:50	4.7
I	25	18/09/1989	11:00	18/09/1989	18:50	7.8
S	26	18/09/1989	19:00	18/09/1989	21:00	2.0
I	27	18/09/1989	21:10	19/09/1989	07:10	10.0
S	28	19/09/1989	07:20	19/09/1989	10:20	3.0
I	29	19/09/1989	10:30	19/09/1989	18:50	8.3
S	30	19/09/1989	19:00	19/09/1989	23:40	4.7
I	31	19/09/1989	23:50	20/09/1989	08:00	8.2
S	32	20/09/1989	08:10	20/09/1989	10:50	2.7
I	33	20/09/1989	11:00	21/09/1989	09:20	22.3
S	34	21/09/1989	09:30	21/09/1989	12:00	2.5
I	35	21/09/1989	12:10	21/09/1989	20:10	8.0
S	36	21/09/1989	20:20	22/09/1989	01:30	5.2
I	37	22/09/1989	01:40	22/09/1989	21:40	20.0

**Tabel i.6**  
Innamemogelijkheden volgens case 2b  
lek + 300

		Van		Tot		Duur
I	01	11/09/1989	00:00	12/09/1989	01:20	25.3
S	02	12/09/1989	01:30	12/09/1989	06:20	4.8
I	03	12/09/1989	06:30	12/09/1989	13:50	7.3
S	04	12/09/1989	14:00	12/09/1989	18:00	4.0
I	05	12/09/1989	18:10	13/09/1989	01:30	7.3
S	06	13/09/1989	01:40	13/09/1989	09:30	7.8
I	07	13/09/1989	09:40	13/09/1989	13:50	4.2
S	08	13/09/1989	14:00	13/09/1989	20:50	6.8
I	09	13/09/1989	21:00	14/09/1989	02:00	5.0
S	10	14/09/1989	02:10	14/09/1989	21:00	18.8
I	11	14/09/1989	21:10	15/09/1989	03:00	5.8
S	12	15/09/1989	03:10	15/09/1989	10:30	7.3
I	13	15/09/1989	10:40	15/09/1989	15:40	5.0
S	14	15/09/1989	15:50	15/09/1989	20:40	4.8
I	15	15/09/1989	20:50	16/09/1989	04:20	7.5
S	16	16/09/1989	04:30	16/09/1989	09:00	4.5
I	17	16/09/1989	09:10	16/09/1989	16:50	7.7
S	18	16/09/1989	17:00	16/09/1989	21:20	4.3
I	19	16/09/1989	21:30	17/09/1989	05:10	7.7
S	20	17/09/1989	05:20	17/09/1989	09:50	4.5
I	21	17/09/1989	10:00	17/09/1989	18:50	8.8
S	22	17/09/1989	19:00	17/09/1989	20:00	1.0
I	23	17/09/1989	20:10	18/09/1989	06:40	10.5
S	24	18/09/1989	06:50	18/09/1989	09:30	2.7
I	25	18/09/1989	09:40	19/09/1989	07:50	22.2
S	26	19/09/1989	08:00	19/09/1989	09:40	1.7
I	27	19/09/1989	09:50	19/09/1989	19:20	9.5
S	28	19/09/1989	19:30	19/09/1989	22:30	3.0
I	29	19/09/1989	22:40	20/09/1989	08:40	10.0
S	30	20/09/1989	08:50	20/09/1989	10:20	1.5
I	31	20/09/1989	10:30	21/09/1989	10:00	23.5
S	32	21/09/1989	10:10	21/09/1989	11:30	1.3

		<b>Van</b>		<b>Tot</b>		<b>Duur</b>
I	33	21/09/1989	11:40	21/09/1989	20:30	8.8
S	34	21/09/1989	20:40	22/09/1989	01:00	4.3
I	35	22/09/1989	01:10	22/09/1989	21:50	20.7

**Tabel i.7**

Innamemogelijkheden volgens case 2b  
lek + 600

		<b>Van</b>		<b>Tot</b>		<b>Duur</b>
I	01	11/09/1989	00:00	12/09/1989	01:20	25.3
S	02	12/09/1989	01:30	12/09/1989	06:20	4.8
I	03	12/09/1989	06:30	12/09/1989	13:50	7.3
S	04	12/09/1989	14:00	12/09/1989	18:00	4.0
I	05	12/09/1989	18:10	13/09/1989	01:30	7.3
S	06	13/09/1989	01:40	13/09/1989	09:30	7.8
I	07	13/09/1989	09:40	13/09/1989	13:50	4.2
S	08	13/09/1989	14:00	13/09/1989	20:40	6.7
I	09	13/09/1989	20:50	14/09/1989	02:00	5.2
S	10	14/09/1989	02:10	14/09/1989	10:20	8.2
I	11	14/09/1989	10:30	14/09/1989	15:00	4.5
S	12	14/09/1989	15:10	14/09/1989	20:00	4.8
I	13	14/09/1989	20:10	15/09/1989	03:30	7.3
S	14	15/09/1989	03:40	15/09/1989	08:50	5.2
I	15	15/09/1989	09:00	15/09/1989	16:40	7.7
S	16	15/09/1989	16:50	15/09/1989	18:50	2.0
I	17	15/09/1989	19:00	16/09/1989	05:20	10.3
S	18	16/09/1989	05:30	16/09/1989	06:50	1.3
I	19	16/09/1989	07:00	21/09/1989	21:10	134.2
S	20	21/09/1989	21:20	21/09/1989	23:50	2.5
I	21	22/09/1989	00:00	22/09/1989	22:00	22.0

### **Algoritme zoetspoelen**

Indien de Haringvlietsluizen worden bediend volgens het spuiprogramma HOP2008 (De Kier) wordt er zoetgespoeld zodra de actuele afvoer bij Lobith onder de 1500 m<sup>3</sup>/s daalt en de verwachting is dat de afvoer tenminste 7 dagen onder de 1500 m<sup>3</sup>/s zal blijven. Indien het moment van onderschrijding middenin een spuiperiode valt, dan wordt verondersteld dat de beslissing tot zoetspoelen genomen wordt bij het begin van de betreffende spuiperiode. Er wordt dan dus gedurende de gehele spuiperiode zoetgespoeld.

Na het zoetspoelen treedt het bedieningsprogramma volgens HOP versie 4 buiten werking. Er wordt geen water via de Haringvlietsluizen ingelaten. Zolang de afvoer bij Lobith zoals deze 24 uur voorafgaand was boven de 1200 m<sup>3</sup>/s blijft, wordt nog wel gespuid met (niet meer dan) 25 m<sup>2</sup>.

Zodra de actuele afvoer bij Lobith weer boven de 1500 m<sup>3</sup>/s stijgt en de verwachting is dat de afvoer tenminste 7 dagen boven de 1500 m<sup>3</sup>/s zal blijven wordt weer begonnen de sluizen volgens HOP versie 4 te besturen. Is de verwachting dat de afvoer binnen 7 dagen weer lager dan 1500 m<sup>3</sup>/s wordt, dan worden alleen gespuid met een opening van 25 m<sup>2</sup>.

### **Werkwijze zoetspoelen 180 Mm<sup>3</sup>**

Er wordt zoetgespoeld gedurende 6 spuiperioden. De spuiopening neemt in deze 6 spuiperioden stapsgewijs af. De sluisopening wordt zo gekozen dat het spuivolume in de opvolgende spuiperioden achtereenvolgens 70, 40, 30, 20, 12 en 8 Mm<sup>3</sup> bedraagt. Dit wordt bereikt door spuiopeningen van achtereenvolgens ongeveer 750 m<sup>2</sup>, 400 m<sup>2</sup>, 300 m<sup>2</sup>, 250 m<sup>2</sup>, 150 m<sup>2</sup>, 100 m<sup>2</sup>. Bij elke zoetspoelperiode worden deze spuiopeningen echter aangepast aan de omstandigheden, zodanig dat een totaal ebvolume door de sluizen wordt bereikt dat bovengenoemde reeks benaderd en maximaal 2.5 Mm<sup>3</sup> afwijkt van de beoogde 180 Mm<sup>3</sup>.

### **Automatisch zoetspoelen**

Onderstaand wordt stapsgewijs beschreven hoe een Sobek jaarsom met bediening van de Haringvlietsluizen volgens LPH84 kan worden omgezet in een jaarsom met bediening volgens HOP2008 met zoetspoelen.

### **Het aanmaken van de basiscase**

Start Sobek.

Open de LPH84 case met 'Open as new'. De nieuwe case wordt de *basiscase* voor de zoetspoelberekening. Geef de case een zinnige naam.

Open de 'Model schematisation'. Ga naar 'Structures' en kies vervolgens 'Controllers'. Kies de Hvl\_Open\_Contr en stel deze in als in figuur j.1.

Figuur j.1

The 'Controller' dialog box is shown with the following settings:

- Name: Hvl\_Open\_Contr
- Control update: 1 nr. of time steps
- Controlled parameter: Gate Height [m]
- Control type: Hydraulic (with Edit... button)
- Trigger 1 used:  Hvl\_OpenVerval\_Trigge
- Trigger 2 used:
- Trigger 3 used:
- Trigger 4 used:

Kies Edit en stel in als in figuur j.2.

Figuur j.2

The 'Hydraulic control type' dialog box is shown with the following settings:

- Control Parameter: Discharge [m3/s]
- Control table: Edit...
- Time lag: 86400 sec

Position	Used	Branch	Location
	<input checked="" type="checkbox"/>	WAAL041	0
	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>		

Kies weer Edit, vervolgens Load table en laad het tekstbestand met de HOP-hefhoogten voor spuien. Kies Openen. Zet de 'Interpolation Method' op 'Block'. Druk 2 maal op Ok en dan op Confirm.

---

Stel de Hvl\_Sluit\_Contr op dezelfde wijze in, maar dan met Hvl\_SluitVerval\_Trigger en het bestand met de HOP-hefhoogten voor inlaten.

Controleer dat er uitvoer gegenereerd wordt voor de structure Hvl\_1 in struchis.his, en dat de Total discharge voor het gridpunt HAVL042\_6411 wordt uitgevoerd naar flowhis.his. Alle data moeten met een 10 minutentijdstap worden uitgevoerd.

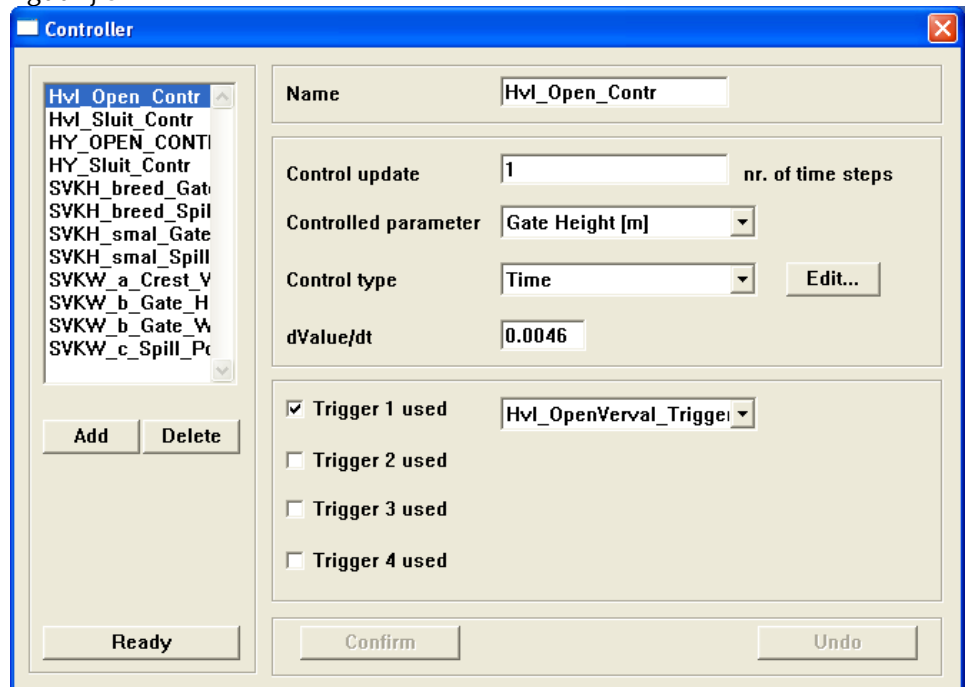
Kies File=>Save Model, dan File=>Exit, voer dan de berekening uit, bewaar de case en sluit deze.

### Het aanmaken van de zoetspoelcase

Open de basiccase met 'Open as new'. De nieuwe case wordt de zoetspoelcase voor de zoetspoelberekening. Geef de case een zinvolle naam.

Open de 'Model schematisation'. Ga naar 'Structures' en kies vervolgens 'Controllers'. Kies de Hvl\_Open\_Contr en stel deze in als in figuur j.3.

Figuur j.3



Kies Continuous als Interpolation Methode. De inhoud van de time controller is niet van belang. Kies Ok en vervolgens Confirm. Kies File=>Save Model, dan File=>Exit, bewaar de case en sluit deze.

### Klaarzetten Qbr-bestand

Maak een tekstbestand met daarin de afvoer bij Lobith volgens het onderstaande formaat.

```
"1949/03/23;00:00:00" 2447.46  
"1949/03/24;00:00:00" 2244.35  
"1949/03/25;00:00:00" 2061.55
```

De tijdstap van de gegevens is niet van belang. De periode tussen de eerste en laatste regel moet tenminste de periode beslaan waarover het model rekent, dus inclusief de inspeelperiode. Voor een juiste



---

bepaling van de zoetspoelperioden is het wenselijk ook tenminste de eerste 7 dagen van het volgende jaar op te geven.

### **Automatisch zoetspoelen**

Benodigdheden:

De bovenbeschreven basiscase en zoetspoelcase

Het bovenbeschreven Qbr-bestand

Matlab

De volgende bestanden: zoetspoelen.m, sbkCaseList.m, sbkStartSim.m

De directory sbkSimInp met de invoerbestanden voor de gebruikte

Sobeksim-versie

Voorbeeld starten zoetspoelberekening vanuit Matlab:

```
project = 'D:\Sobek252\Model\RVZV.SBK';  
jaar = 1976;  
qbrBestand = 'D:\sommen_rvzv\q-lobith-76-KNMI.dat';  
basiscase = '1976 - Droog KNMI -afgeleid van huidig -  
zsbasis';  
zoetspoelcase = '1976 - Droog KNMI -afgeleid van  
huidig - zs180';  
zoetspoelen(jaar,qbrBestand,project,basiscase,zoetspoel  
lcase);
```

Er wordt gerekend in de zoetspoelcase, de basiscase blijft onaangetast. Hieruit worden alleen de resultaten gelezen. Aangezien er meerdere iteraties nodig zijn, neemt de zoetspoelberekening meerdere uren in beslag. Na elke iteratie wordt in matlab uitvoer gepresenteerd die een indruk geeft van de voortgang.

Na voltooiing van de berekening wordt in de case-directory een verslag geschreven in het bestand zoetspoelen-<jaar>.txt. Tevens wordt voor iedere zoetspoelperiode een figuur gemaakt van het spuiopening en debiet tijdens het spoelen. Deze figuren worden bewaard in de bestanden zoetspoelen-<jaar>-<n>.fig.