

WENSELIJKHEID EN HAALBAARHEID VAN VERWIJDERING VAN DE ROZENBURGSE SLUIS

DEELSTUDIE 1 – NUT EN NOODZAAK

MEI 2002

AFSTUDEERONDERZOEK UITGEVOERD DOOR: L.A.W. VAN ROOIJEN

student aan de Technische Universiteit Delft, afd. Civiele Techniek,
onder auspiciën van het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam,
in samenwerking met het Rijksinstituut voor Kust en Zee



Afstudeerbegeleiders:

Prof. Ir. H. Ligteringen

Ir. R. Groenveld

Ir. M. Mooij

Dr. Ir. M. Zijlema

Technische Universiteit Delft

Technische Universiteit Delft

Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam

Technische Universiteit Delft, Rijksinstituut voor Kust en Zee

Voorwoord

Dit rapport betreft deelstudie 1 van het afstudeeronderzoek van Leonoor van Rooijen, student Civiele Techniek aan de Technische Universiteit Delft. Deelstudie 1 is uitgevoerd in opdracht van het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam (GHR) in de periode februari – mei 2002.

Deelstudie 1 onderzoekt of de Rozenburgse sluis thans nog zijn primaire functies vervuld en de mogelijkheden van het verwijderen van de sluis en het realiseren van een open vaarverbinding ter plaatse. In deelstudie 2 wordt ingegaan op de veranderingen op het stroombeeld ter plaatse van de Rozenburgse sluis en de invloed op de zoutindringing. Dit onderzoek staat beschreven in het rapport “Wenselijkheid en haalbaarheid van verwijdering van de Rozenburgse sluis, Deelstudie 1 – Hydraulische aspecten”, door Leonoor van Rooijen, sept. 2002.

Het afstudeerwerk van deelstudie 1 is begeleid door Ir. M. Mooij Senior Beleidsadviseur, afdeling Maritime Development van het GHR en als afstudeeronderzoek ter goedkeuring voorgelegd aan Prof. Ir. H. Ligteringen en Ir. R. Groenveld van de Faculteit Civiele Techniek afdeling Waterbouw van de Technische Universiteit Delft en Dr. Ir. M. Zijlema van de Faculteit Civiele Techniek afdeling Vloeistofmechanica van de Technische Universiteit Delft.

Samenvatting

De Rozenburgse sluis verbindt sinds 1971 het Hartelkanaal en het Calandkanaal voor de binnenvaartschepen. De primaire functies van de Rozenburgse sluis en de Rozenburgse sluisbruggen zijn: waterkerend als deel van de beschermstrook, scheiding van zoetwater uit het Hartelkanaal en zoutwater uit het Calandkanaal, en het bieden van een alternatieve wegverbinding van de Botlek naar de Europoort;

Door een drietal ontwikkelingen zijn deze functies grotendeels overbodig geworden. Ten eerste heeft de Europoortkering als deel van de Primaire Waterkering de functie van de beschermstrook overgenomen. Ten tweede zal de Calandbrug de functie als alternatieve verbindingroute tussen de Botlek en de Europoort voor het wegverkeer overnemen na ingebruikname van de Calandtunnel in 2003. Dit geldt echter niet voor het vervoer gevaarlijke stoffen. Ten derde is met het openbreken van de Beerdam het water op het Hartelkanaal zout geworden, waardoor de Rozenburgse sluis in de huidige situatie geen directe zoetzoutwaterscheidende functie meer vervult. Onduidelijk is echter wat de invloed van de sluis is op de zoutindringing op de Oude Maas en de daarmee gepaard gaande verziltingproblematiek.

Indien ervan wordt uitgegaan dat de sluis met betrekking tot de zoutindringing op de Oude Maas geen functie meer vervult is de Rozenburgse sluis overbodig geworden. In dat geval zou het mogelijk kunnen zijn om de Rozenburgse sluis te verwijderen en een open verbinding te creëren tussen het Hartelkanaal en het Calandkanaal.

De vraag is of het nautisch, economisch en milieutechnisch interessant is voor het GHR om de Rozenburgse sluis te verwijderen en een vrije doorgang voor de scheepvaart te generen. Het maken van een open verbinding ter plaatse van de Rozenburgse sluis heeft gevolgen voor de scheepvaart, waterbeweging en waterkwaliteit, waterbodem, infrastructuur, natuur en landschap.

Door het verwijderen van de Rozenburgse sluis en het maken van een vrije doorvaartopening verbetert de vaarroute met bestemming Europoort, alsmede de achterlandverbinding via het Calandkanaal naar de Maasvlakte. Hierdoor wordt een goede alternatieve ontsluitings- en calamiteitenroute voor het Hartelkanaal geboden. Wel zal door een toename van het aantal binnenvaartschepen op het Calandkanaal zeevaart en binnenvaart meer hinder van elkaar ondervinden. Nautische overwegingen geven geen directe aanleiding om een open vaarverbinding tot stand te brengen, maar hebben wel baad bij een verbeterde achterlandverbinding.

Evenals op het Beerkanaal zijn op het Hartelkanaal lokaal sterke stromingen ontstaan, waar zowel de zeevaart als de binnenvaart grote hinder van ondervinden. Voorspeld wordt dat door het maken van een open vaarwegverbinding de stroomsnelheden in het Hartelkanaal bij het Beergat zullen halveren. Dit is een zeer positieve ontwikkeling voor de scheepvaart. Een bijkomend nadeel echter is dat door de nieuwe verbinding bij de Rozenburgse sluis stromingen zullen ontstaan waar de scheepvaart ook hinder van zal ondervinden.

In het Hartelkanaal, ten westen van de Suurhoffbrug, zijn ten gevolge van de stromingen erosiekuilen ontstaan. Indien de stroming daar zal halveren heeft dit gunstige gevolgen, aangezien minder bodembescherming toegepast hoeft te worden. Ter plaatse van de open Rozenburgse sluis, zal echter ook bodemerosie gaan plaatsvinden als gevolg van de stromingen door de nieuwe open verbinding.

De open verbinding van het Hartelkanaal met het Calandkanaal heeft toenemende verzilting van het Hartelkanaal tot gevolg, hetgeen geen nadelige consequenties heeft voor het kanaal zelf. Wel kan een zouter Hartelkanaal een toename van zoute kwel naar het Brielse Meer tot gevolg hebben. Niet bekend is in hoeverre dit acceptabel is.

Daarnaast is te verwachten dat een toenemende verzilting van het Hartelkanaal invloed heeft op het zoutgehalte van het water op de Oude Maas. De kwaliteit van het water in de Oude Maas is van belang voor de waterkwaliteit van het Brielse Meer en de Bernisse, welk water gebruikt wordt voor agrarische doeleinden. Onduidelijk is in hoeverre deze verzilting zal optreden en of dit een acceptabel gevolg is.

Als gevolg van een open verbinding ter plaatse van de Rozenburgse sluis wordt weinig verandering verwacht van de MHW op het Hartelkanaal. Als gevolg van de open Rozenburgse sluis kunnen op het Hartelkanaal hogere seiches voorkomen. Hierdoor nemen de vereiste dijkhoogtes langs het Hartelkanaal toe.

Indien een open doorvaartverbinding tussen het Calandkanaal en het Hartelkanaal wordt aangelegd, gaat een extra wegverbinding tussen de Botlek en de Europoort verloren. Het is niet noodzakelijk om een nieuwe wegverbinding ter plaatse van de Rozenburgse sluis aan te leggen.

Door de aanleg van de Calandtunnel vervalt de functie 'omleidingsroute voor wegverkeer' van de bruggen over de sluis. Dit geldt echter niet voor het(brom)fietsverkeer en vervoer explosief gevaarlijke stoffen, aangezien zij geen gebruik mogen maken van de Calandtunnel. In geval van een calamiteit op de brug kunnen zij worden omgeleid via de Hartelbrug en de Harmsenbrug. De brandweer en politie verliezen een directe verbindingroute, bij het verwijderen van de Rozenburgse brug. Zij kunnen echter omrijden via de N15.

Het verwijderen van de sluis en het natuurlijk herinrichten van dit gebied, door middel van een open vaarverbinding, is vanuit landschappelijk oogpunt gezien een positieve ontwikkeling.

De kosten van het verwijderen van de sluis en het maken van een nieuwe kanaalverbinding zijn ongeveer 10% méér dan de kosten van het behoud van de sluis tot en met 2020. Verwacht wordt dat de bijkomende kosten (bodembescherming, economische schade e.d.) in geval van behouden van de sluis groter zullen zijn dan het verwijderen van de sluis.

Geconcludeerd wordt dat uit het oogpunt van logistieke verbetering voor de scheepvaart en operationele-kostenbesparing, het interessant is voor het GHR om de Rozenburgse sluis te verwijderen en een open verbinding ter plaatse te realiseren. Hierbij is de kanttekening geplaatst dat deze verbinding kan worden gerealiseerd mits aangetoond kan worden dat de hydraulische gevolgen acceptabel zijn met betrekking tot de scheepvaart in het Hartelkanaal en Calandkanaal en verziltingproblematiek in de Oude Maas.

Inhoud

VOORWOORD	3
SAMENVATTING	4
1. INLEIDING	8
2. FUNCTIE ROZENBURGSE SLUIS	9
2.1. HUIDIGE SITUATIE ROTTERDAMS HAVENGEBIED.....	9
2.2. GESCHIEDENIS VAN DE ROZENBURGSE SLUIS	10
2.3. ONTWIKKELINGEN M.B.T. DE FUNCTIE VAN DE ROZENBURGSE SLUIS.....	11
2.3.1. Europoortkering	11
2.3.2. Openbreken Beerdam	11
2.3.3. Calandbrug en aanleg Calandtunnel	12
2.4. HUIDIGE FUNCTIE ROZENBURGSE SLUIS.....	12
3. SCHEEPVAART	14
3.1. VERKEERSONTWIKKELING BINNENVAART	14
3.2. ROZENBURGSE SLUIS ALS KNELPUNT.....	15
3.3. ALTERNATIEVE ACHTERLANDVERBINDING MAASVLAKTE	17
3.4. CAPACITEIT VAN HET HARTELKANAAL	19
3.5. BINNENVAARTONTSLUITING MAASVLAKTE II	22
3.6. BRUGHOOGTES IN HET HARTELKANAAL.....	22
3.7. COMBINATIE ZEEVAART EN BINNENVAART	24
3.8. CALAMITEITEN OP HET HARTELKANAAL	25
3.9. CONCLUSIE SCHEEPVAART	25
4. HYDRAULISCHE ASPECTEN	26
4.1. STROMING	26
4.1.1. Stroming ten gevolge van de open Beerdam	26
4.1.2. Stroming ter plaatse van de Rozenburgse sluis	27
4.2. WATERKWALITEIT	28
4.2.1. Verzilting Hartelkanaal	29
4.2.2. Verzilting Oude Maas.....	30
4.3. WATERSTANDEN	31
4.4. SEICHES	32
4.5. CONCLUSIE HYDRAULISCHE ASPECTEN	32
5. INFRASTRUCTUUR EN BOUWWERKEN	33
5.1. OMLEIDINGSROUTE VAN DE CALANDBRUG	33
5.2. VLUCHTRROUTE HAVENTERREINEN HUNTSMAN, WESTELIJKE BOTLEK	34
5.3. ZINKERS	34
5.4. BOUWWERKEN BIJ DE ROZENBURGSE SLUIS	34
5.5. CONCLUSIE INFRASTRUCTUUR EN GEBOUWEN	34
6. OVERIGE ASPECTEN	35
6.1. WATERBODEM.....	35
6.2. NATUUR EN LANDSCHAP	35
7. KOSTEN	36
7.1. KOSTEN BEHOUD SLUIS.....	36
7.2. KOSTEN VERWIJDEREN SLUIS	38
7.3. CONCLUSIE KOSTEN	39
8. EVALUATIE BETROKKEN ASPECTEN	40
9. CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	43

LITERATUURLIJST	45
LIJST VAN FIGUREN	46
LIJST VAN TABELLEN	46
LIJST VAN GRAFIEKEN	47
LIJST VAN APPENDICES	47

1. Inleiding

De Rozenburgse sluis verbindt het Hartelkanaal en het Calandkanaal voor de binnenvaart-schepen. Sinds de ingebruikname van deze sluis in 1971 heeft een aantal veranderingen plaatsgevonden in het westelijke deltagebied welke invloed hebben op het huidige nut en de noodzaak van de Rozenburgse sluis. De belangrijkste veranderingen zijn de aanleg van de Europoortkering in 1997, het doorbreken van de Beerdam in 1997 en de bouw van de Calandtunnel (geplande oplevering in 2003). Door deze veranderingen is de vraag gerezen welke functie(s) de Rozenburgse sluis in de toekomst kan blijven vervullen.

Deelstudie 1 onderzoekt of de Rozenburgse sluis nog beantwoordt aan haar oorspronkelijke doelstellingen en beschouwd enkele nautische, hydraulische en economische aspecten welke bepalend kunnen zijn m.b.t. de vraag van het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam (GHR) of de sluis al dan niet kan en moet worden verwijderd waardoor een vrije doorgang voor de scheepvaart wordt gecreëerd. De tijdshorizon van deze studie is tot en met 2020.

Hoofdstuk 2 beschrijft de oorspronkelijke doelstellingen van de Rozenburgse sluis. In hoofdstuk 3 - 7 worden de aspecten behandeld, welke betrekking hebben op het al dan niet verwijderen van de sluis. Gekeken wordt naar de invloed van en op de scheepvaart, de hydraulische situatie, infrastructuur, gebouwen, waterbodembodem, natuur en landschap en de kosten van het behoud en het verwijderen van de sluis. Van deze argumenten wordt bepaald of deze wel of niet voor- dan wel tegenargumenten zijn om de sluis te verwijderen. Een afweging m.b.t. het toekomstig nut en de noodzaak van de Rozenburgse sluis worden gegeven in hoofdstuk 8. Hieruit volgt de conclusie.

Informatie voor dit onderzoek is vergaard aan de hand van literatuurstudies en interviews met binnenvaartorganisaties (Koninklijke Schippers Vereniging Schuttevaer en Vereniging van Sleep- en Duwbooteigenaren Rijn en IJssel), medewerkers van het Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam (GWR) en medewerkers van het GHR. De informatie uit deze interviews is te lezen in de appendix.

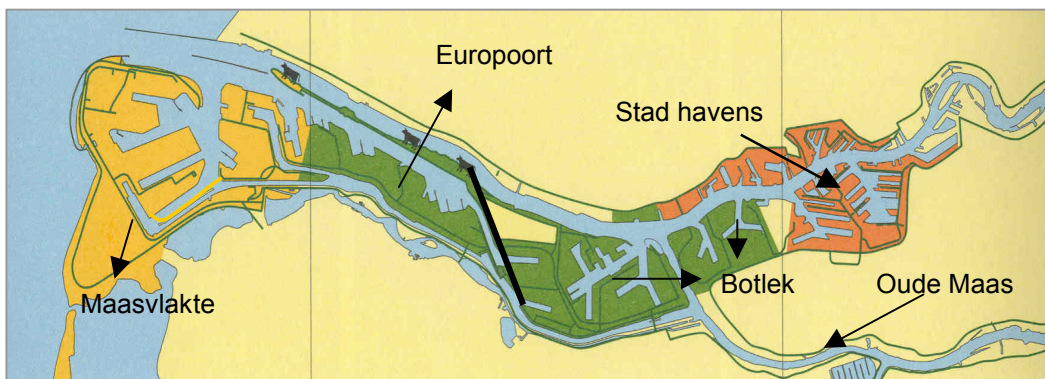
In deelstudie 2 zullen de stromingen, in en rond een open verbinding ter plaatse van de Rozenburgse sluis, in kaart worden gebracht door middel van een 3D-stromingsmodel. Aan de hand van deze resultaten zal worden teruggekomen op veronderstellingen of onzekerheden ten aanzien van de stroming aangegeven in deelstudie 1.

2. Functie Rozenburgse sluis

2.1. Huidige situatie Rotterdams havengebied

De haven van Rotterdam is onder te verdelen in twee hoofdgebieden, Rotterdam-West en Rotterdam-Oost. Het westelijk havengebied omvat de Maasvlakte, Europoort en de Botlek. De Maasvlakte is gelegen aan het Beerkanaal, de Europoort is gelegen aan het Calandkanaal. Hier bevinden zich de diepwater havens. De Botlek ligt aan de Nieuwe Maas met een aftakking naar de Oude Maas.

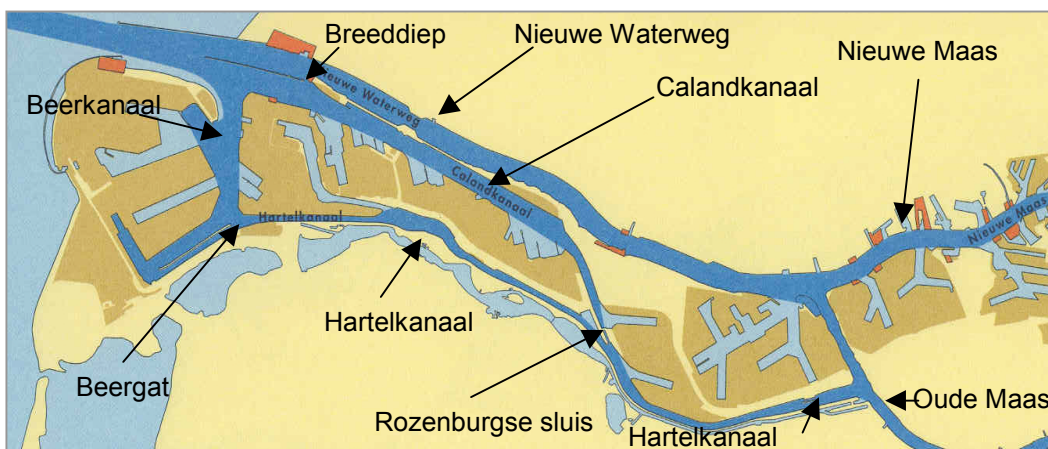
Het oostelijk havengebied bestaat uit alle havens gelegen ten oosten van de Rijksweg A4. Dit gebied is gelegen aan de Nieuwe Maas. Een overzicht is gegeven in Figuur 1. De Maasvlakte is met geel aangegeven, het Europoortgebied en de Botlek met groen en de stadshavens met rood.



Figuur 1: Rotterdams havengebied anno 1996

De scheepvaart bereikt de haven vanaf de zeezijde via de Maasgeul. De binnenvaart-schepen kunnen het Rotterdamse havengebied binnenkomen en verlaten via de Oude of de Nieuwe Maas, afhankelijk van de plaats van bestemming binnen het Rotterdamse havengebied.

De vaarwegen en hun onderlinge verbindingen (het Breddiep, het Beergat en de Rozenburgse sluis) die door het Rotterdams havengebied lopen staan aangegeven op Figuur 2.



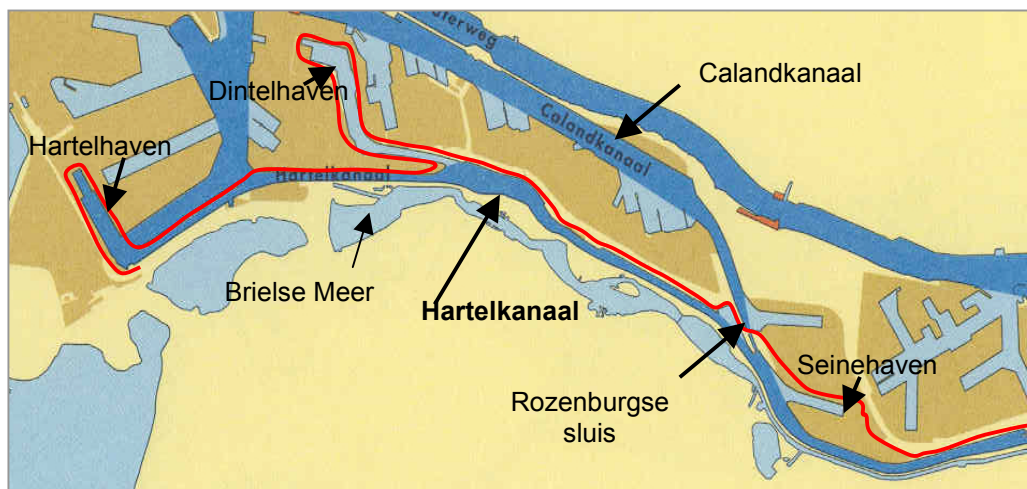
Figuur 2: vaarwegen in het Rotterdams havengebied

2.2. Geschiedenis van de Rozenburgse sluis

De Rotterdamse haven is zwaar gehavend uit de oorlog gekomen. Het herstel van haven kreeg na de oorlog een hoge prioriteit. Omstreeks 1950 werd de wederopbouw van de haven voltooid. Weldra bleek de bestaande haven niet meer aan de vraag van de industrie naar haventerreinen te voldoen en werd ten westen van de Oude Maas het Botlekcomplex aangelegd.

Verdere uitbereidingen waren noodzakelijk hetgeen werd gerealiseerd door de aanleg van het Europoort havengebied, zie Figuur 1. Het Europoortgebied werd in hoog tempo aangelegd. In november 1957 werd het plan goedgekeurd en in november 1960 liep de eerste tanker dit havencomplex binnen.

Als achterlandverbinding van de Europoort werd in de jaren zestig, een van het Calandkanaal gescheiden, Hartelkanaal aangelegd (zie Figuur 3). Uit zorg voor verzilting van de Oude Maas en het Brielse Meer kon geen open verbinding tussen de kanalen worden gerealiseerd. [a]



Figuur 3: Hartelkanaal en beschermstrook door Europoortgebied

Voor de scheepvaart is een verbinding tot stand gebracht tussen het Hartelkanaal en het Calandkanaal door middel van de Rozenburgse sluis. De sluis maakte deel uit van de beschermstrook door het Europoortgebied, zie Figuur 3. Deze beschermstrook fungeerde als voorland voor de Brielse Maasdijk, de hoofdwaterkering van Voorne Putten.[1]

In het westen eindigde het Hartelkanaal in de Dintelhaven en de Hartelhaven, beiden uitsluitend bestemd voor de binnenscheepvaart. In het oosten monde het Hartelkanaal via de Hartelsluis uit in de Oude Maas. Verwacht werd dat door het schutbedrijf van de Rozenburgse sluis als nog verzilting van het water in het Hartelkanaal zou optreden. Deze sluis werd aangelegd om de Oude Maas van het Hartelkanaal gescheiden te houden om verzilting van de Oude Maas tegen te gaan.

Dit geschiedde tegen de wens van het GHR, zij achtten dit obstakel in de scheepvaartroute onnodig. Aangezien de verzilting inderdaad nogal mee bleek te vallen, is in 1981 alsnog een open verbinding tot stand gebracht ter hoogte van de Hartelsluis. [2] Om de zoutindringing via de Rozenburgse sluis zoveel mogelijk te beperken is een bellesscherm aangebracht bij de Rozenburgse sluis.

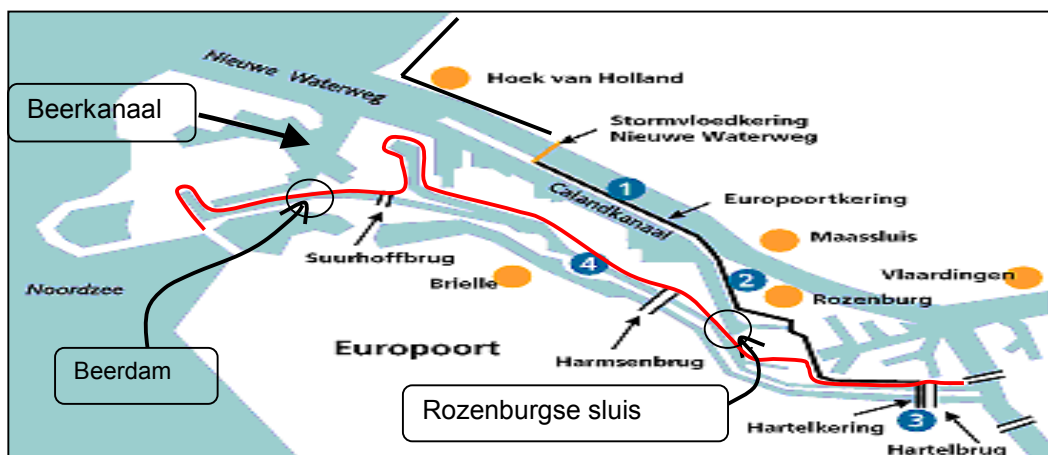
Over de sluiscolk werden twee beweegbare bascule bruggen aangelegd, die verbinding maakten voor het wegverkeer tussen de Europoort en de Botlek.

2.3. Ontwikkelingen m.b.t. de functie van de Rozenburgse sluis

2.3.1. Europoortkering

Als onderdeel van het Deltaplan moesten er in het Rotterdamse Havengebied maatregelen genomen worden ter bescherming van Rotterdam en andere steden in de rivierendelta. Het besluit om in de Nieuwe Waterweg een stormvloedkering te bouwen, maakte een waterkering door het Europoortgebied eveneens noodzakelijk. [2]

De nieuwe primaire waterkering in het Rotterdamse havengebied begint bij de Stormvloedkering Nieuwe Waterweg (SVKW) en wordt door de Europoortkering verbonden met de Hartelkering. In het Hartelkanaal is bij de Hartelbrug een beweegbare stormvloedkering, de Hartelkering, gebouwd. Bij een gesloten kering kan de scheepvaart gebruik maken van de sluis. De Brielse Maasdijk is verhoogd om aan de eisen van primaire waterkering te voldoen. De nieuwe waterkering was gereed in 1997. De Rozenburgse sluis werd buiten de nieuwe primaire waterkering gehouden. In Figuur 4 staat de waterkering met een zwarte lijn aangegeven, met rood de voormalige beschermstrook.



Figuur 4: Voormalige beschermstrook en nieuwe Primaire Waterkering

2.3.2. Openbreken Beerdam

Nadat de Europoortkering en de Hartelkering gereed waren kon in november 1997 een ander plan gerealiseerd worden: het doorsteken van de Beerdam. Eind jaren tachtig zocht het GHR naar de mogelijkheden om de binnenvaartverbinding van de Maasvlakte met het achterland te verbeteren, vanwege de groei in de container- en bulkoverslag. Bij windkracht 5 en hoger waren de vaarroutes naar de Maasvlakte niet veilig. De binnenvaartschepen hadden bij het invaren van het Beerkanaal (zie Figuur 4) veel last van de hoge golven vanaf zee, waardoor invaren niet altijd mogelijk was. Vertragingen die zo ontstonden bevorderden de concurrentiepositie van de Rotterdamse haven niet. [3]

Een oplossing werd gezocht in het openbreken van de Beerdam waardoor een verbetering van de verbinding voor de binnenvaartscheepvaart tussen de Maasvlakte en het achterland werd gerealiseerd. Het openbreken van de Beerdam had effecten op de waterbeweging en waterkwaliteit in het Hartelkanaal. Afhankelijk van het getij op zee en de afvoer van de Oude Maas dringt de zouttong door op het Hartelkanaal en is het water in het Hartelkanaal bij de Rozenburgse sluis brak tot zout. Daarnaast ontstonden op het Hartelkanaal variërende waterstanden.

2.3.3. Calandbrug en aanleg Calandtunnel

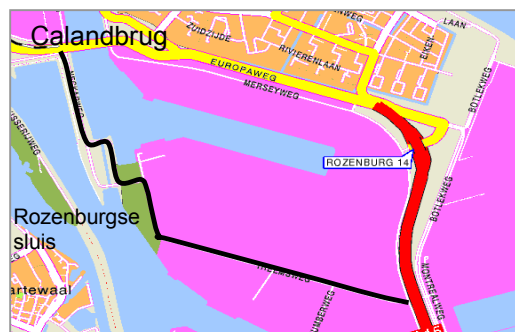
Bij de gemeente Rozenburg ligt, over de ingang van de Brittaniehaven, de Calandbrug. Samen met de bruggen over de Rozenburgse sluis verbindt de Calandbrug (A15) de Europoort en de Botlek met elkaar. De Calandbrug is een hefbrug die vaak geopend moet worden voor de scheepvaart, welke voorrang heeft op het wegverkeer. Hierdoor vormt de Calandbrug een knelpunten voor het wegverkeer. Om de fileproblemen rondom Rozenburg te verkleinen is besloten de Calandtunnel onder het Calandkanaal door te leggen.

De Rozenburgse sluis wordt overspannen door twee beweegbare bruggen. Deze bruggen hebben de functie van omleidingsroute voor het wegverkeer bij stremming voor de Calandbrug, zie Figuur 6. Doordat over de sluiskolk twee bruggen liggen is altijd één daarvan open voor het wegverkeer.

Na gereedkomen van de Calandtunnel (verwacht in 2003) blijft de Calandbrug in functie. Niet alle soorten verkeer mogen door de tunnel. Het treinverkeer, (brom)fietsverkeer en vervoer explosief gevaarlijke stoffen zullen van de brug gebruik blijven maken. Daarnaast zal de Calandbrug de omleidingsroute worden van de tunnel, indien deze gestremd is. De bruggen over de sluis blijven de omleidingsroute voor het (brom)fietsverkeer en vervoer explosief gevaarlijke stoffen. [4] In Figuur 5 is de Calandbrug met de tunnel in aanbouw te zien.



Figuur 5: Calandbrug



Figuur 6: omleidingsroute Calandbrug

2.4. Huidige functie Rozenburgse sluis

De oorspronkelijke primaire functies van de Rozenburgse sluis en de bruggen waren:-

- Waterkerende functie als deel van de beschermstrook;
- Zoetzoutwaterscheidende functie;
- Alternatieve wegverbinding van de Botlek naar de Europoort;
- Scheepvaartverbinding tussen Hartelkanaal en Calandkanaal.

Uit hoofdstuk 2.3 blijkt dat deze functies grotendeels zijn komen te vervallen door verschillende ontwikkelingen.

Door de aanleg van de nieuwe Primaire Waterkering, waarvan de Rozenburgse sluis geen deel uit maakt, heeft de sluis haar functie als deel van de beschermstrook verloren. Na het gereedkomen van de Calandtunnel wordt de Calandbrug de alternatieve route tussen de Botlek en de Europoort voor het wegverkeer, dit geldt echter niet voor het vervoer gevaarlijke stoffen. Hier wordt verder op in gegaan in hoofdstuk 5.1. Duidelijk is dat de functie van scheepvaartverbinding gehandhaafd blijft indien een openverbinding tussen de twee kanalen wordt gerealiseerd.

Door het openbreken van de Beerdam is het water op het Hartelkanaal zout geworden. De Rozenburgse sluis vervult daarom in de huidige situatie geen direct zoetzoutwaterscheidende functie meer. Onduidelijk is echter de invloed van de sluis op de zoutindringing op de Oude Maas en de daarmee gepaard gaande verziltingproblematiek. Hier wordt verder op ingegaan in hoofdstuk 4.2.

3. Scheepvaart

In hoofdstuk 3.1 wordt de verwachte toekomstige verkeersontwikkeling van de binnenvaart behandeld. Met het oog hierop wordt gekeken naar de verschillende nautische aspecten met betrekking tot het realiseren van een open vaarverbinding ter plaatse van de Rozenburgse sluis.

Zij worden behandeld in de volgende hoofdstukken:-

- Hoofdstuk 3.2 Rozenburgse sluis als knelpunt;
- Hoofdstuk 3.3 Verbeterde alternatieve achterlandverbinding;
- Hoofdstuk 3.4 Capaciteit Hartelkanaal;
- Hoofdstuk 3.5 Binnenvaart ontsluiting Maasvlakte II;
- Hoofdstuk 3.6 Brughogtes op het Hartelkanaal;
- Hoofdstuk 3.7 Calamiteiten op het Hartelkanaal.

3.1. Verkeersontwikkeling binnenvaart

Naar verwachting zullen de goederenstromen van en naar de haven van Rotterdam in de toekomst groeien. De binnenvaart is voor Rotterdam verreweg de belangrijkste achterlandmodaliteit. Momenteel bedraagt het aandeel in het achterlandvervoer ongeveer 50%. Een grote groei wordt voorzien in de containerbinnenvaart ten gevolge van de concentratie van containeroverslag op de Maasvlakte.

Circa 60% van het binnenvaarttransport betreft droge-bulk- en circa 30% betreft natte-bulklading. Het containervervoer per binnenvaart groeit echter enorm en is in tien jaar verdrievoudigd tot ruim 900.000 TEU per jaar. In de "Integrale verkenning van haven en industrie 2020" opgesteld door het GHR wordt de ontwikkeling van de haven beschreven. De ontwikkeling zal zich naar verwachting voltrekken in de bandbreedte tussen het Global Competition- en het Divided Europe-scenario. Het gunstige Global Competition-scenario zorgt voor meer verandering dan het ongunstige Divided Europe-scenario. De voorspelde groei, van het vervoer per binnenschip, staat per scenario gegeven in Tabel 1. Deze prognose is grafisch weergegeven in Figuur 7. [5]

Groei tussen 1995 en 2020	Groei droge bulk	Groei natte bulk	Groei containers	Groei totale binnenvaart
Global Competition	15 %	50%	320%	55%
Divided Europe	-	25%	140%	25%

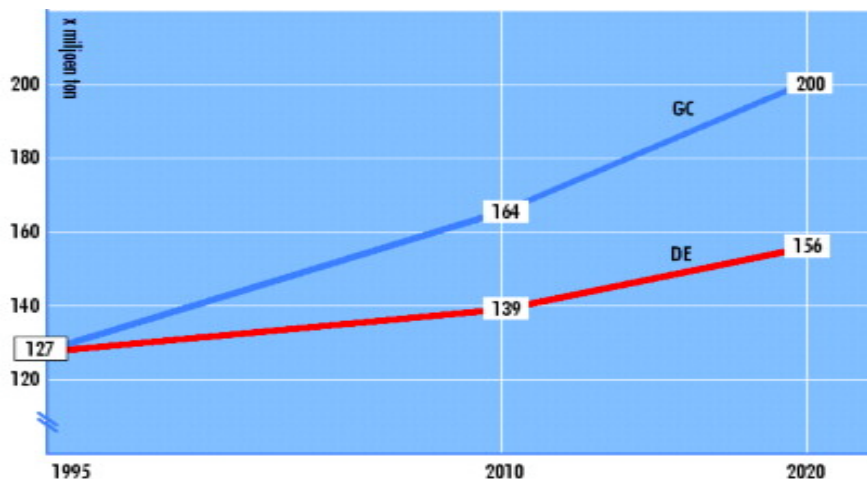
Tabel 1: voorspelde groei binnenvaarttransport[5]

Verwacht wordt dat het binnenvaartcontainervervoer, met name in het Global-Competition-scenario sterk toe neemt tot ruim 3,2 miljoen TUE in het jaar 2020. In 1995 ging het om ruim 700.000 TEU. In het Divided Europe-scenario neemt het transport van containers via de binnenvaart toe tot ruim 1,7 miljoen eenheden. [5]

Naast een groei van het vervoer per binnenschip is er ook sprake van een schaalvergroting in de binnenvaart. Schepen worden langer, breder en vooral dieper. Rond 1988 bedroeg het gemiddelde tonnage van binnenschepen zo'n 750 ton. In 1998 is het gemiddelde tonnage 1120 ton. Het aandeel van schepen beneden de 1000 ton is flink afgenomen. [6]

De afmetingen van de traditionele binnenvaartschepen zijn ongeveer 65m lang en 7m breed. De lengte van de nieuwe grote containerschepen is rond de 135m bij 17m breed.

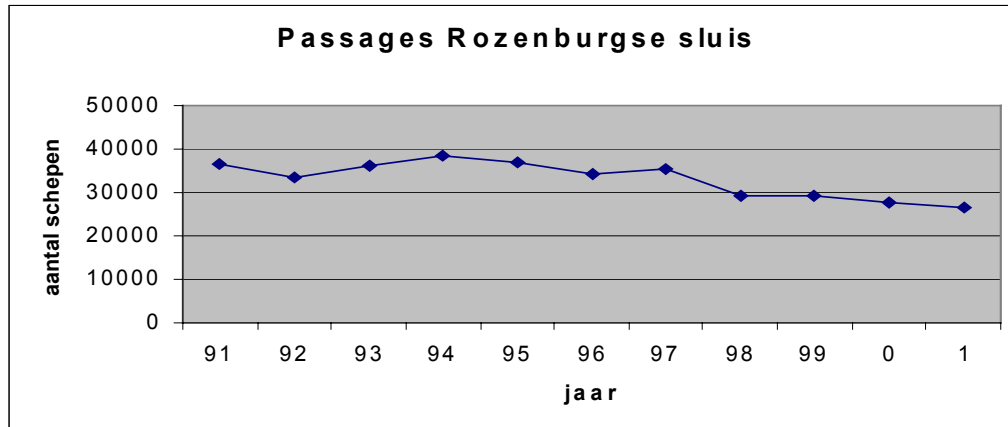
Tegelijkertijd wordt er steeds meer gebruik gemaakt van de "High-Cube" containers, waarvan de hoogte 30 cm extra is vergeleken met de normale containers. Deze schaalvergroting houdt in, dat minder schepen dezelfde hoeveelheid lading kunnen vervoeren. [6]



Figuur 7: Prognoses ontwikkeling binnenvaart

3.2. Rozenburgse sluis als knelpunt

Het gebruik van de sluis van 1991 tot 2001 is weergegeven in Grafiek 1. Hierin is de afname van het aantal passages te zien na het openbreken van de Beerdam in 1997.



Grafiek 1: Aantal schepen door de Rozenburgse sluis op jaarbasis [7]

Op jaarbasis maken tussen de 26.000 en 27.000 schepen gebruik van de sluis. Hiervan bestaat 80% van de schepen uit motorvrachtschepen en motortankschepen. De overige 20% bestaat voornamelijk uit tank- en vrachtduwbakken. De schepen hebben met name bestemming Europoort. [7]

Door de verwachte bezettingsgraad van de Rozenburgse sluis tot het jaar 2020 te berekenen, kan bepaald worden of de sluis in staat zal zijn de groei van de binnenvaart te verwerken. De capaciteit van de Rozenburgse sluis wordt gegeven door twee maal het maximaal aantal schepen (met gemiddelde afmetingen) die tegelijkertijd geschut worden gedeeld door de tijd van één schutcyclus. Een schutcyclus begint bij het invaren van het eerste schip de sluis in (richting zee) en eindigt bij het laatste schip dat de sluis heeft verlaten (richting het achterland). Gemiddeld passen maximaal 6 à 8 schepen in de sluis.

Met het oog op de toekomstige schaalvergroting van de schepen wordt de capaciteit berekend met 6 schepen. De cyclustijd van een schutting met een volle sluis, beide kanten op, wordt geschat op 1 uur. Dit betekent dat de capaciteit van de Rozenburgse sluis op 12 schepen per uur ligt. [c]

Jaarlijks maken 26.000 à 27.000 schepen gebruik van de sluis, hetgeen gemiddeld 3 per uur betekent. Uiteraard komen niet alle schepen gelijkmatig verdeeld aan bij de sluis. In het rapport "Capaciteit van het Hartelkanaal" wordt gesteld dat er nauwelijks pieken in de drukte van het verkeer op het Hartelkanaal zijn. In dit rapport wordt aangenomen dat de drukte op de drukste tijdstippen 50% boven de gemiddelde drukte ligt. [8] Hier vanuit gaande komt het gemiddeld aantal schepen, dat gebruik wil maken van de sluis in piekuren, op 4,5 schepen per uur. Deze bezetting van 4,5 schepen per uur blijft ver onder de capaciteit van de Rozenburgse sluis met 12 schepen per uur. [9]

Tabel 2 laat zien welke gevolgen de verwachte groei van het binnenvaarttransport heeft op de verwachte bezetting van de Rozenburgse sluis is in het jaar 2020. Verwacht wordt dat de capaciteit van de sluis voldoende is om de toekomstige groei van de binnenvaart aan te kunnen.

	Huidige situatie 2000	Global competition 2020	Divided Europe 2020
Groei	n.v.t.	55%	25%
schepen /jaar	26.500	41.000	33.000
schepen/uur	3	5	4
schepen/uur in drukke periode	4.5	7.5	6
Maximale capaciteit	12	12	12
bezettingsgraad	38%	63%	50%

Tabel 2: benodigde capaciteit Rozenburgse sluis in 2020

De maximale capaciteit van de sluis wordt niet volledig benut waardoor weinig filevorming optreedt, resulterend in geen tot korte wachttijden. Indien wachttijden optreden is deze gemiddeld 1 uur.

De schuttijd bij de Rozenburgse sluis is afhankelijk van het aanwezige waterstandverschil en het aantal te schutten schepen. De gemiddelde schuttijd bedraagt tussen de 10 en 30 minuten. Daarnaast moeten schepen afremmen en vervolgens weer versnellen. De gemiddelde vertraging als gevolg van de Rozenburgse sluis is ongeveer 30 minuten. [c]

Met een kolkafmeting van 305 bij 24 meter is de sluis geschikt voor het schutten van alle typen binnenvaartschepen die op het Hartelkanaal varen, ook rekening houdend met de verwachte schaalvergroting.[d]

Door zowel de binnenvaartorganisaties als nautisch coördinator van het GHR wordt aangegeven dat, doordat er weinig wachttijden optreden bij de sluis, de schuttijd kort is en er geen beperkingen bestaan ten opzichte van de afmeting van de binnenvaartschepen. De Rozenburgse sluis wordt door de gebruikers niet ervaren als een problematisch knelpunt, dat nodig moet worden verbeterd. Uiteraard zal een open vaarverbinding positief ontvangen worden door de binnenvaartschippers die momenteel gebruik maken van de sluis aangezien hun reistijd met gemiddeld 30 minuten wordt ingekort. [e]

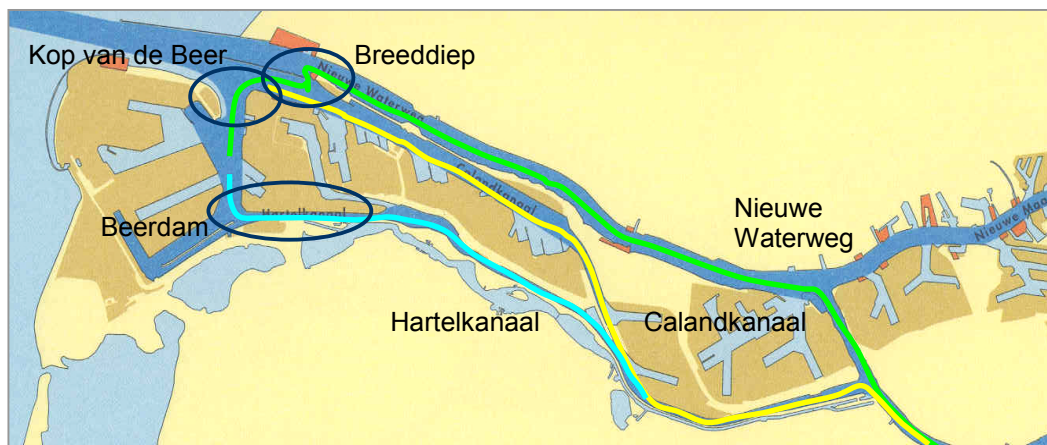
Daarnaast is te verwachten dat, indien een vrije doorvaart gerealiseerd wordt, meer schippers gebruik zullen maken van deze route, waaronder de agribukschepen van de EBS terminal. In de huidige situatie varen alle droge agribukschepen die bij de EBS terminal in de Beneluxhaven hun bestemming hebben over de Nieuwe Waterweg.

Verondersteld wordt dat momenteel 20% van de droge agribukschepen gebruik maakt van de sluis, hetgeen volgens voorspellingen neerkomt op 8.000 in 2010. Voorspeld wordt dat 100% (volgens voorspellingen 40.000 in 2010) van de droge agribukschepen gebruik zullen gaan maken van een vrije doorvaart ten hoogte van de Rozenburgse sluis. [8]

3.3. Alternatieve achterlandverbinding Maasvlakte

Voor de vaart naar de Maasvlakte kan de schipper uit verschillende routes kiezen, aangegeven in Figuur 8.

- groen: Nieuwe Waterweg;
- geel: Calandkanaal;
- blauw: Hartelkanaal.



Figuur 8: Achterlandverbindingen met hun kritieke trajecten

De verschillende vaarroutes naar de Maasvlakte kennen een aantal trajecten die als kritiek worden ervaren door de binnenvaartschippers. Deze worden hieronder besproken.

Nieuwe Waterweg

Binnenvaartschepen kunnen de Maasvlakte vanaf de Nieuwe Waterweg bereiken door het Breuddiep. Deze smalle doorgang wordt gekenmerkt door onveilige situaties bij ongunstige weersomstandigheden. Gekoppelde eenheden mogen niet door het Breuddiep en worden gedwongen om bij het Breuddiep nog 3,5 km door te varen en de Splitsingsdam te ronden. Bij het ronden van de westpunt van de Splitsingsdam en het Breuddiep, ontstaat een situatie waarbij men korte tijd dwars op de uit zee komende golven komt te liggen. Deze vaak lange deininggolven zorgen ervoor, dat naast elkaar gekoppelde eenheden tegengesteld gaan slingeren en dompen. [10]

Daarnaast geldt voor alle soorten scheepvaart dat, bij het ronden van de westpunt van de Splitsingsdam en het Breuddiep, de schepen loodrecht op de vaarrichting liggen in een drukke zeevaartroute. [1]

Calandkanaal

Het meest kritieke punt in de route via het Calandkanaal naar de Maasvlakte is het punt waar Calandkanaal en Beerkanaal bij elkaar komen, de Kop van de Beer. Hier kunnen, net als bij de westpunt van de Splitsingsdam, ongewenste situaties ontstaan als gevolg van de deining en de golven.[10]

Vergeleken met het rondenvan de westpunt van de Splitsingsdam is het rondenvan de Kop van de Beer echter minder kritiek aangezien de schepen hier een ruimere bocht kunnen maken, waardoor de bocht rustiger te rondenvan is. Bovendien is de golfhoogte hier afgenomen. Zeker de grotere binnenvaartschepen, met uitzondering van de koppelverbanden en de duwvaart, ondervinden hier weinig problemen. [f]

Hartelkanaal

Het meest kritieke traject op deze route is het gedeelte nabij de opening in de Beerdam. Bij hoogwater staat er in het nauwe gedeelte bij de Suurhoffbrug een zeer sterke vloedstroom. In de verbreding bij de mond van de Dintelhaven is er vervolgens een plotselinge stroomverlamming, waardoor de snelheid van het schip ten opzichte van het omringende water plotseling zeer sterk toeneemt, zie hoofdstuk 4.1.1. Daarnaast ontstaan bij wind uit noord- en noordwestelijke richting bij de opening van de Beerdam een vervelende korte golfslag. [10]

Ook wordt door de binnenvaartschippers gemeld dat de capaciteit van het Hartelkanaal onvoldoende is, zie ook hoofdstuk 3.4. Op de smalle gedeeltes is het voor de containerschepen vaak onmogelijk om een langzamer varende 4-baks duwcombinatie voorbij te varen. De beperkte vaarbreedte bij met name de Suurhoffbrug bij het passeren van tegenliggers kan tot gevaarlijke situaties leiden, vooral als er ook een sterke getijstroom staat. [10]

De keuze van de route van de schipper hangt af van verschillende factoren, waarvan de vaartijd de belangrijkste is. De vaartijd wordt bepaald door de bestemming en het heersende stroombeeld. Varen met stroommee resulteert in een kortere vaartijd en een lager brandstofverbruik. Daarnaast hangt de keuze van de route af van de omgevingscondities zoals windrichting, windkracht en de golfcondities langs de vaarroute. Vandaar dat routes van binnenvaartschippers zelden op voorhand vastliggen. [g]

Ondanks de sterke stroming bij het Beergat varen schepen met bestemming de Maasvlakte over het algemeen over het Hartelkanaal, aangezien dit de kortste route is. Het Calandkanaal wordt voornamelijk gebruikt door schepen met de Europoort als bestemming. Door de binnenvaartorganisaties en havendienst wordt met name gesproken over de problemen bij het rondenvan van het Breeddiep / westelijke einde van de Splitsingsdam en de stroomsnelheden bij het Beergat. Minder worden de problemen bij het rondenvan van de Kop van de Beer bij de route via het Calandkanaal aangehaald.

De afstanden naar de Maasvlakte voor met name containerschepen over het Hartelkanaal respectievelijk over het Calandkanaal ontlopen elkaar niet veel. Opmerkelijk is dat de meeste containervaartschippers toch kiezen voor de route over het Hartelkanaal. Hieruit zou kunnen worden opgemaakt dat schippers een korte afstand belangrijker vinden dan een kwalitatief betere route. Daarbij vormt de Rozenburgse sluis waarschijnlijk onbewust toch een knelpunt, hoewel dit tegengesproken wordt door binnenvaartorganisaties, zie hoofdstuk 3.2.

Duidelijk is dat het maken van een open vaarwegverbinding ter hoogte van de Rozenburgse sluis een gunstige ontwikkeling zou zijn voor de achterlandverbindingen van de Maasvlakte.

3.4. Capaciteit van het Hartelkanaal

Verwacht wordt dat de groei van het binnenvaartverkeer voornamelijk zal worden afgehandeld worden over het Hartelkanaal naar het achterland. In het overleg van de Werkgroep Binnenvaart Rotterdam (WBR) is naar voren gekomen dat de binnenvaartorganisaties zich afvragen of de capaciteit van de achterlandverbinding via het Hartelkanaal voldoende is om de toekomstige groei van het scheepvaartverkeer af te kunnen handelen.

In opdracht van het Samenwerkingsverband Maasvlakte 2 Varianten is een onderzoek uitgevoerd om de capaciteit van het Hartelkanaal te bepalen, op basis van het Kentallenboek van de Rotterdamse haven. Hierbij is uitgegaan van het het Global-Competition-scenario. Op basis van het vaargedrag van schippers en de bestemmingen van de verschillende soorten producten is bepaald wat het aandeel van de totale binnenvaart is dat over het Hartelkanaal vaart. Verder is rekening gehouden met beladen en onbeladen scheepsbewegingen, pieken in de vaardrukke en een capaciteitsbepaling van het Hartelkanaal conform capaciteitsberekeningen uit het dictaat "Capacities of Inland Waterways" door ir. R. Groenveld. In tabel 3 staat de procentuele bezettingsgraad van het Hartelkanaal op drie verschillende trajecten, in vergelijking met de maximale capaciteit van het Hartelkanaal, aangegeven. [8]

Benuttingsgraad Hartelkanaal	aantal passages Hartelbrug			aantal passages Harmsenbrug			aantal passages Suurhoffbrug		
	1995	2010	2020	1995	2010	2020	1995	2010	2020
Capaciteit Hartelk. Schepen per uur	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Verwacht aantal scheepsbeweging (x1000) per jaar	65	111	114	53	70	81	34	51	64
Benuttingsgraad Schepen per uur	8	13	14	6	8	8	4	6	7
Bezettingsgraad t.o.v. capaciteit Hartelkanaal 100%	32%	53%	54%	24%	32%	37%	15%	23%	29%

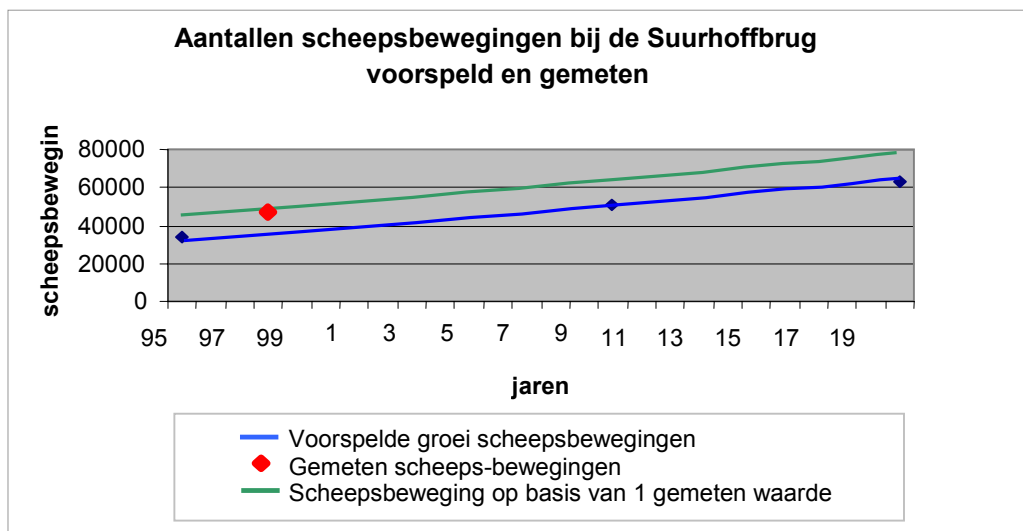
Tabel 3: Bezettingsgraad Hartelkanaal onderverdeeld in drie periodes en drie trajecten [8]

Op basis van resultaten uit een kwalitatieve en kwantitatieve analyse is geconcludeerd dat het Hartelkanaal voldoende capaciteit bezit om de groei van de binnenvaart tot de planhorizen 2020 af te kunnen handelen. [8]

Het aantal voorspelde scheepsbewegingen bij de Suurhoffbrug, afkomstig uit Tabel 3, staat uitgezet in Grafiek 2. In 1998 zijn gedurende 8 maanden de scheepsbewegingen gemeten ter hoogte van de Suurhoffbrug, ongeveer 4000 schepen per maand. [7] Dit geeft een schatting van totaal 47.000 schepen in 1998. In Grafiek 2 staat het voorspelde aantal scheepsbewegingen in 1995, 2010 en 2020 op basis van berekeningen, weergegeven met de blauwe lijn. De rode stip stelt de gemeten waarde voor uit 1998.

De gemeten waarde is ongeveer met 10.000 scheepsbewegingen, ruim 27%, meer dan het voorspelde aantal scheepsbewegingen in het rapport "Capaciteitsbepaling Hartelkanaal 1995-2020". 1998 is niet een kenmerkend jaar met uitzonderlijk veel scheepsbewegingen op het Hartelkanaal. Aannemelijk is dat de berekening in het jaar 1998 onjuist is door verkeerde aannames in het rapport, zoals bijvoorbeeld de verhouding beladen - onbeladen of het percentage van bepaalde schepen over de

verschillende routes. Hieruit volgt de veronderstelling dat in alle jaren, 1995 tot 2020, het aantal scheepsbewegingen met een bepaald percentage boven het berekende aantal ligt. In Grafiek 2 geeft de groene lijn het aantal scheepsbewegingen, als ervan uitgegaan wordt dat bij het aantal scheepsbewegingen bij de Suurhoffbrug in alle jaren 10.000 boven het eerder berekende aantal ligt.



Grafiek 2: Voorspelde en gemeten aantallen scheepsbewegingen bij de Suurhoffbrug

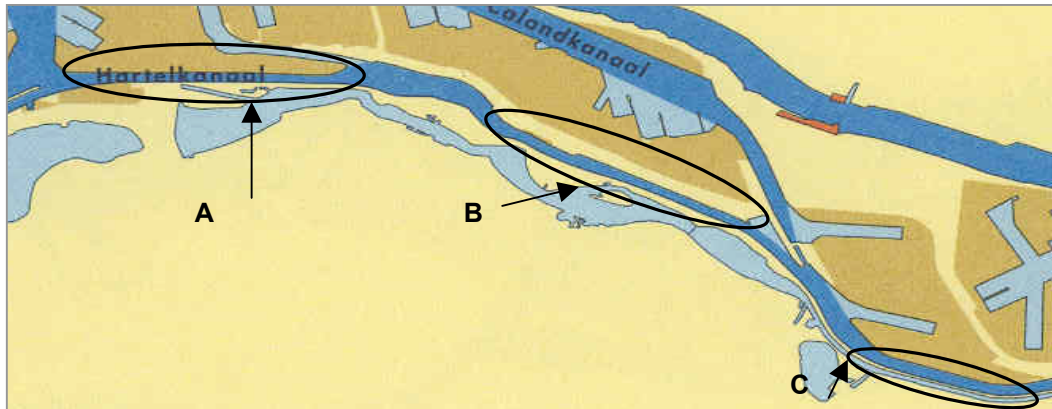
De bezettingsgraad van het Hartelkanaal tot 2020 wordt opnieuw berekend, op basis van deze nieuwe veronderstelling. Het aantal scheepsbewegingen is bij de verschillende bruggen niet aan elkaar gelijk. Daarom wordt voor deze berekening aangenomen dat in het jaar 1998 bij alle bruggen 27% meer scheepsbewegingen waren dan, waarvan men is uitgegaan in het rapport "Capaciteitsbepaling Hartelkanaal 1995-2020". Aan de hand van deze aantallen zijn de scheepsbewegingen berekend in de jaren 1995, 2010 en 2020, (Tabel 4).

Benuttingsgraad Hartelkanaal	aantal passages Hartelbrug		aantal passages Harmsenbrug		Aantal passages Suurhoffbrug				
	In 1998	27% daarvan=	In 1998	27% daarvan=	In 1998	27% daarvan=			
Scheepsbewegingen x 1000	74	20	56	15	37	10			
Het verwachte aantal scheepsbewegingen inclusief de extra 25% uit het jaar 1998									
	1995	2010	2020	1995	2010	2020	1995	2010	2020
Scheepsbew. (x1000) per jaar (tabel 3)	65	111	114	53	70	81	34	51	64
scheepsbewegingen (x1000) per jaar	85	131	134	68	85	96	44	61	74
Benuttingsgraad Schepen per uur	10	15	15	8	10	11	5	7	8
Bezettingsgraad t.o.v. Capaciteit Hartelkanaal =100%	40%	60%	60%	32%	40%	44%	20%	28%	32%

Tabel 4: Bezettingsgraad Hartelkanaal op basis van 25% meer scheepsbeweging in 1998

Uit Tabel 4 blijkt dat het Hartelkanaal voldoende capaciteit bezit om deze voorspelling wat betreft het aantal scheepsbewegingen op het Hartelkanaal in de toekomst af te kunnen handelen.

Bij deze berekeningen van de capaciteit van het Hartelkanaal dient echter een kanttekening te worden gezet. De breedte van de vaarweg en van de schepen worden in het rapport niet meegenomen. In het Hartelkanaal bevinden zich echter drie delen met een smalle doorvaart, aangegeven in Figuur 9.



Figuur 9: Smalle delen Hartelkanaal

Op de smalle gedeeltes is het voor de containerschepen vaak onmogelijk om een langzamer varende 4-baks duwcombinatie voorbij te varen. Door een aantal binnenvaartschippers werd genoemd dat de beperkte vaarbreedte bij met name de Suurhoffbrug bij het passeren van tegenliggers tot gevaarlijke situaties kan leiden. [10]

Uit onderzoek is gebleken dat de binnenvaartorganisaties, de Havendienst op het Hartelkanaal en nautische verkeersmanagement medewerker van het GHR, verwachten dat ondanks de beperkte breedte van de vaarweg de capaciteit van het Hartelkanaal voldoende is om een eventuele verdubbeling van de binnenvaartschepen op het Hartelkanaal te kunnen verwerken. De binnenvaartschepen ondervinden meer psychische dan economische hinder van filevaren, aangezien de vertraging die schepen oplopen zeer gering is. [1]

De gevaarlijke situaties die kunnen optreden zijn gering, zeker vergeleken met andere drukke kanalen zoals bijvoorbeeld het Amsterdam - Rijnkanaal. Aangegeven wordt dat met name de hoge stroomsnelheden bij het Beergat grote problemen veroorzaken, hetgeen versterkt zal worden door toenemende drukte. [1]

Door een vrije doorvaart ter hoogte van de Rozenburgse sluis, kan de toename van het aantal scheepsbewegingen verdeeld worden over het Hartelkanaal en het Calandkanaal. Dit is gunstig indien zou blijken dat de capaciteit van het Hartelkanaal toch niet voldoende is om een vlotte en veilige doorvaart te garanderen. Daarnaast zou een goede alternatieve route kunnen worden geboden indien de stromingen in het Beergat van dien aard zijn dat hier niet gevaren kan worden.

3.5. Binnenvaartontsluiting Maasvlakte II

In het kader van de ontwikkeling van Maasvlakte II onderzoekt het Expertisecentrum PMR de toegankelijkheid van de landuitbreiding voor de binnenvaartschepen. Voor de ligging van het ontsluitingskanaal zijn verschillende mogelijkheden. Eén van varianten ligt het meest voor de hand vanwege de geringe doorkruising van bestaande infrastructuur en is als principeoplossing gekozen in de Planologische Kern Beslissing. Deze variant houdt in een doorsteek door de Yangzehaven, te zien op Figuur 10. [k]



Figuur 10: ontsluitingskanaal Maasvlakte II

De binnenvaartschippers hebben in dat geval de mogelijkheid te varen via de Nieuwe Waterweg, het Calandkanaal of het Hartelkanaal, waarbij de afstand niet veel verschil maakt. Bij het in werking blijven van de Rozenburgse sluis wordt verwacht dat de binnenvaart voornamelijk over het Hartelkanaal zal varen. Het Calandkanaal zal, door het verwijderen van de Rozenburgse sluis een goede alternatieve route kunnen worden en zo de toenemende binnenvaart op het Hartelkanaal kunnen verlichten.

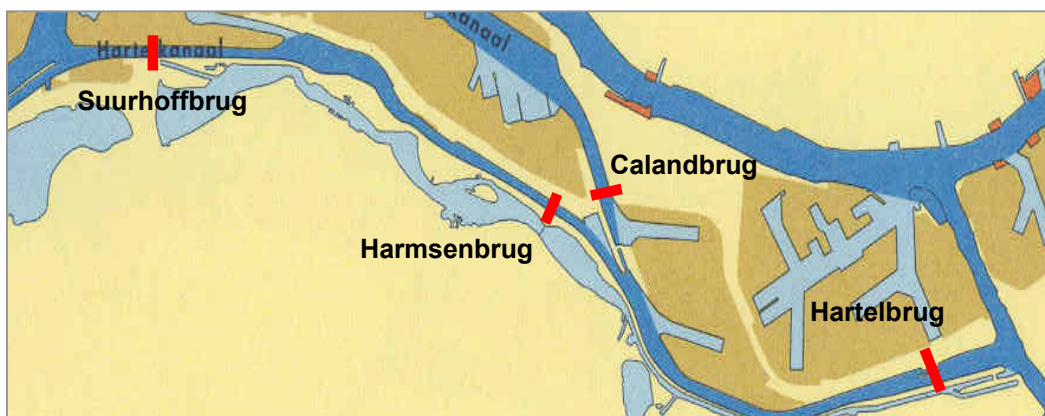
3.6. Brughoogtes in het Hartelkanaal

De doorvaarthoogte van bruggen over de vaarwegen die vallen onder de Acte van Mannheim, waaronder de bruggen in de Rotterdamse haven, zijn gebaseerd op de Rijnvaarthoogte. De Rijnvaarthoogte is, in theorie, voldoende hoog voor schepen met vier lagen containers en gestreken stuurhuis, 9.10m.

Met de discussie rond het openen van de Beerdam is tegelijkertijd de vraag gesteld of de komst van het getij op het Hartelkanaal de doorvaarthoogtes onder de bruggen zouden voldoen aan de Rijnvaarthoogte en niet te grote beperking aan de binnenvaart zou opleggen. Door de binnenvaartorganisaties werd aangegeven dat de bruggen over het Hartelkanaal te laag zijn.

In opdracht van het GHR is in 2000 een verkenning gedaan naar de noodzaak tot het verhogen van de bruggen over het Hartelkanaal. Het onderzoek wees uit dat slechts enkele uren per maand de Rijnvaarthoogte niet gegarandeerd zou zijn. Het aantal brugopeningen voor en na het openen van de Beerdam bleef gelijk. De doelgroepschepen, container- en duwvaartschepen, verzochten in 1998 nog geen twee maal per maand om een brugopening. Een directe aanleiding om tot het verhogen van de bruggen over te gaan was er niet. [11] Bij het varen met vier lagen "High-Cube" containers voldoet de Rijnvaarthoogte niet voldoende. Gelet op de toename van deze containers zal de Rijnvaarthoogte in de toekomst te krap worden. Dit geldt echter niet alleen voor de bruggen over het Hartelkanaal.

De bruggen over het Calandkanaal en Hartelkanaal staan aangegeven op Figuur 11. Over het Hartelkanaal liggen drie bruggen, waarvan de laagste en maatgevende doorvaarthoogte, onder het vaste gedeelte van de bruggen, NAP +11.45 is (de Harmsenbrug). De route via het Calandkanaal heeft twee bruggen, waarvan de maatgevende maximale doorvaarthoogte NAP + 11.70 is (de Calandbrug). Indien de invloed van de nieuwe vrije opening op de waterstanden buiten beschouwing wordt gelaten, is de doorvaarthoogte op de Calandroute 25 cm groter.



Figuur 11: Bruggen over het Hartelkanaal en Calandkanaal

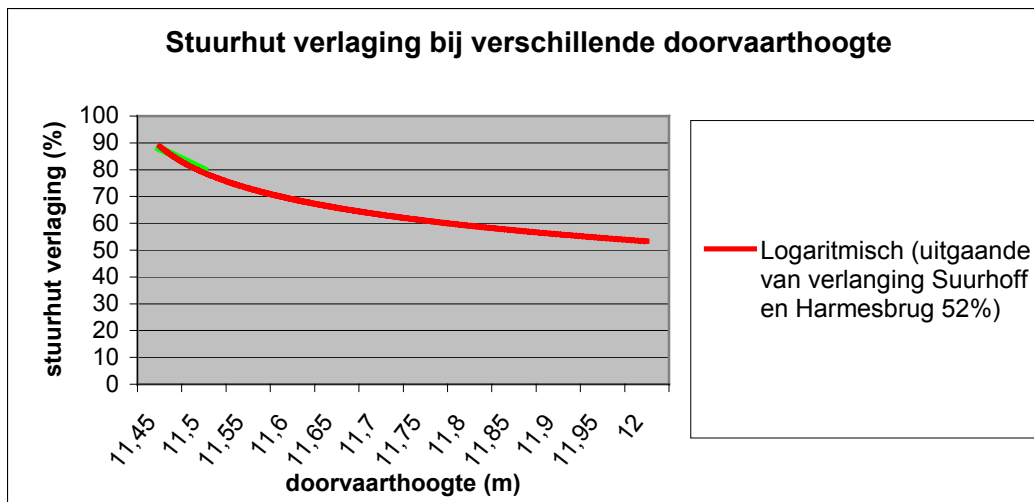
In het rapport “Verkenning naar de noodzaak tot het verhogen van de bruggen over het Hartelkanaal” wordt gesteld dat bij het varen met vier lagen containers gevaren dient te worden met een gedeeltelijk verlaagde stuurhut, afhankelijk van de doorvaarthoogte. De mate van verlagen staat aangegeven in Tabel 5.

	Brughoogte t.o.v. N.A.P.	Mate verlagen van de stuurhut	Indien opgehoogd tot +12m N.A.P.
Suurhoffbrug	+11.50	80%	53%
Harmsenbrug	+11.45	88%	50%
Hartelbrug	+12.00	44%	44%
Calandbrug	+11.70	niet bekend	niet bekend

Tabel 5: brughogtes en mate van noodzakelijke verlaging stuurhut. [12]

Op basis van de cijfers in Tabel 5 kan geschat worden hoeveel de stuurhut procentueel moet zakken bij de Calandbrug. De procentuele verlaging is uitgezet tegen de doorvaarthoogte in

Grafiek 3 waardoorheen een logaritmische lijn is getrokken. Een grove schatting wijst uit dat een stuurhut verlaging van zo'n 65% wordt verwacht bij de Calandbrug.



Grafiek 3: Verlaging stuurhut t.o.v. doorvaarthoogte

De mate van verlagen van de stuurhut bepaalt de tijdsduur dat met een verlaagde stuurhut moet worden gevaren. Aangezien door varen met verlaagde stuurhut het zicht gedeeltelijk of soms helemaal wordt belemmerd, is dit uit veiligheidsoverwegingen niet wenselijk.

Via het Hartelkanaal dient met vier lagen containers, gedurende de helft van de tijd, gevaren te worden met een stuurhut verlaging van één maal 44%, één maal 88% en één maal 80%. Varen via het Calandkanaal houdt een verlaging in van één maal 44% en één maal 60%. De route via het Calandkanaal is dus, gezien de brughogtes, een gunstigere route dan over het Hartelkanaal.

3.7. Combinatie Zeevaart en binnenvaart

Eén van de beweegredenen van de Open beerdam was om een aparte achterlandverbinding voor de binnenvaartschepen te maken en zo zeevaart- en binnenvaartschepen zoveel mogelijk gescheiden te houden. Een vrije scheepvaartverbinding tussen het Calandkanaal en het Hartelkanaal zal een toename van het aantal binnenvaartschepen op het Calandkanaal betekenen, waardoor meer binnenvaartschepen zeeschepen gaan kruisen op het Calandkanaal. [1]

Zeeschepen, met als bestemming de Europoort, zijn overwegend natte bulk schepen die in verband met veiligheidsoverwegingen met de achterkant van hun schip naar de kade moeten liggen. In geval van calamiteiten kunnen deze schepen dan snel weg varen. Dit betekent dat zij in het Calandkanaal 180 graden moeten draaien. Tijdens deze draai, waarbij zij loodrecht op de vaarrichting in het kanaal liggen, belemmeren zij tijdelijk de vaarroute voor met name binnenvaartschepen. Meer binnenvaartschepen op het Calandkanaal betekent dat zeeschepen en binnenvaartschepen elkaar vaker zullen hinderen in hun vaarroute. [m]

3.8. Calamiteiten op het Hartelkanaal

Door een groei van het aantal scheepsbewegingen op het Hartelkanaal neemt de kans op calamiteiten toe, afhankelijk van mogelijke verbeteringen die plaatsvinden, zoals bijvoorbeeld verbeterde infrastructuur of verkeersbegeleiding.

Bij stremming van het Hartelkanaal zullen schippers kiezen door de Rozenburgse sluis of indien mogelijk over de Nieuwe Waterweg te varen. Bij de sluis kunnen dan lange wachttijden ontstaan en het verwijderen van de sluis zou in deze situaties gunstig zijn. Bedacht moet worden dat calamiteiten op het Hartelkanaal, welke de gehele doorvaart stremt, niet vaak voorkomen. De Nautische Ongevallen Database rapporteerde in de afgelopen 9 jaar 73 ongevallen. Niet bekend is echter hoeveel hiervan een stremming van de vaarweg tot gevolg hadden. Ter vergelijking staan de nautische ongevallen op de Nieuwe Maas, de Nieuwe Waterweg en de Oude Maas gegeven in Tabel 6.

Nautische ongevallen, periode 1992 t/m 2001	totaal
Oude Maas	40
Nieuwe Maas	144
Nieuwe Waterweg	64
Hartelkanaal	73

Tabel 6: ongevallen wateren in Rotterdams havengebied

3.9. Conclusie Scheepvaart

Nautisch overwegingen geven geen aanleiding om de Rozenburgse sluis te verwijderen en een open vaarverbinding te realiseren, maar de scheepvaart zal wel baat hebben bij de verbeterende achterlandverbinding.

De vaarroute met bestemming Europoort zal verbeteren, alsmede de achterlandverbinding via het Calandkanaal naar de Maasvlakte. Hierdoor wordt een goede alternatieve ontsluitings- en calamiteitenroute voor het Hartelkanaal geboden. Wel zal door een toename van het aantal binnenvaartschepen op het Calandkanaal zeevaart en binnenvaart meer hinderen van elkaar ondervinden.

4. Hydraulische aspecten

4.1. Stroming

Het maken van een open verbinding tussen het Hartelkanaal en het Calandkanaal heeft grote invloed op de waterbeweging tussen deze twee kanalen. Door het verwijderen van de sluis dringt de getij-golf ook via het Calandkanaal het Hartelkanaal op. Daarnaast wordt het water van de Oude Maas afgevoerd door zowel het Beergat als de opening ter hoogte van de Rozenburgse sluis. Dit alles heeft invloed op de stroming, de kwaliteit van het water, het optreden van seiches en de waterstanden in het Hartelkanaal en de Oude Maas.

4.1.1. Stroming ten gevolge van de open Beerdam

Na het openen van de Beerdam zijn in het Beerkanaal hoge stroomsnelheden in de oppervlaktelaag geconstateerd. Deze zijn een gevolg van dichtheidverschillen tussen het relatief zoete water in het Hartelkanaal en het zoute water in het Beerkanaal. Tijdens eb stroomt het zoete water in een laag van ca. 5 m. over het zoute water. Dit veroorzaakt een dwarsstroming in de bocht van het Beerkanaal met de Mississippihaven. Hierdoor ondervindt de scheepvaart met bestemming EMO-kade ernstige hinder. De locatie van de EMO-haven staat aangegeven in Figuur 12.

Daarnaast ontstaat tijdens vloed een abrupte overgang van snelstromend water in het smalle deel van het Hartelkanaal ten westen van de Suurhoffbrug en langzaam stromend water in het brede deel van het Hartelkanaal ter hoogte van de Dintelhaven. Voor de scheepvaart is sprake van een abrupte overgang van snelstromend, orde 1,5 m/s naar praktisch stilstaand, water. [13] In Figuur 12 staat met blauw de zones aangegeven waar sterke stromingen ontstaan als gevolg van de Open Beerdam.

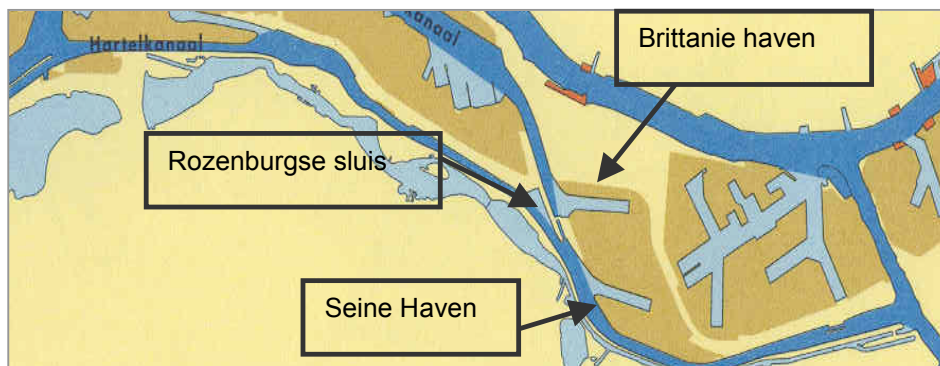


Figuur 12: Gebieden met sterke stromingen

Om inzicht te krijgen in dit fenomeen zijn in 1998 door het ingenieursbureau Havenwerken van Gemeentewerken Rotterdam modelberekeningen uitgevoerd met een 3D-stromingsmodel van het waterloopkundig Laboratorium (Delft3D). Met behulp van dit model is onderzoek gedaan naar de effecten van mogelijke ingrepen die de stromingsproblemen bij het Beergat kunnen beïnvloeden. Eén van de onderzochte maatregelen is het verwijderen van de Rozenburgse sluis en het maken van een open kanaalverbinding. Deze berekeningen zijn gedaan met een doorstroombreedte op NAP hoogte van 200m.

Met het ZWENDLmodel is het veranderde nieuwe debiet berekend bij de Beerdam ten gevolge van het verwijderen van de Rozenburgse sluis. ZWENDL is een grootschalig, eendimensionaal model van het RIZA, waarin onder andere het gehele waterweggebied van Rotterdam is geschematiseerd. Het verwijderen van de Rozenburgse sluis zorgt voor een kleinere afvoer van rivierwater via het Hartelkanaal. Deze nieuwe afvoer is de invoerwaarde in het model Delft3D, waarmee de veranderde stromingen zijn berekend bij de open Beerdam. [14]

Het gevolg van deze kleinere afvoer is dat de stroomsnelheden in het Hartelkanaal ongeveer halveren, van 1.5m/s naar 0.75m/s. Ter plaatse van de Open Beerdam is de afname 0,2 m/s, ten opzichte van de huidige 0.8 m/s. In de Mississippihaven en het Beerkanaal is de afname van de stroomsnelheid ongeveer 0,1 m/s. Het verwijderen van de sluis heeft directe gevolgen voor de stroming langs de Seinehaven en de Brittaniehaven, zie Figuur 13. [14] Gezien de ervaring met de grote stromingen bij het Beergat stond men niet enthousiast tegenover het verwijderen van de sluis. Deze oplossing is daarom niet verder onderzocht. Er zijn geen alternatieve oplossingen uit het onderzoek naar voren gekomen. [14]



Figuur 13: Seine haven en Brittanie haven

Vanuit de binnenvaart kwamen aanvankelijk veel klachten over de stroming. Zij hebben zich echter grotendeels aan de nieuwe situatie weten aan te passen. Hierdoor zag het GHR zich niet genoodzaakt de situatie te verbeteren. De situatie was anders voor de zeevaart. De EMO-haven diende een claim in tegen het GHR, omdat zeeschepen veel hinder ondervonden van de stroming bij het Beergat waardoor deze niet meer bij de EMO-haven konden aanmeren. [n]

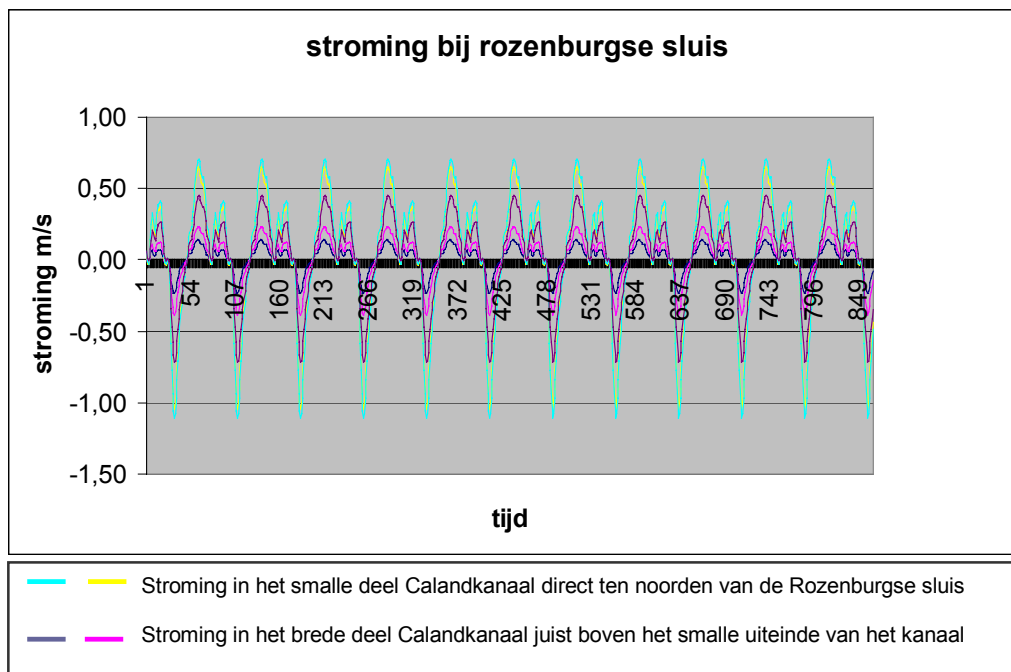
Het GHR was genoodzaakt een oplossing te vinden. Deze werd gevonden in de bouw van een nieuwe kade voor de EMO waar zeeschepen wel konden aanmeren. De zeeschepen zijn echter wel door de stroming aan een extra getijdevenster gebonden. Vóór het openbreken van de Beerdam waren de bezoekende schepen van de EMO of Mississippihaven in verband met de diepte aan deze kade, gebonden aan een getij venster. Door de stroming zijn deze schepen nu gebonden aan een groter getij venster. In verband met dit grotere getijvenster heeft de EMO opnieuw een klacht ingediend bij het GHR. Het is gewenst dat het GHR de stromingsproblematiek bij het Beergat als nog aanpakt. [o]

Daarnaast veroorzaakt de stroming ten westen van de Suurhoffbrug grootschalige bodemerrosie in het Hartelkanaal, zie hoofdstuk 6.1.

4.1.2. Stroming ter plaatse van de Rozenburgse sluis

Het verwijderen van de Rozenburgse sluis heeft directe gevolgen voor de stromingen in de vaarweg tussen het Calandkanaal en het Hartelkanaal. In de huidige situatie vormt de Brittaniehaven samen met de Rozenburgse sluis het doodlopende einde van het Calandkanaal, waardoor hier nauwelijks sprake is van stroming. Uit de resultaten van 1D stromingsberekeningen van ZWENDL wordt verwacht dat de stroming sterk zal toenemen als gevolg van het binnendringen van het getij op het Hartelkanaal.

De verwachte stroming aan de hand van 1D ZWENDL berekeningen staan aangegeven in Grafiek 4. [21] Met name onder de Calandbrug en langs de Seinehaven en Brittaniehaven kan dit gevolgen hebben voor de manoeuvreerbaarheid en de veiligheid van de schepen.



Grafiek 4: stroming ter plaatse van de Rozenburgse sluis op basis van 1D berekeningen

Voor de stabiliteit van de bodem en de taludbescherming spelen stromingen ook een grote rol. Hier wordt verder op ingegaan in hoofdstuk 6.1.

Onduidelijk is welke stroomsnelheden toelaatbaar zullen zijn indien een open verbinding bij de Rozenburgse sluis wordt gerealiseerd. In de huidige situatie treden in het Hartelkanaal ten westen van, en bij de Suurhoffbrug stroomsnelheden op tot 1.60 m/s. [1] Deze stroomsnelheden zijn absoluut niet wenselijk. In de "Tracenota/MER Open Beerdam" wordt gesteld dat een stroomsnelheid van 2 m/s niet toelaatbaar is en 1.1 m/s acceptabel is met het oog op de scheepvaart. Acceptabele stroomsnelheden hangen ook af van andere factoren zoals bijvoorbeeld de aanwezigheid van kunstwerken of wind en dergelijke.

Aan de hand van resultaten uit deelstudie 2, met betrekking tot de te verwachten stroomsnelheden, zal moeten gekeken worden of deze acceptabel worden geacht voor de scheepvaart. Met betrekking tot de bevaarbaarheid van het Hartelkanaal als gevolg van de Open Beerdam is een simulatieonderzoek (fast-time simulatieprogramma SHIPMA) uitgevoerd. Met dit programma was het mogelijk de effecten van externe condities zoals wind, stroming, etc. op het manoeuvreergedrag van schepen te registreren. [1] Raadzaam is dit onderzoek ook uit te voeren voor de situatie van de open verbinding bij de Rozenburgse sluis.

4.2. Waterkwaliteit

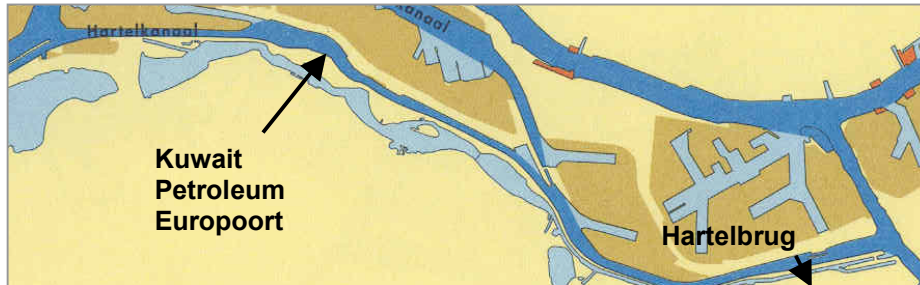
Het benedenrivierengebied voorziet een belangrijk deel van westelijk Holland van zoetwater. Voor het maken van een open verbinding tussen de twee kanalen vraagt dan ook vooral de verzilting aandacht. Door een extra open verbinding met de zee wijzigen de zoutconcentraties in het oppervlaktewater. In de volgende paragrafen worden de gevolgen behandeld op de waterkwaliteit door een opening met zee bij de Rozenburgse sluis.

4.2.1. Verzilting Hartelkanaal

Het Hartelkanaal kent als bijzondere functietoekenning “water voor karperachtigen”, waarvoor geen eisen worden gesteld aan chloridenconcentraties.[1] Een verdere verzilting van het Hartelkanaal zal voor het Hartelkanaal zelf geen nadelige consequenties hebben.

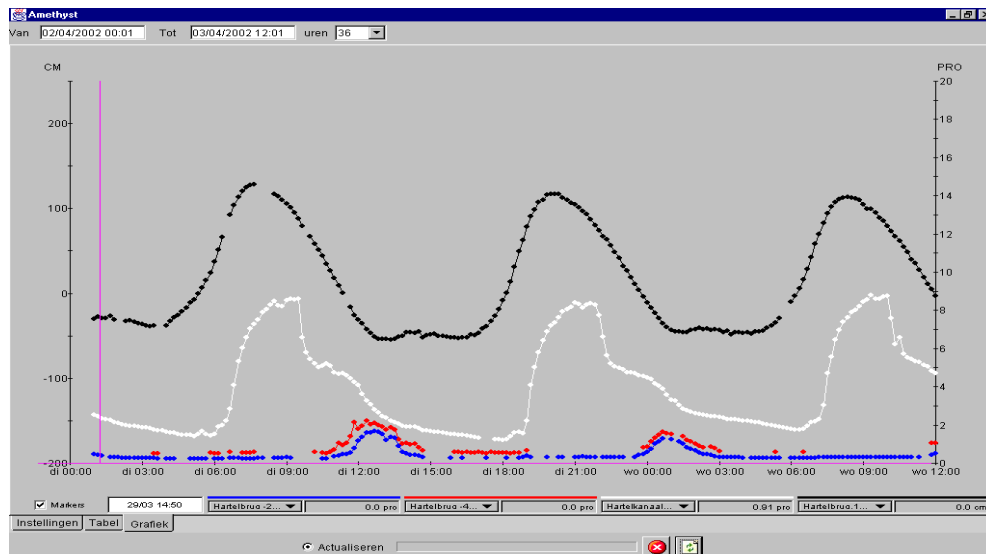
Wel heeft het zouter worden van het Hartelkanaal invloed op de waterkwaliteit van het kwelwater naar het Brielse Meer. Als gevolg van de drukverschillen infiltreert dit oppervlaktewater naar het eerste watervoerende pakket en vindt er een horizontale stroming van dit grondwater richting het Brielse Meer plaats. Daar stroomt het water als gevolg van druk weer verticaal omhoog (kwelstroom). Het zoutgehalte in het Brielse Meer zal daardoor toenemen. Tot op heden is verzilting van het Brielse Meer nog niet geconstateerd omdat de effecten van dit kwelproces pas na vele jaren zijn te meten. [p]

Het nautisch service centrum (NSC) meet het zoutgehalte bij de Hartelbrug en bij de Q8 terminal, aangegeven op Figuur 14.



Figuur 14: Meetpunten van het zoutgehalte registratie programma NSC

In figuur 15 is bij een willekeurige afvoer van de rivieren en een willekeurig getij het gemeten chloridengehalte te zien. De zwarte lijn laat de getijkromme zien bij de Hartelbrug als functie van de tijd (eenheid CM). De witte lijn geeft het saliniteitsgehalte van het water bij het Kuwait meetpunt (eenheid PRO). De blauwe lijn geeft de saliniteit in het oppervlakte water bij de Hartelbrug. De rode lijn meet deze saliniteit 5 meter onder water bij de Hartelbrug.



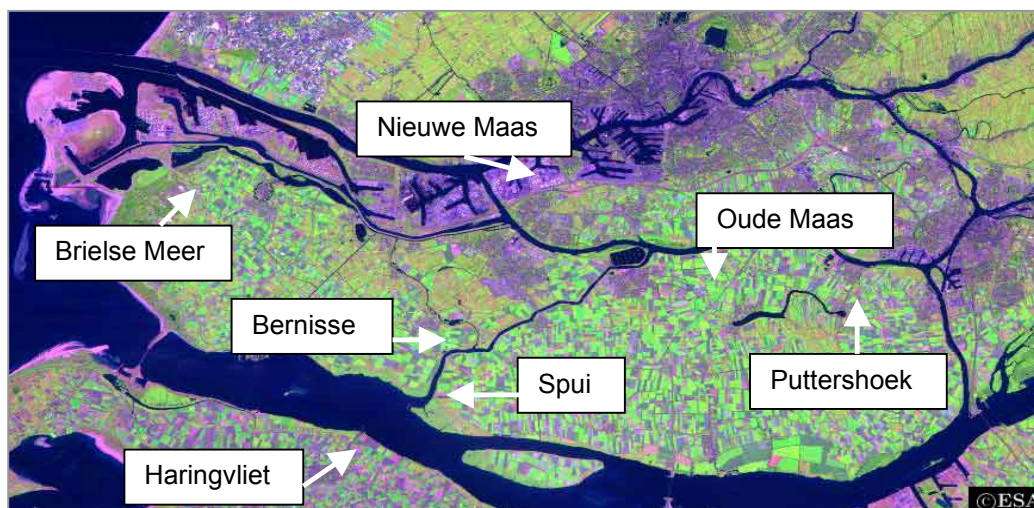
Figuur 15: saliniteitgehalten in het Hartelkanaal

Duidelijk is te zien dat het saliniteitsgehalte in het Hartelkanaal ten westen van de Rozenburgse sluis sterk afhankelijk is van het getij, terwijl een paar kilometer verder bij de Hartelbrug de invloed van het getij op de saliniteit van het water veel minder merkbaar is.

Uit het bovenstaande is te verwachten dat het realiseren van een open verbinding bij de Rozenburgse sluis tot gevolg heeft dat het zoutgehalte bij de Hartelbrug zal toenemen.

4.2.2. Verzilting Oude Maas

In het Rotterdamse rivierengebied liggen enkele wateren die een kwetsbare gebruiksfuncties hebben. Deze wateren staan aangegeven op Figuur 16. Zo wordt het water in het Brielse Meer en de Bernisse gebruikt voor agrarisch doeleinden. [1]



Figuur 16: Wateren Beneden Rivieren Gebied

De Bernisse voert water aan naar het Brielse Meer, van waaruit onder meer water voor de landbouwwatervoorziening wordt doorgeleverd naar het hoogheemraadschap van Delfland ten behoeve van -ondermeer- de kassen van het Westland.

De boezemwateren van het Brielse Meer worden, naast neerslag en polderwater, gevoed door de inlaat vanuit het Spui, via de Bernisse, en de Oude Maas. Het water uit de Oude Maas wordt alleen ingelaten bij het Brielse Meer indien het chloridengehalte niet meer dan 200mg/l bedraagt.

Het water in het Spui wordt in de huidige situatie aangevoerd uit zowel het Haringvliet als vanuit de Oude Maas. Gedurende een getijcyclus stroomt het water in beide richtingen. In sommige gevallen dringt zout water vanuit het noorden (dus vanaf de Oude Maas) het Spui binnen tot voorbij de inlaatopening naar de Bernisse. Dit wordt 'achterwaartse verzilting' genoemd, waarbij de chloridenconcentratie in het water toeneemt. Achterwaartse verzilting treedt op bij hoge waterstand bij lagere afvoeren.[15]

De kwaliteit van het water in de Oude Maas is voor deze wateren met kwetsbare gebruiksfuncties van belang. De Oude Maas is een zoetwatergetijdegebied. Het aanvankelijk zoete water, nabij de Puttershoek, wordt verder richting zee langzaam brak, zie Figuur 16. Het water in de Oude Maas bevat altijd een zekere hoeveelheid zout. Ten eerste wordt het zoutgehalte bepaald door het zoutgehalte van het Rijnwater dat bij Lobith ons land binnenstroomt. Dit Rijnwater heeft gemiddeld een chloridenconcentraties van zo'n 170 mg/l. Bij lage afvoeren kan dit gehalte fors oplopen tot meer dan 300 mg/l. Bij hoge afvoeren komen lage chlorideconcentraties voor, tot minimaal zo'n 50 mg/l.

Ten tweede kan het zoute zeewater (chloridenconcentratie 12000 mg/l), bij een toename van de zeewaterstand, via de Nieuwe Waterweg en Nieuwe Maas doordringen tot aan de Oude Maas. Vooral bij lage rivierafvoeren is de kans op verzilting groot. Een geringe verhoging van de zeewaterstand is reeds voldoende om zeewater te laten doordringen op de Oude Maas. [15] Door het openen van de Beerdam kan zeewater nu ook via het Hartelkanaal doordringen in de Oude Maas.

In Tracenota/ MER Open Beerdam werd verwacht dat de verzilting op de Oude Maas als gevolg van de Open Beerdam niet tot nauwelijks zou toenemen.[1]

Het effect van de Open Beerdam op de verziltings-problematiek in de Oude Maas is nog niet bekend. Gepland is om zoutmetingen in het jaar 2003 te evalueren. [p] Indien het Hartelkanaal verder zou verzilten, door een opening met het Calandkanaal bij de Rozenburgse sluis kan dit een toename van de zoutindringing op de Oude Maas als gevolg hebben.

Hierbij moet rekening gehouden worden met een veranderd openingsregime van de Haringvlietsluizen. Momenteel worden er onderzoeken gedaan naar de mogelijkheid om de Haringvlietsluizen anders te beheren. Dit houdt een terugkeer in van het getij en het zoute water op het Haringvliet. Aangezien het Spui gedeeltelijk wordt gevoed door het Haringvliet betekend dit dat de achterwaartse verzilting en daarmee de zoutindringing bij de Bernisse zouden kunnen toe nemen. [15] Dit aspect wordt niet verder uitgewerkt binnen deze studie.

4.3. Waterstanden

In de Tracenota/ MER Open Beerdam (augustus 1992) worden voorspellingen gedaan met betrekking tot de Maatgevende Hoog Waterstanden (MHW) op het Hartelkanaal. Deze voorspellingen worden gedaan voor zowel de situatie met een vrije doorvaartopening (1000m breed) door de Beerdam als een vrije doorvaartopening ter hoogte van de Rozenburgse sluis (250m breed). De waterstanden zijn het resultaat van modelberekeningen met ZWENDL (zie 4.1.1).

De MHW is de waterstand met een overschrijdingsfrequentie gelijk aan de veiligheidsnorm voor dijken en dijkeringen, namelijk een overschrijdingsfrequentie van 1/10.000 per jaar. De aan het Hartelkanaal gelegen Brielse Maasdijk behoort tot de dijkkring Voorne Putten en heeft derhalve een veiligheidsnorm van 1/4.000 per jaar. [1]

Voorspeld werd een verhoging van de MHW door het openen van de Beerdam langs de Brielse Maasdijk van ongeveer 1.2m, ten opzichte van 4.10m +NAP (overschrijdingsfrequentie 1/4000 per jaar) en 4.30m +NAP (overschrijdingsfrequentie 1/10000 per jaar). Een open Rozenburgse sluis daarbovenop heeft nauwelijks effect op de MHW's. Bij het verloop van de maximale dagelijkse hoogwaterstanden (Hmax) werd voorspeld dat deze toe nemen met ongeveer 0.3m tot ruim 1.5m +NAP, bij een Open Beerdam en een open Rozenburgse sluis. Enkel een open Beerdam zou nauwelijks wijzigingen geven van de dagelijkse hoogwaterstanden. [1]

De voorspelde waterstanden met betrekking tot een open Beerdam blijken goed overeen te komen met de in werkelijkheid gemeten waterstanden door het Nautisch Service Center. [q]

Aangezien de MHW door de open Rozenburgse sluis niet zullen stijgen voldoen de dijkhoogtes aan het Hartelkanaal aan de eisen m.b.t. de overschrijdingsfrequentie van dijken. De open verbinding heeft echter ook gevolgen voor het optreden van seiches op het Hartelkanaal, welke mede bepalend zijn voor de dijkhoogte (zie hoofdstuk 4.4).

Naar aanleiding van de resultaten uit deelstudie 2 zal worden teruggekomen op de te verwachte waterstanden, waarbij het optreden van seiches en de gevolgen buiten beschouwing worden gelaten.

4.4. Seiches

Een seiche is een opslinging van de waterspiegel in havens en andere bekkens in hun eigenfrequentie. Een seiche wordt opgewekt door energie die aangeboden wordt bij de Maasmond in zee en van daar uit het Europoortgebied binnendringt. Seiches manifesteren zich als een stationaire waterstandverhoging van beperkte duur. Voor de bepaling van de hoogte van de dijk is dit een belangrijke factor, omdat de som van de MHW en seichestoeslag de ontwerpwaterstand bepaalt. [1] De waterstandverlaging is van belang voor de scheepvaart. De waterdiepte van het vaarwater kan in korte tijd sterk afnemen, waardoor schade aan de romp van schepen kan worden aangericht.

De grootte van de seiches is mede afhankelijk van de reflectiecoëfficiënt van de havens. Bij de Rozenburgse sluis zijn seiches gemeten met een hoogte van circa 1.75m. [1] In de laatste jaren ('95 tot '01) zijn in het Rotterdams havengebied 51 seiches waargenomen met een top-dal verschil van minimaal 25 cm. Het maximale top-dal verschil waargenomen in deze periode is 164 cm. [r]

Wijzigingen in de geometrie van het Europoortgebied hebben gevolgen voor de opslingerfrequentie en de hoogte van het seiche. Naar gelang het aantal openingen naar het Hartelkanaal nemen de seiches af in het Calandkanaal en nemen ze toe op het Hartelkanaal. In het Tracenota/ MER Open Beerdam (1992) worden voorspellingen gedaan ten aanzien van het optreden van seiches: door een open verbinding ter hoogte van de Rozenburgse sluis nemen de seiches op het Calandkanaal af tot 0.35m, terwijl de seiches op het Hartelkanaal toenemen tot gemiddeld 0.4m. [1] Deze verwachtingen wordt onderschreven door M. de Jong, die promoveert aan de faculteit Civiele Techniek op het verschijnsel van de opwekking van seiches in de Noordzee en hun uitwerking in het bijzonder de Rotterdamse haven.

Onderzocht dient te worden of de huidige dijkhoogte langs het Hartelkanaal zal voldoen, rekening houdend met het optreden van seiches, nadat een open verbinding bij de Rozenburgse sluis is gerealiseerd.

4.5. Conclusie Hydraulische aspecten

Voorspeld wordt dat door het maken van een open vaarwegverbinding de stroomsnelheden in het Hartelkanaal bij het Beergat zullen halveren. Tegelijkertijd zullen de stromingen in de omliggende havens bij de Rozenburgse sluis toenemen. De stromingen ter hoogte van de sluis worden in kaart gebracht in deelstudie 2.

De open verbinding van het Hartelkanaal met het Calandkanaal heeft gevolgen voor de kwaliteit van het oppervlaktewater van het Hartelkanaal. Verzilting van het Hartelkanaal heeft geen nadelige consequenties voor het kanaal zelf. Wel moet naar de gevolgen van een eventuele toename van zoute kwel naar het Brielse Meer gekeken worden.

Daarnaast is te verwachten dat een toenemende verzilting van het Hartelkanaal invloed heeft op het zoutgehalte van het water op de Oude Maas. De kwaliteit van het water in de Oude Maas is van belang voor de waterkwaliteit van het Brielse Meer en de Bernisse, welk water gebruikt wordt voor agrarische doeleinden. De effecten van de opening naar het Calandkanaal op de verziltingproblematiek in de Oude Maas moeten goed onderzocht worden.

Als gevolg van een openverbinding ter plaatse van de Rozenburgse sluis wordt weinig verandering verwacht van de MHW op het Hartelkanaal. Door het mogelijk optreden van seiches op het Hartelkanaal als gevolg van de open Rozenburgse sluis zal de vereiste dijkhoogtes langs het Hartelkanaal toenemen. Dit dient verder uitgezocht te worden.

5. Infrastructuur en bouwwerken

5.1. Omléidingsroute van de Calandbrug

De bruggen over de Rozenburgse sluis verbindt de aan de westkant gelegen Neckarweg met de aan de oostkant gelegen Theemsweg. Beide wegen staan in verbinding met de N15, zie Figuur 17. Na de ingebruikname van de Calandtunnel in 2003 is de omléidingsroute over de Rozenburgse bruggen dan niet meer nodig voor het gewone wegverkeer, maar wel voor het (brom)fietsverkeer en vervoer explosief gevaarlijke stoffen en de hulpdiensten, zie hoofdstuk 2.3.3.



Figuur 17: vluchtroute over de Rozenburgse sluis

Het de vraag of een alternatieve route voor de Calandbrug noodzakelijk is voor het(brom)fietsverkeer en vervoer explosief gevaarlijke stoffen. Gekeken kan worden naar vergelijkbare situaties, zoals de Botlekbrug en tunnel. Op 6 juni 1999 werd de Botlekbrug tijdelijk afgesloten voor het autoverkeer. Automobilisten konden gebruik maken van de Botlektunnel. Het transport van gevaarlijke stoffen werd omgeleid via de pont Rozenburg/Maassluis. Bij de Calandbrug zou het eventueel ook mogelijk zijn het vervoer van gevaarlijke stoffen om te leiden de Hartelbrug en de Harmsenbrug. Deze route loopt over secundaire wegen, maar niet door woonwijken. Uitgezocht moet worden welke bijzondere veiligheidseisen worden gesteld aan een alternatieve vluchtroute.

Daarnaast is de route over de Rozenburgse sluisbrug een belangrijke verbindingsroute voor de hulpdiensten: brandweer en politie. De politie heeft een klein kantoor naast de Rozenburgse sluis en een nieuw groot politiekantoor in aanbouw, zie hoofdstuk 5.4. Door de aanwezige verbinding tussen de Europoort en de Botlek heeft de locatie een centrale ligging. De bereikbaarheid verslechtert indien de Rozenburgse sluisbruggen worden verwijderd. De politie is dan genoodzaakt om te rijden via de N15.

De brandweer heeft een kazerne aan het oostelijke uiteinde van de Theemsweg. Om bij het Europoortgebied te komen maken zij altijd gebruik van de route over de Rozenburgse brug. Indien deze verbinding wordt opgeheven betekent dit dat zij gebruik moeten maken van de N15 over de Calandbrug of door de Calandtunnel. De brandweer voorziet in dat geval grote problemen, in verband met de drukte op de N15. [s] De situatie is echter vergelijkbaar met de situatie bij de Botlekbrug en Botlektunnel. Deze verbinden als enige het oostelijke en westelijke deel van de Botlek met elkaar. Daarnaast zal de reistijd van de brandweer over de N15 ook nauwelijks toenemen ten opzichte van de route over de Rozenburgse sluis.

Een andere optie is het aanleggen van een beweegbare brug over het Calandkanaal ter plaatse van de huidige Rozenburgse bruggen, die de Theemsweg en de Neckarweg verbindt na het verwijderen van de sluis. Dit is echter kostbaar, zie hoofdstuk 7.2.

5.2. Vluchtroute haventerreinen Huntsman, westelijke Botlek

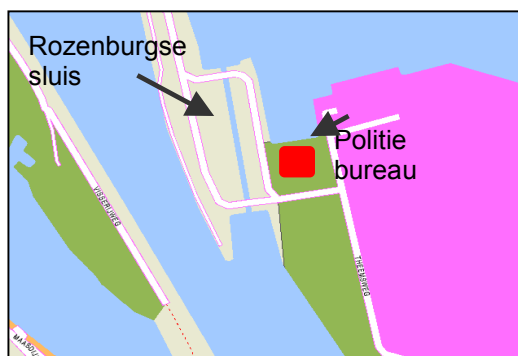
De chemische industrieën, waaronder Huntsman, gelegen aan de Theemsweg verliezen hun vluchtroute naar het westen indien de brugverbinding over de sluis verval, zie Figuur 17. Meeste vluchtroutes door het Rotterdamse havengebied staan aan één kant in verbinding met de N15 en zijn de andere kant op doodlopend tot aan het water. De veiligheid van haventerrein Huntsman zal, met een vluchtroute naar het oosten, voldoende gewaarborgd worden. [t]

5.3. Zinkers

Onder de Rozenburgse sluis liggen drie zinkers. Deze zijn ten behoeve van telefoon-, laagspannings- en signaalkabels. Iets ten zuiden van de Rozenburgse sluis ligt een zinker voor drie kleine reserve leidingen en een grote drinkwaterleiding met een buisdiameter van 1272mm. Indien de Rozenburgse sluis zou worden afgebroken en een bredere open vaarweg wordt aangelegd zullen de bestaande zinkers vervangen moeten worden door nieuwe zinkers of geboorde leidingen onder de grond. [u]

5.4. Bouwwerken bij de Rozenburgse sluis

De Rozenburgse sluis wordt bediend door sluiswachters vanuit het sluiswachtergebouw gelegen naast de sluis. Ten noordoosten van de Rozenburgse sluis staat naast de sluis een klein politiebureau, met daarnaast een nieuw politie kantoor in aanbouw. Op Figuur 18 staat met rood de locatie van het politiebureau aangegeven.



Afhankelijk van de lay-out van het verbindingskanaal tussen het Hartelkanaal en Calandkanaal, zou het politiegebouw wel of niet moeten worden verwijderd. Momenteel verhuurt het GHR het kavel aan de politie, voor enkele tientallen jaren. Indien dit stuk land gebruikt moet worden voor de kanaalverbinding, zal een nieuwe locatie moeten worden gevonden en een moet een nieuw gebouw worden vergoed (bouwkosten €1,7 miljoen). [v]

Figuur 18: Locatie politiebureau in aanbouw

5.5. Conclusie Infrastructuur en gebouwen

Indien een open doorvaartverbinding tussen het Calandkanaal en het Hartelkanaal wordt aangelegd, gaat een extra wegverbinding tussen de Botlek en de Europoort verloren.

Door de aanleg van de Calandtunnel vervalt de functie van omleidingsroute voor wegverkeer van de bruggen over de sluis. Dit geldt echter niet voor het (brom)fietsverkeer en vervoer explosief gevaarlijke stoffen, aangezien zij niet door de tunnel mogen. In geval van een calamiteit op de brug kunnen zij worden omgeleid via de Hartelbrug en de Harmsenbrug.

Daarnaast verliezen brandweer en politie een directe verbindingroute. Het omrijden via de N15 is echter niet onoverkomelijk. Het is dus niet noodzakelijk om een nieuwe wegverbinding ter plaatse van de Rozenburgse sluis aan te leggen.

Indien een nieuwe vaarweg verbinding wordt aangelegd moet er rekening worden gehouden met het feit dat een nieuw politiebureau naast de Rozenburgse sluis in aanbouw is.

6. Overige aspecten

6.1. Waterbodem

Door de grote stromingen in het in het smalle deel van het Hartelkanaal ten westen van de Dintelhaven is de bodem over de gehele lengte gaan eroderen. Op verschillende plaatsen zijn erosiekuilen ontstaan van NAP. –16 meter of meer. De diepte van de erosiekuil blijkt nauwelijks invloed te hebben op het stroombeeld in verband met de scheepvaart. Echter voor de stabiliteit van de oeverbescherming en de dijken langs het Hartelkanaal, welke deel uitmaken van de primaire waterkering is het van groot belang dat de erosiekuilen niet dieper worden dan 16m –NAP. Ondanks preventieve bestortingen, die worden uitgevoerd zodra de erosie binnen het NAP. –16 meter grensprofiel komt, gaat de erosie door. [13]

De kosten van deze bestortingen worden jaarlijks hoger doordat de erosiegrens op steeds meer plaatsen wordt bereikt. In 1999 werd €61.000,- besteed aan bestortingen, in 2000 €25.000,- en in 2001 werd in totaal €417.000,- uitgegeven. Tot en met maart 2002 is reeds €118.000,- besteed aan bestortingen. Momenteel wordt gekeken naar een integrale oplossing, waarbij in één keer een 40 cm dik mijnsteen pakket wordt afgestort, over een lengte van 2,5 km. De geraamde kosten hiervoor zijn €1.600.000,-. [w]

Indien de stromingen in dit deel van het Hartelkanaal zullen halveren, zal de benodigde dikte van het mijnsteen pakket afnemen. De benodigde dikte van een bodembescherming is evenredig met de stroomsnelheid in het kwadraat.[16] Bij de huidige stroming (ongeveer 1,4 m/s) is een dikte nodig van 40cm. Indien de stroming halveert naar 0,7 m/s zal de benodigde dikte 10 cm worden. Ook is het mogelijk dat bij halvering van de stroomsnelheid, de snelheid dusdanig laag wordt, dat het bodembed niet verder erodeert en een nieuwe evenwichtssituatie ontstaat. In dat geval zal helemaal geen bodembescherming meer nodig zijn.

Bij een open verbinding tussen het Calandkanaal en het Hartelkanaal kunnen hier ook grote stroomsnelheden en verschillen optreden, met als mogelijk gevolg het ontstaan van erosiekuilen. In dat geval moet ter plaatse van de erosie ook bodembescherming worden aangelegd. Deelstudie 2 geeft inzicht in de te verwachten stroomsnelheden ter hoogte van de Rozenburgse sluis. Aan de hand hiervan zal eventueel mogelijk zijn een uitspraak te doen over de te verwachten erosiekuilen.

6.2. Natuur en landschap

Voor het maken van een nieuwe waterwegverbinding is ruimte nodig. Naast de Rozenburgse sluis is ruimte in beperkte mate beschikbaar. Op een stuk land naast de sluis staat een wilgen opslag. Uit landschappelijk oogpunt moet het verlies van de wilgenopslag als negatief worden gewaardeerd. Wettelijk is bepaald dat elke verwijderde boom gecompenseerd moet worden. Een eventuele locatie daarvoor is het braakliggende terrein naast deze wilgenopslag. [x]

Het graven van een doorvaartopening bij de Rozenburgse sluis betekent dat hier een biotoop voor op de bodem levende planten en dieren verloren gaat. Omdat de bestaande planten en dieren vrij algemeen voorkomen, wordt deze verandering niet negatief beoordeeld. Er komt water met daarin levende planten en dieren voor in de plaats. [1]

Het verwijderen van de sluis en het natuurlijk herinrichten van dit gebied, door middel van een open vaarverbinding, is vanuit landschappelijk oogpunt gezien als een positieve ontwikkeling.

7. Kosten

De tijdshorizon van deze studie loopt tot en met 2020. Hiervoor is gekozen met het oog op de tijdshorizon van reeds uitgevoerde economische verkenningen zoals o.a. de lange-termijn-ramingen voor de haven van Rotterdam, "Integrale verkenning voor de haven en industrie 2020" en de studie "Capaciteitsbepaling van het Hartelkanaal, 1995–2020".

De kosten van het verwijderen van de Rozenburgse sluis en maken van een open vaarverbinding en de kosten van het instandhouden van de sluis worden uitgerekend tot en met het jaar 2020. Deze zullen met elkaar worden vergeleken in hoofdstuk 7.3.

Een essentieel aspect bij de vergelijking van kosten van projecten is het feit dat de jaarlijkse kosten over een aantal jaar niet zondermeer opgeteld mogen worden en vergeleken met kosten gemaakt in een bepaald jaar. De bedragen moeten tijd neutraal gemaakt worden. Hierbij moet rekening worden gehouden met rente en inflatie. In dit rapport wordt uitgegaan van een jaarlijkse inflatie van 3% en een rentevoet van 6%.

In dit rapport wordt verondersteld dat het project van het verwijderen van de sluis in het jaar 2004-2005 zal plaats vinden. Van de kosten van het verwijderen en de kosten van het behouden van de sluis, wordt hun netto contante waarde bepaald voor het jaar 2004, zodat de bedragen met elkaar vergeleken kunnen worden.

7.1. Kosten behoud sluis

Na het doorbreken van de Beerdam was het onduidelijk of de Rozenburgse sluis op langere termijn in bedrijf moest blijven. Daarom is in juni 1998, het toenmalige Management Team Directie Exploitatie en Acquisitie (MTDEA), akkoord gegaan met het voorstel voor het uitvoeren van werkzaamheden om de Rozenburgse sluis tot het jaar 2004 preventief te onderhouden. Opdracht is gegeven voor het uitvoeren van een nut/noodzaak studie m.b.t. het gebruik van de Rozenburgse sluis na 2004. [17] Deze studie is tot op heden niet uitgevoerd.[aa]

Met preventief onderhoud wordt minimaal onderhoud verstaan ter verbetering van arbo en milieu zaken, buiten het normale dagelijkse en storingsonderhoud. In feite wordt de achteruitgang in kwaliteit niet tegen gegaan. Het lagere onderhoudsniveau in de afgelopen 4 jaar heeft er toe geleid dat er rond het jaar 2004 'groot onderhoud' uitgevoerd moet worden. [18]

In het "Meerjarenuitvoeringsplan 2002 – 2006" zijn de kosten van dit jaarlijks preventief onderhoud begroot. Onder dagelijks en storingsonderhoud wordt verstaan het uitvoeren van elektronische en mechanisch inspectie onderhoud aan zowel de brug als de sluis. Dit onderhoud aan de sluis bedraagt jaarlijks ongeveer €150.000,- en aan de brug ongeveer €50.000,-. Daarnaast is na het openen van de Beerdam, als gevolg van het getij, sprake van mosselgroei aan de sluisdeuren hetgeen problemen veroorzaakt bij gebruik. Het is daarom noodzakelijk deze mosselen jaarlijks te verwijderen, jaarlijkse kosten €50.000,-. In totaal betekend dit jaarlijkse onderhoudskosten van €250.000,-. [19]

In deze begroting is geen rekening gehouden met het geplande 'groot onderhoud'. Afdeling Beheer en Bodem hebben de opdracht gekregen een plan op te stellen voor het groot onderhoud van de Rozenburgse sluis. In augustus 2002 zal gestart worden met deze inventarisatie. [y]

Om een indicatie van deze kosten van het benodigde 'groot onderhoud' te krijgen wordt gekeken naar cijfers uit het rapport "Onderhoudsbegroting Rozenburgse sluis" door Gemeentewerken Rotterdam, 24 juli 1997. Hierin wordt het optimaal onderhoud van de Rozenburgse sluis beschreven. Optimaal onderhoud houdt in: onderhoud d.m.v. periodiek onderhoud, buiten het normale dagelijkse en storingsonderhoud het vervangen van de onderdelen die binnen 15 jaar ernstige kwaliteitsvermindering van de sluis veroorzaken. In feite wordt de huidige situatie verbeterd.

Dit "groot onderhoud" had uitgevoerd moeten worden vanaf 1998 tot 2004. De totale kostenpost van dit onderhoud was F110.000.000,- ofwel €4.500.000,-. Het 'groot onderhoud' dat in 2004 zal moeten worden uitgevoerd zal grotendeels overeen komen met de activiteiten gepland bij het onderhoud 1998 - 2004. [y] Rekening houdend met een inflatie van jaarlijks 3% zal het 'groot onderhoud' in 2005 neerkomen op €5.500.000,-. Aangezien dit onderhoud nu vijf jaar later moet worden uitgevoerd, waarbij de huidige situatie nog meer verslechterd is, wordt verwacht dat dit groot onderhoud nu meer zal kosten. In de kostenraming wordt dit buiten beschouwing gelaten, aangezien onduidelijk is hoeveel méér de kosten zullen zijn.

Na het uitvoeren van 'groot onderhoud', zal het jaarlijks onderhoud toenemen om zo de sluis voor een lange periode in goede staat te behouden. Verwacht wordt dat de kosten van dit jaarlijks onderhoud aan de sluis zullen verdubbelen tot €300.000, ten opzichte van de preventieve jaarlijkse onderhoudskosten (€150.000). Overige onderhoudskosten, zoals bijvoorbeeld het verwijderen van de mosselen en het onderhoud van de bruggen, blijven gelijk (2 x €50.000). De kosten voor dit onderhoud komen totaal neer op €400.000,- per jaar. [y]

Naast de onderhoudskosten van de Rozenburgse sluis moeten personeelskosten betaald worden om de Rozenburgse sluis in gebruik te houden. Bij de Rozenburgse sluis zijn 14 sluis- en brugwachters werkzaam. Zij werken in ploegendienst waarvan een ploeg bestaat uit twee man. Een daarvan bedient de sluis, de ander bedient de bruggen over het Hartelkanaal. Indien de Rozenburgse sluis verwijderd zou worden zal de functie van brugwachter van de bruggen over het Hartelkanaal blijven bestaan. In de kostenraming wordt daarom enkel gerekend met de kosten voor de sluiswachter.

Het salaris van een sluiswachter van het GHR valt in schaal 5. Zij verdienen bruto per jaar ongeveer 35.000 euro. Voor het GHR betekent dit een kostenpost van ongeveer € 44.000 per sluiswachter per jaar, hetgeen neerkomt op de totale personeelskosten voor de sluis per jaar van is €308.000,- (7 x € 44.000). [z] Om geen valse verwachtingen te scheppen omtrent de nauwkeurigheid van deze bedragen worden zij afgerond op 10.000.

Een schatting van de totale onderhoudskosten in een tijdhorizon tot en met het jaar 2020 wordt op basis van bovenstaande gegevens gemaakt, zie Tabel 7. Hierbij wordt aangenomen dat het eenmalig onderhoud zal plaatsvinden in 2004. Benadrukt wordt dat dit een zeer globale indicatie is. Hierbij zijn de totale kosten omgerekend naar hun waarde in 2005, rekening houdend met een inflatie van 3% en rente van 6%. Deze berekeningen zijn te zien in de Appendix 1.

Kosten behoud Rozenburgse sluis		
Eenmalig onderhoud 2004		€ 5.400.000,-
Jaarlijks onderhoud (waarde in 2005)	€400.000,-	
Totaal jaarlijkse onderhoud 2005 – 2020 (3%inflatie, 6% rente, omgerekend naar 2004)		€5.100.000,-
Personeels kosten (waarde in 2005)	€310.000,-	
Totaal Personeels kosten 2005 – 2020 (3%inflatie, 6% rente, omgerekend naar 2004)		€4.000.000,-
Bodembescherming westelijk uiteinde Hartelkanaal		p.m.
Economische schade door oponthoudt scheepvaart		p.m.
Economische schade door stroming Open Beerdam		p.m.
Totaal		€14.500.000

Tabel 7: totale kosten behoud sluis

7.2. Kosten verwijderen sluis

Voor dit onderzoek is door het Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam een globale kostprijs berekening voor het sloopwerk en de aanleg van het kanaal opgesteld. In een rapport wordt een globaal overzicht gegeven van de te verrichten werkzaamheden die nodig zijn op de sluis te slopen en een kanaalverbinding aan te leggen.

Hierbij is uitgegaan van de volgende zaken:-

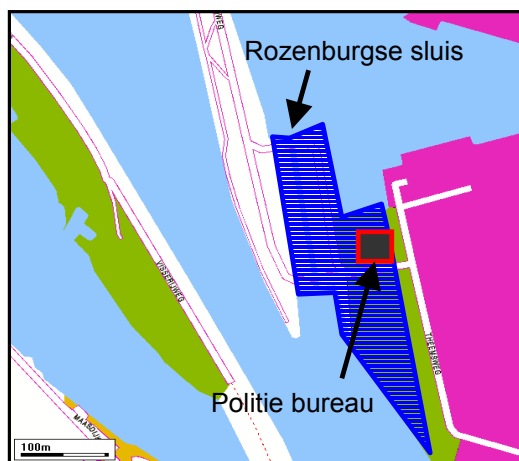
- het kanaal krijgt een breedte op NAP niveau van 200 meter;
- de baggerdiepte van het kanaal is NAP –6,50 meter;
- het kanaal wordt in het verlengde van het Calandkanaal aangelegd, ter plaatse van de Rozenburgse sluis, zie Figuur 19;
- de sluiskolk moet geheel verwijderd worden;
- de twee basculebruggen worden verwijderd;
- drie zinkers ten zuiden van de sluiskolk moeten worden verwijderd en een nieuwe zinker moet worden neergelegd of geboord;
- nieuwe oeverglooiingen moeten worden aangelegd.

Een aantal zaken zijn bij de kosten berekening buiten beschouwing gelaten:-

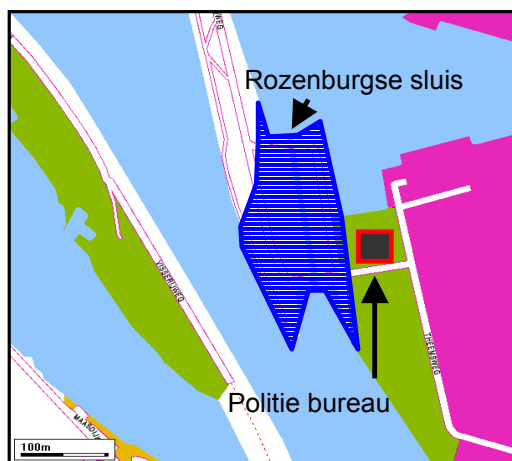
- de kosten van kademuren en oevers aan het Hartelkanaal achter de Rozenburgse sluis die eventueel opgehoogd moeten worden, afhankelijk van de te verwachten nieuwe maatgevende waterstanden en seiches;
- de kosten van eventuele bodembescherming als gevolg van stroomsnelheden;
- de kosten van een beweegbare brug over de kanaalverbinding;
- het politiebureau in aanbouw, zal bij de ligging van de kanaalverbinding zoals in Figuur 19 afgebroken en verplaatst moeten worden. De kosten hiervan zijn niet meegenomen.

Het verplaatsen van het politiebureau is kostbaar. Indien kanaalaansluiting wordt gemaakt zoals aangegeven in *Figuur 20* kan het politiebureau blijven staan. Deze verandering zal weinig gevolgen hebben voor de kosten van de aanleg van de kanaalverbinding. Het grondverzet zal min of meer gelijk blijven. Ook de lengte van de benodigde zinkers verandert niet. [bb]

De kosten van de bouw van een brug over deze kanaalverbinding waarbij de Theemsweg en de Neckarweg worden verbonden zal de kosten van het totale project vermoedelijk verdubbelen. [bb]



Figuur 19: lay-out kanaalverbinding, uitgangspunt bij de kosten berekening



Figuur 20: lay-out kanaalverbinding met instandhouden van politiebureau

In Tabel 8 staan de globale kosten berekening voor het sloopwerk en de aanleg van de kanaalverbinding, opgesteld door Gemeentewerken Rotterdam. Verwacht wordt dat het uitvoeren van de werkzaamheden ongeveer anderhalf jaar in beslag nemen.

Kosten sloop sluis, aanleg kanaalverbinding	
Sloopwerk	€ 5.900.000
Grond- en baggerwerk	€ 8.300.000
Sub totaal	€ 14.200.000
10% onvoorzien	€ 1.400.000
Bodembescherming t.p.v. nieuwe kanaalverbinding	p.m.
Economische schade door stroming t.p.v. kanaalverbinding	p.m.
Ophogen dijken en terreinen aan Hartelkanaal achter sluis	p.m.
Totaal	€ 15.600.000

Tabel 8: Kosten verwijderen sluis en maken van een nieuwe kanaalverbinding

7.3. Conclusie kosten

De kosten van het behoud van de sluis en het verwijderen van de sluis en maken van een nieuwe kanaalverbinding zijn omgerekend naar de kosten in 2005. Deze staan in Tabel 9. Toegevoegd zijn aspecten waarvan de waarde in geld niet bekend is.

Kosten behoud Rozenburgse sluis	€14.500.000
Bodembescherming westelijk uiteinde Hartelkanaal	p.m.
Economische schade door oponthoudt scheepvaart	p.m.
Economische schade door stroming Open Beerdam	p.m.

Kosten sloop sluis, aanleg kanaalverbinding	€ 15.600.000
Bodembescherming t.p.v. nieuwe kanaalverbinding	p.m.
Economische schade door stroming t.p.v. kanaalverbinding	p.m.
Ophogen dijken en terreinen aan Hartelkanaal achter sluis	p.m.

Tabel 9: Totale kosten sloop en behoud Rozenburgse sluis tegen elkaar uitgezet

Tabel 9 laat zien dat de kosten van het verwijderen van de sluis en het maken van een nieuwe kanaalverbinding zijn 10% méér dan de kosten van het behoud van de sluis tot en met 2020. Verwacht wordt dat de bijkomende kosten (bodembescherming, economische schade e.d.) bij het behoud van de sluis groter zullen zijn dan het verwijderen van de sluis. Vermoedelijk zullen de kosten van beide projecten elkaar niet veel ontlopen. Daarnaast dient er rekening mee gehouden te worden dat de kosten voor het in stand houden van de Rozenburgse sluis na het jaar 2020 doorgaan.

8. Evaluatie betrokken aspecten

In dit hoofdstuk worden de gevolgen van de betrokken aspecten tegen elkaar afgewogen om zo een conclusie te kunnen trekken omtrent het wel of niet verwijderen van de Rozenburgse sluis en het maken van een kanaalverbinding tussen het Hartelkanaal en het Calandkanaal.

Bij deze evaluatie wordt uitgegaan van de volgende doelstelling:-

Het doel van dit onderzoek is te inventariseren of nautisch, economisch en milieutechnisch interessant is voor het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam om de Rozenburgse sluis te verwijderen en een vrije doorgang voor de scheepvaart te generen.

Uitgangspunt hierbij is dat het nautisch en hydraulisch gezien mogelijk is een open verbinding te realiseren tussen het Hartelkanaal en het Calandkanaal. Dit betekent ten eerste dat ervan wordt uitgegaan dat de stroming in de open verbinding ter plaatse van de Rozenburgse sluis dusdanig zal zijn dat scheepvaart goed gebruik kan maken van de nieuwe kanaalverbinding. Ten tweede wordt ervan uitgegaan dat de gevolgen van de open verbinding op de verzilting op de Oude Maas toelaatbaar zijn.

Deze twee aspecten kunnen beide beslissend zijn met betrekking tot de mogelijkheid van het maken van een open vaarverbinding tussen het Hartelkanaal en het Calandkanaal. De andere besproken aspecten zijn geen van alle beslissend.

De meeste aspecten zijn niet te kwantificeren. Daarnaast hebben verschillende aspecten meer of minder invloed of gevolg. Om de betrokken aspecten zo goed mogelijk tegen elkaar af te kunnen wegen wordt de volgende methode gebruikt.

De verschillende betrokken aspecten worden op hun relevantie geschaald van 0 tot 4. Hierbij houdt het getal 0 in dat dit aspect geen enkel gevolg ondervindt van het verwijderen van de sluis en het realiseren van een open verbinding, 4 daarentegen betekent dat de gevolgen groot zijn. Vervolgens wordt bepaald of het aspect negatieve of positieve gevolgen heeft. Dit wordt aangegeven met ++ voor zeer positief, + positief, +/- neutraal, - negatief en – zeer negatief.

In Tabel 10 worden de aspecten, die besproken zijn in hoofdstuk 3 – 7, beoordeeld op hun relevantie in kolom 2 en de mate waarin zij positieve dan wel negatieve gevolg in kolom 3. In de vierde kolom worden deze beoordelingen met elkaar vermenigvuldigd, waardoor het totaal aantal plussen en minnen bij elkaar kan worden opgeteld. Meer plussen dan minnen betekend dat het verwijderen van de sluis en het realiseren van een open verbinding meer positieve dan negatieve gevolgen heeft.

Uit Tabel 10 blijkt dat het verwijderen van de sluis en het maken van een open verbinding meer positieve (25+) gevolgen heeft dan negatieve (18-). Bedacht moet worden dat hierbij ervan uitgegaan is dat de stromingen ter plaatse van de open doorvaart en de verzilting van de Oude Maas acceptabel zijn.

Mate van relevantie (invloed op, of gevolg van, het verwijderen van de sluis en het maken van een open verbinding):-

- 0 geen
- 1 weinig
- 2 neutraal
- 3 veel
- 4 heel veel

Kwalitatieve beoordeling (van de invloed op, of gevolg van, het verwijderen van de sluis en het maken van een open verbinding de aspecten):-

- ++ zeer positief
- + positief
- +/- neutraal
- negatief
- zeer negatief

Betrokken aspecten	Mate van relevantie	Kwalitatieve beoordeling	Totaal
Rozenburgse sluis als knelpunt	2	++	4+
Alternatieve achterlandverbinding Maasvlakte	1	+	1+
Capaciteit van het Hartelkanaal	3	+/-	
Binnenvaartontsluiting Maasvlakte II	1	+/-	
Brughoogtes in het Hartelkanaal	3	+	3+
Combinatie Zeevaart en binnenvaart	1	-	1-
Calamiteiten op het Hartelkanaal	1	+	1+
Stroming ten gevolge van de open Beerdam	4	++	8+
Stroming ter plaatse van de Rozenburgse sluis	4	-	4-
Verzilting Hartelkanaal	2	-	2-
Verzilting Oude Maas	4	-	4-
Waterstanden	2	-	2-
Seiches	2	+/-	
Omleidingsroute van de Calandbrug	3	-	3-
Vluchtroute haventerreinen, westelijke Botlek	1	+/-	
Zinkers	1	+/-	
Bouwwerken bij de Rozenburgse sluis	2	-	2-
Waterbodem	3	+	3+
Natuur en landschap	2	+	2+
Kosten verwijderen sluis t.o.v. behoud sluis	3	+	3+
		Totaal	25+ en 18-

Tabel 10: Beoordeling invloed en gevolg verschillende aspecten.

9. Conclusie en aanbevelingen

De belangrijkste beweegredenen om de Rozenburgse sluis te verwijderen en een open verbinding te creëren tussen het Hartelkanaal en het Calandkanaal zijn:-

- stroomsnelheden in het Hartelkanaal bij de open Beerdam halveren, hetgeen een gunstige ontwikkeling is voor de binnenvaartschepen, de zeeschepen en het tegengaan van de bodemerrosie ten westen van de Suurhoffbrug;
- kosten van het in gebruik houden van de Rozenburgse sluis is ongeveer gelijk aan de kosten van het verwijderen van de sluis en het maken van een kanaalverbinding ter plaatse;
- betere achterlandverbinding via het Calandkanaal wordt gecreëerd, waarbij het Hartelkanaal wordt ontlast, hetgeen een algehele verbetering voor de binnenvaart van de achterlandverbindingen van de Rotterdamse haven betekend.

De belangrijkste negatieve gevolgen van deze verandering zijn naar verwachting:-

- stroming die ontstaat ter plaatse van de Rozenburgse sluis als gevolg van de open verbinding;
- toename van de verzilting op de Oude Maas.

In hoeverre deze negatieve gevolgen een rol spelen is onbekend. Deze twee factoren kunnen echter beslissend zijn met betrekking tot de mogelijkheid om een open verbinding ter plaatse van de Rozenburgse sluis te realiseren. Het is daarom nog niet mogelijk een concreet antwoord te geven op de vraagstelling of het nautisch, economisch en milieutechnisch gezien interessant is voor het GHR om de Rozenburgse sluis te verwijderen en een vrije doorgang voor de scheepvaart te generen.

Indien de negatieve effecten van een open verbinding ter plaatse van de Rozenburgse sluis acceptabel zijn wordt naar aanleiding van dit onderzoek het GHR geadviseerd de Rozenburgse sluis te verwijderen en open vaarverbinding tussen het Hartelkanaal en het Calandkanaal te creëren.

Nader onderzoek zal moeten worden verricht naar de volgende onderwerpen:-

- invloed van de open verbinding op het optreden van seiches op het Hartelkanaal, en invloed daarvan op de minimaal benodigde dijkhoogte;
- stroming die op zal treden ter plaatse van de Rozenburgse sluis als gevolg van de open verbinding tussen het Hartelkanaal en het Calandkanaal;
- de bodemerrosie die kan ontstaan als gevolg van de stroming ter plaatse van de open verbinding;
- de invloed van de openverbinding ter plaatse van de Rozenburgse sluis op de verziltingproblematiek op de Oude Maas;
- eisen die gesteld worden aan alternatieve routes voor het vervoer explosief gevaarlijke stoffen, indien de Calandbrug wordt afgesloten.

Literatuurlijst

- 1 Projectbureau Europoortkering met Open Beerdam, "Tracenota / MER Open Beerdam", augustus 1992
- 2 Website: Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam. GHRweb, Historie Haven, "van vissershaven tot mainport Europa"
- 3 Website: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Stormvloedkering Nieuwe Waterweg- Innovatief Sluitstuk Deltawerken
- 4 Website: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Verkeer en Vervoer, N15 Bouwactiviteiten Calandbrug
- 5 Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam, "Integrale verkenning voor haven en industrie 2020", juni 1998
- 6 C.J. de Vries, "Goederenvervoer over water, achtergronden bij en bedrijfstak in beweging", 2000
- 7 Gemeentelijk havenbedrijf Rotterdam, Functioneel Applicatiebeheer, Registratie Programma Brug en Sluis Passages
- 8 Ministerie van Verkeer en Waterstaat – Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat – Directie Zuid-Holland, "Capaciteitsbepaling Hartelkanaal 1995 – 2020, een kwantitatieve en kwalitatieve analyse", oktober 1999
- 9 Ir. R. Groenveld, "Capacities of Inland Waterways" 1999
- 10 Alkyon, "Onderzoek golfhinder binnenvaart", oktober 2000
- 11 Ministerie van Verkeer en Waterstaat – Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat – Directie Zuid-Holland, "Openingsregime Bruggen, Evaluatie van het ROM-Project Rijnmond B6", juli 2001
- 12 Ministerie van Verkeer en Waterstaat – Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat – Directie Zuid-Holland en Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam, "Verkenning naar de noodzaak tot het verhogen van de bruggen over het Hartelkanaal", April 2000
- 13 Gemeentewerken Rotterdam, 3D-stromingsberekeningen: Erosiekuil Hartelkanaal, juli 1999
- 14 Gemeentewerken Rotterdam, 3D-stromingsberekeningen open Beerdam, deel 2, april 1999
- 15 Ministerie van Verkeer en Waterstaat, MER Haringvlietsluizen, water- en zoutbeweging
- 16 Ir. Van Schiereck, "Bed, Bank and Shoreline Protection"
- 17 Agenda ADIR 03/08/1998, Hoogzaad / van Espen, afd: IS/BDI
- 18 Gemeentewerken Rotterdam, Onderhoudsbegroting Rozenburgse sluis, 24 juli 1997
- 19 Gemeentewerken Rotterdam, Onderhoudsbegroting GHR 2003, 11 maart 2002
- 20 Ministerie van Verkeer en Waterstaat – Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat – Directie Zuid-Holland, werkgroep Verkeer en Vervoer, "Achtergronddocumenten Verkeer en Vervoer", oktober 1999

Lijst van Figuren

Figuur 1: Rotterdams havengebied anno 1996	9
Figuur 2: Vaarwegen in het Rotterdams havengebied	9
Figuur 3: Hartelkanaal en beschermstrook door Europoortgebied	10
Figuur 4: Voormalige beschermstrook en nieuwe Primaire Waterkering	11
Figuur 5: Calandbrug	12
Figuur 6: Omleidingsroute Calandbrug	12
Figuur 7: Prognoses ontwikkeling binnenvaart	15
Figuur 8: Achterlandverbindingen met hun kritieke trajecten	17
Figuur 9: Smalle delen Hartelkanaal	21
Figuur 10: Ontsluitingskanaal Maasvlakte II	22
Figuur 11: Bruggen over het Hartelkanaal en Calandkanaal	23
Figuur 12: Gebieden met sterke stromingen	26
Figuur 13: Seine haven en Brittanie haven	27
Figuur 14: Meetpunten van het zoutgehalte registratie programma NSC	29
Figuur 15: Saliniteitgehalten in het Hartelkanaal	29
Figuur 16: Wateren Beneden Rivieren Gebied	30
Figuur 17: Vluchtroute over de Rozenburgse sluis	33
Figuur 18: Locatie politiebureau in aanbouw	34
Figuur 19: Lay-out kanaalverbinding, uitgangspunt bij de kosten berekening	38
Figuur 20: Lay-out kanaalverbinding met instandhouden van politiebureau	38

Lijst van Tabellen

Tabel 1: Voorspelde groei binnenvaarttransport	14
Tabel 2: Benodigde capaciteit Rozenburgse sluis in 2020	16
Tabel 3: Bezettingsgraad Hartelkanaal onderverdeeld in drie periodes en drie trajecten	19
Tabel 4: Bezettingsgraad Hartelkanaal op basis van 25% meer scheepsbeweging in 1998	20
Tabel 5: Brughogtes en mate van noodzakelijke verlaging stuurhut. [12]	23
Tabel 6: Ongevallen wateren in Rotterdams havengebied	25
Tabel 7: Totale kosten behoud sluis	37
Tabel 8: Kosten verwijderen sluis en maken van een nieuwe kanaalverbinding	39
Tabel 9: Totale kosten sloop en behoud Rozenburgse sluis tegen elkaar uitgezet	39
Tabel 10: Beoordeling invloed en gevolg verschillende aspecten.	41

Lijst van Grafieken

Grafiek 1: Aantal schepen door de Rozenburgse sluis op jaarbasis [7].....	15
Grafiek 2: Voorspelde en gemeten aantallen scheepspassages bij de Suurhoffbrug.....	20
Grafiek 3: Verlaging stuurhut t.o.v. doorvaarthoogte	24
Grafiek 4: stroming ter plaatse van de Rozenburgse sluis op basis van 1D berekeningen	28

Lijst van Appendices

Appendix 1: Bepaling Netto contante waarde in 2005 voor jaarlijks onderhoud t/m 2020
Appendix 2: Interview Havendienst 12
Appendix 3: Interview Groenewold
Appendix 4: Interview H. Meijer
Appendix 5: Interview J. Hoogzaad & S. Breuer
Appendix 7: Interview J. Prince
Appendix 8: Interview P. Louwen en Y. Ottema
Appendix 9: Interview W. Verbaan
Appendix 10: Interview met C. De Vries
Appendix 11: Interview A. de Bode
Appendix 12: Interview Dekker
Appendix 13: Interview E. de Boer
Appendix 14: Interview Kaptijn
Appendix 15: Interview M. de Jong
Appendix 16: Interview N. Ammerlaan
Appendix 17: Interview Binnenvaartschipper
Appendix 18: Interview M. van Schuylenburg
Appendix 19: Interview X. Naaijen
Appendix 20: Interview Verkeersleiders Verkeerscentrale Botlek
Appendix 21: Interview J. van Kleef
Appendix 22: Interview Waasdijk
Appendix 23: Interview Sluiswachter Rozenburgse sluis
Appendix 24: Interview J. Muller
Appendix 25: Interview A. Dirks

Appendix 1:

Bepaling Netto contante waarde in 2005 voor jaarlijks onderhoud t/m 2020

Hieronder worden van de jaarlijkse onderhouds- en personeelskosten hun netto contante waarde bepaald in 2004. Dit houdt het volgende in:

Indien deze jaarlijkse uitgave tot en met 2020 moeten worden gedaan, zal in het jaar 2004,

€5.143.000,- gereserveerd moeten worden voor het jaarlijks onderhoud en €3.960.000,- voor de jaarlijkse personeelskosten. Inclusief het plegen van groot onderhoud betekent dit dat in het jaar 2004 een bedrag van €14.477.000,- moet worden gereserveerd.

Om geen valse verwachtingen op te wekken omtrent de nauwkeurigheid van deze bedragen worden de bedragen in het rapport afgerond om 10.0000.

x 1000 euro	jaar t.o.v. betalingsjaar	Groot onderhoud	Jaarlijks onderhoud	Personeels kosten	totaal
1998		4500			
1999		4635			
2000		4774			
2001		4917			
2002		5065			
2003		5217			
2004	0	5373	5143	3960	14477
2005	1		400	308	
2006	2		388	299	
2007	3		376	290	
2008	4		365	281	
2009	5		354	273	
2010	6		343	264	
2011	7		333	257	
2012	8		323	249	
2013	9		313	241	
2014	10		304	234	
2015	11		295	227	
2016	12		286	220	
2017	13		278	214	
2018	14		269	207	
2019	15		261	201	
2020	16		253	195	

Appendix 2:

Interview Havendienst 12

Riet Bakker	Scheepsmeester
Bart Laman	Assistent stuurman, normaliter stuurman op Calandkanaal
Richard de Waal	Matroos, voormalig matroos op een zesbakduwvaart

Capaciteit Hartelkanaal

De keuze met betrekking tot de vaarweg die de binnenvaartschippers nemen, hangt sterk af van de het heersende stroombeeld. Als er “voor de stroom” gevaren kan worden levert dit tijdwinst en minder brandstofverbruik op.

Het Hartelkanaal wordt niet als “te druk” ervaren. Als de containervaart in de toekomst aan trekt wordt het weer wat drukker, maar dit wordt niet problematisch geacht. Verwacht wordt dat het Hartelkanaal een verdubbeling van het aantal schepen dat hier Als er nu een paar grote containerschepen gelost worden op de Maasvlakte, dan is dat direct te merken aan de drukte op het Hartelkanaal. Vergeleken met andere vaarwegen is het Hartelkanaal niet opgevalen als een druk kanaal. Het Amsterdam-Rijn kanaal daarentegen staat bekend als een druk bevaren kanaal.

In de toekomst wordt een steeds verder gaande schaalvergroting verwacht van de binnenvaart schepen. Hierdoor zal de drukte op de wateren ook afnemen.

Indien de afvoer op de Rijn laag is dan is de waterstand op de rivieren ook lager. De diepgang van de schepen is hiervan afhankelijk, bij een lagere waterstand kunnen de schepen minder beladen varen. Hierdoor zullen ook meer schepen moeten varen.

Stroming Beerdam

Stroming op de Beerdam is daarentegen wel problematisch. Daarnaast kunnen de waterstanden, met name in de buurt van de Suurhoffbrug, snel veranderen. In 10 minuten kan de waterstand een halve meter stijgen. Dit is in verband met het onderdoor varen van bruggen vervelend.

Binnenvaartschepen op Calandkanaal

Als er een openverbinding ontstaan tussen het Hartelkanaal en het Calandkanaal zullen vermoedelijk meer binnenvaartschepen op het Calandkanaal gaan varen. Dit zal problemen gaan opleveren met de grote zeeschepen. Deze zeeschepen zijn erg lang, en moeten voor de veiligheid achterwaarts insteken in de terminals. Dit betekent dat zij moeten keren in het Calandkanaal en zij hiervoor een groot deel van de breedte van het Calandkanaal gebruiken. Meer binnenvaartschepen zal betekenen dat deze twee soorten schepen elkaar vaker in de weg gaan varen.

Breeddiep, Kop van Beer

De bocht om de splitsingsdam is vervelend in verband met de loodrecht invallende golven en deining. Daarbij moeten de schepen loodrecht op de vaarroute door het gat heensteken, hierbij hinderen ze het overige scheepvaartverkeer. Bij de Kop van de Beer zijn deze negatieve invloeden minder problematisch aangezien hier een grotere, ruimere bocht gemaakt kan worden.

Appendix 3:

Interview Groenewold

Directeur Vereniging van Sleep- en Duwbooteigenaren Rijn en Issel.

In de huidige situatie zijn er twee knelpunten in de achterland verbinding van de Maasvlakte en de Europoort over het Hartelkanaal, te weten:-

- het stuk vaarweg bij de Suurhoffbrug, van de splitsing met de Dintelhaven tot en met het Beergat. (te smal en te hoge stroomsnelheden)
- de Rozenburgse sluis

Naarmate de scheepvaart toeneemt in de toekomst, zullen de problemen in het vaarstuk bij de Suurhoffbrug alleen maar toenemen. Indien de Rozenburgse sluis weg is het aannemelijk dat schepen kiezen voor de vaarroute over het Calandkanaal.

Het is nog steeds interessant de stromingsproblematiek in het Beergat op te lossen. Na het openbreken van de Beerdam zijn onderzoeken gedaan naar eventuele ingrepen in de omgeving. Daaruit bleek dat weinig ingrepen het gewenste effect zouden hebben. Een van de ingrepen die gewenst resultaat zou opleveren was het verwijderen van de Rozenburgse sluis. Hier werden echter ook stromingsproblemen verwacht en durfde men er zich niet aan te wagen na de ervaring van het open breken van de Beerdam.

De binnenvaartschepen hebben er mee leren omgaan, hetgeen inhoudt dat ze bij bepaalde optredende situaties, eb en vloed, niet varen. Dit geldt met name voor duwbakschepen en koppelverbanden. Containerschepen, waar veel meer tijdsstress bijkomt kijken, varen af en toe ook buiten bepaalde maatgevende situaties.

Indien de Rozenburgse sluis verwijderd zou worden dan zouden de stroomsnelheden, volgens het onderzoek van de Gemeente Werken, halveren. Indien aangenomen wordt dat de stroming in het geval van het verwijderen van de sluis over de twee openingen, het Beergat en de sluis, verdeeld wordt dan zal de algemene situatie daarop vooruit gaan:-

- op het Hartelkanaal gaat de situatie er uiteraard op vooruit;
- in het Calandkanaal zal de stroomsnelheid toenemen (uitgegaan van de helft van de problematiek die nu in het eind van het Hartelkanaal staat). Dit zal een negatief effect hebben op de bevaarbaarheid van het Calandkanaal, aangezien daar in de huidige situatie geen stroming staat. Dit nadeel zal echter wegvallen ten opzichte van het voordeel dat de schepen hebben doordat ze niet meer door de sluis hoeven te varen.

De meeste binnenvaart heeft als bestemming de Maasvlakte. De intensiteit op de Europoort is veel lager.

Het belangrijkste voordeel voor de binnenvaart van het weghalen van de Rozenburgse sluis is dat de stroming in het Suurhoffstuk zal afnemen.

De Binnenvaart wil het Hartelkanaal graag verbreed hebben, zeker met het oog op de toekomst en de toename van de binnenvaartschepen. De Zuidgrens van het Hartelkanaal ligt echter vast (opgelegd door VROM) De binnenvaartvereniging verwacht niet dat er een mogelijkheid bestaat waarbij deze zuidgrens ter discussie kan worden gesteld. Aangezien verbreden van het kanaal niet mogelijk is zou het Calandkanaal een goed alternatief kunnen bieden.

Eerder werd het verwijderen van de Rozenburgse sluis niet verder overwogen als oplossing voor de stroming aangezien de nieuw optredende stroming bij de sluis te problematisch werd geacht. Als het Calandkanaal nu als goed alternatieve route naar voren komt dan is het zeker weer interessant om deze optie te heroverwegen en verder uit te diepen.

Het Suurhoffstuk wordt momenteel druk bevaren. Verwacht wordt dat in komende 10 a 15 jaar dit stuk een groter knelpunt zal worden in de achterlandverbinding. De binnenvaart kan echter lang filevaren tot echte problemen zullen optreden.

Kop van de Beer levert een downtime op voor de binnenvaartschepen (uren per jaar dat ze niet kunnen varen als gevolg van weersomstandigheden) Een acceptabele oponthoudt door de downtime is momenteel 1% per jaar.

Over het Calandkanaal zullen de zeeschepen de binnenvaartschepen wel meer kruisen. Dit kan meer vervelende situaties geven maar wordt niet als onoverkomelijk gezien.

De Rozenburgse sluis wordt niet direct als onaanvaardbaar knelpunt gezien door de binnenvaartschepen. Door het openen van de Beerdam zijn de grootste problemen rond wachttijden weggenomen.

In de praktijk is 30 a 40 cm wel behoorlijk. Je hoort niet dat mensen daar rekening mee houden, ze kunnen momenteel ook hun stuurhut verlagen. Wel zouden zij in de toekomst om die reden een andere route kunnen gaan kiezen. Er zal aardig wat keren getwijfeld worden aan de brughogtes op het Hartelkanaal, waardoor zeker in de containervaart omgevaaren wordt over het Calandkanaal of over de Nieuwe Waterweg.

Appendix 4:

Interview H. Meijer

Chef Watersystemen Watersystemen Nautisch Service Center (NSC)

Beheer water en bodem, watersystemen

In de Tracenota / MER Open Beerdam zijn voorspellingen gedaan ten aanzien van de te verwachte nieuwe waterstanden in het Hartelkanaal na het openen van de Beerdam. De voorspellingen bleken goed overeen te komen met de waarden die in de praktijk gemeten zijn na het openen van de Beerdam.

De zoutindringing op de Oude Maas is afhankelijk van:-

- Verschil van het getij op zee en het getij op de rivieren;
- De afvoer van de rivieren.

Rijkswaterstaat probeert een constant debiet op de Nieuwe Maas te handhaven. Dit in verband met het waarborgen van een minimale diepgang voor de scheepvaart en het op constant niveau houden van de zoutindringing op de rivieren.

Op het Hartelkanaal wordt het zoutgehalte gemeten in de vorm van geleidings metingen. De RWS meet bij de Suurhoffbrug, het NSC meet bij de Hartelsluis en ter hoogte van de Q8 terminal.

Na het openen van de Beerdam is het Hartelkanaal zouter geworden. Tot hoever de zouttong het Hartelkanaal binnendringt hangt af van de rivier afvoer en het getij. Bekend is dat bij het overgaan van de Oude Maas in de Nieuwe Maas er veel zoetzoutwater contact is.

Meetgegevens van de gevolgen van de open Beerdam worden verzameld en zullen eind 2003 geëvalueerd worden om te kijken wat de effecten op bijvoorbeeld de verzilting van de Oude Maas precies zullen zijn.

Appendix 5:

Interview J. Hoogzaad en S. Breuer

J. Hoogzaad: Unitmanager Beheer Wegen & Ondergrond

S. Breuer: Externe Medewerker Beheer Infrastructuur

De afdeling S&C, in persoon de heer M. Van Schuylenburg, heeft in 1998 de opdracht gekregen een onderzoek uit te voeren naar het nut en de noodzaak van de Rozenburgse sluis. Deze studie is volgens J. Hoogzaad niet uitgevoerd.

Het politiebureau dat momenteel in aanbouw is heeft het kavel gehuurd van het GHR. Gezien de grootte van het gebouw verwacht Hoogzaad dat het huurcontract minimaal 20 jaar zal lopen. De grond waar nu het politiegebouw wordt gebouwd was gereserveerd voor een tweede sluis.

Door de sterke stroming bij de Suurhoffbrug is de bodem daar niet vast te leggen. Momenteel vindt preventief onderhoud plaats, maar de erosie gaat door. Opdracht is gegeven integraal naar een oplossing te zoeken. Eventueel nu een hele dikke laag storten over de hele lengte in plaats van een aantal maal per jaar bestorting aanbrengen.

De ontronding moet bij gevuld worden omdat anders de veiligheid van de oevers aan weerskanten in gevaar komt. Met name de oever aan de zuidkant van het Hartelkanaal maakt deel uit van de primaire waterkering en moet dus koste wat kost in stand gehouden worden. Aangezien dit zo veel geld kost is het heel erg interessant als de stromingen zouden verminderen.

Bron: Aanstorting Hartelkanaal 2002, kosten eerste bestorting mijnsteen

Jaarlijkse kosten preventieve bestorting, in euro's:-

• Aug '99	61.714
• Mei '00	25.411
• Jan '01	84.542
• Aug '01	187.157
• Nov '01	145.464
• Mrt '02	118.400

Verwacht wordt dat deze kosten zullen toenemen indien geen actie ondernomen wordt.

De bodem lag eerst tussen de 6 a 7 meter diep. Door de erosie werd dat steeds dieper. De maximaal toelaatbare diepte (gezien het maximaal talud waarbij de stabiliteit van het talud gewaarborgd blijft) is -16 m NAP. Toen deze diepte op steeds meer plaatse werd bereikt moest steeds meer bodembescherming worden neergelegd. Deze bodembescherming is echter niet in staat de bodem tot rust te laten komen, waardoor telkens en steeds meer bodembescherming nodig is.

Indien de stroming zal halveren zal waarschijnlijk een permanente bodembescherming nodig zijn met half de dikte die nu noodzakelijk is. Dit zal de kosten waarschijnlijk ook halveren aangezien het gaat over 2,5km lengte en 80m breed en een dikte van het pakket van 40cm.

Appendix 7:

Interview J. Prince

Verkeersmanagement, Sector Coördinator Nautiek.

De keuze van de route die de binnenvaartschepen kiezen van de Maasvlakte naar het achterland en andersom is sterk afhankelijk van welke terminals ze aan moeten doen, het weer en het heersende stroombeeld. Het weer heeft invloed op de mogelijkheid of de schepen wel of niet door het Breddiep en dus over de Nieuwe Waterweg kunnen varen. Stroom mee of tegen heeft grote invloed op de vaartijd en het brandstofverbruik.

Aangezien momenteel de maximale capaciteit van de Rozenburgse sluis niet wordt benut zijn er niet tot nauwelijks wachttijden bij de sluis. Ook in de toekomst worden, met het oog op de schaalvergroting, geen echte problemen met de wachttijden van de sluis verwacht.

De capaciteit van het Hartelkanaal ten opzichte van de binnenvaartschippers is momenteel voldoende. Problemen die kunnen ontstaan zijn:

- Vier of zesbaksduwvaart die elkaar tegemoet varen. Zij kunnen niet op alle plaatsen in het Hartelkanaal elkaar kruisen;
- Knelpunt bij de Suurhoffbrug, aangezien de stromingen daar hoog zijn en de doorgang smal;

De vertraging die schepen oplopen doordat zij elkaar niet kunnen passeren op de smalle gedeelten van het kanaal zijn zeer gering. Vermoedelijk zal het aantal binnenvaartscheepsbewegingen op het Hartelkanaal in de toekomst toenemen, voornamelijk door de containerschepen. Problemen omtrent de drukte op het Hartelkanaal zullen meevallen aangezien de containerschepen goed manoeuvreerbaar zijn.

Bij slecht weer verslechtert de bereikbaarheid van de Maasvlakte voor de binnenvaartschepen. Het wordt dan niet meer mogelijk om door het Breddiep te varen. Het in en uitvaren van het Hartelkanaal bij het Beergat verslechtert ook doordat de stromingen en de wind in het geval van slecht weer vaak toenemen. De route via het Calandkanaal is echter geen goede oplossing in deze situatie aangezien het rondenvan de Kop van de Beer niet wenselijk is in verband met de deining, hoge golfslag en wind. Vermoedelijk zullen de binnenvaartschippers kiezen voor de route over het Hartelkanaal en het Beergat.

Appendix 8:

Interview P. Louwen en Y. Ottema

P. Louwen **Unit manager beheer infrastructuur**

Y. Ottema **Beheerder Kademuren & Kunstwerken**

In het najaar 2001 is aan de afdeling beheer aangegeven dat onderhoud gepleegd moest worden aan de Rozenburgse sluis. Bij de plannen van het openbreken van de Beerdam bestond ook het plan om de Rozenburgse sluis te verwijderen. Sinds die tijd is de afdeling beheer in de veronderstelling geweest dat de Rozenburgse sluis verwijderd zou worden. Zodoende is er de afgelopen 8 a 10 jaar geen onderhoud meer gepleegd aan de Rozenburgse sluis.

Dit achterstallige onderhoud houdt in het vervangen van de elektromotoren, het vervangen van de deuren en ander onderhoud.

Inspecties naar het te plegen onderhoud is gedaan en de kosten van dit onderhoud is bekend.

Indien nu groot onderhoud zal moeten worden gepleegd zal dat overeenkomen met de activiteiten gepland bij optimaal onderhoud in het document "Onderhoudsbegroting Rozenburgse sluis" door Gemeentewerken Rotterdam. Deze kosten bedragen FL.10.000.000,-. Rekening moet worden gehouden met een inflatie van 3% per jaar. Daarnaast is te verwachten dat het onderhoud nu in 1 keer meer en duurder is dan wanneer met dit onderhoud in 1998 was begonnen.

Normaal onderhoud na 2004 (na groot onderhoud) beter dan minimaal onderhoud, instandhouding onderhoud schatting 2 maal minimaal onderhoud dus fl.600.000,- per jaar.

Appendix 9:

Interview W. Verbaan

Sr. Consultant Nautical Affairs Verkeersmanagement

Men is bezig geweest met rekenen aan mogelijke oplossingen voor de stroming.

Het is belangrijk voor het GHR om het getijvenster voor de EMO-haven op te kunnen heffen. Voor het openen van de beerdam bestond er ook een getijvenster voor de EMO-haven. Deze was opgelegd in verband met de diepte van de EMO-haven. Doordat een getijvenster is toegevoegd als gevolg van de stroming is het venster groot geworden.

Mogelijke oplossingen voor de stromingsproblematiek in het Beergat en onder de Suurhoffbrug lopen dood doordat er destijds geen goede oplossing is gevonden.

De EMO-haven heeft een claim neergelegd bij het GHR naar aanleiding van het openbreken van de Beerdam. Hierdoor werden schepen tegen hun kade aangedrukt en was het niet meer mogelijk hun schepen aan te laten meren op hun originele kade. Als reactie heeft het GHR een nieuwe terminal aangelegd voor de EMO-haven. Hiermee was de eerste druk van de ketel en is niet verder gezocht naar een oplossing voor de stromingsproblematiek.

Momenteel heeft/ wil de EMO-haven een klacht indienen in verband met het heersende getijvenster waarvan zij veel hinder ondervinden.

Appendix 10:

Interview C. de Vries

directeur Koninklijke Schippers Vereniging Schuttevaer

Brughoogtes

De brughoogtes in het Hartelkanaal zijn niet toereikend. De situatie is verergerd door het openbreken van de Beerdam. Hierdoor is getij komen staan op het Hartelkanaal waardoor bij verschillende combinaties, afvoer en getij, de brughoogtes op het Hartelkanaal niet meer voldoen aan de Rijnvaarthoogte.

De hoogte van de belading van de schepen wordt bepaald op de Rijn en is afhankelijk van de waterstand aldaar. Deze verandert niet veel gedurende de reis van Duitsland naar Rotterdam, dus kan er met een constante hoogte gevaren worden. Doordat op het Hartelkanaal getij staat kan deze hoogte een probleem worden. Indien de bruggen een halve meter hoger liggen is dit wel degelijk een verbetering.

De brughoogte is van belang voor de containerschepen en palletschepen. Dit laatste is een nieuw concept ter bevoorrading van de supermarkten. Hiervan wordt verwacht dat deze schepen in de toekomst veel over het Hartelkanaal zullen varen.

Smalle doorvaarten

Daarnaast zijn delen van het Hartelkanaal, onder de Suurhoffbrug en ten westen van de Harmsenbrug, te smal. Met name bij de Suurhoffbrug wordt dit door de binnenvaartschippers als negatief ervaren aangezien hier ook nog eens erg hoge stromingen voorkomen als gevolg van het openen van de Beerdam.

In de toekomst wordt een groei van de binnenvaart verwacht. In de verbinding Rotterdam - Duitsland zal het Hartelkanaal het knelpunt worden. Dit is te wijten aan de niet toereikende brughoogtes (in vele getij-afvoer combinaties te laag) en de smalle stukken en grote stromingen ter plaatse.

De Rozenburgse sluis

Bij de Rozenburgse sluis komen geen lange wachttijden voor. De gemiddeld wachttijd is maximaal 1 uur. Daarnaast vormt de sluis geen belemmering ten aanzien van de scheepsgroottes. Hierdoor wordt de Rozenburgse sluis door de binnenvaartschippers niet ervaren als een knelpunt.

Stromingen

In het Beerkanal hebben schepen geen last meer van de stromingen, enkel in het Beergat en een deel van de Mississippihaven. Afnemende stroomsnelheden in het Beergat is wel zeer wenselijk.

Zesbaksduwvaart

Zesbaksduwvaart vervoert droge bulk, voornamelijk naar de Dintelhaven, Maasvlakte. Deze varen over het Hartelkanaal en zullen na verwijdering van de Rozenburgse sluis niet om gaan varen via het Calandkanaal. Zesbaksduwvaart vaart niet om de Kop van de Beer heen in verband met grote deiningen die daar optreden. Deze deining zal vermoedelijk blijven als de Maasvlakte II wordt aangelegd met een verlengde dam in zee. Verwacht wordt dat de zesbaksduwvaart in de toekomst allemaal over het Hartelkanaal zal varen.

Breeddiep

Het Breeddiep wordt gebruikt door de schepen die komen uit het oostelijke havengebied.

Toenemende scheepvaart

De beste oplossing voor de verwachte toename van de binnenvaartschepen op het Hartelkanaal is het verbreden van de smalle delen in het Hartelkanaal, met name bij de Suurhoffbrug. Indien de Rozenburgse sluis verwijderd wordt en een alternatieve achterland verbinding wordt gegenereerd over het Calandkanaal, wordt niet verwacht dat schippers deze route zullen verkiezen boven het Hartelkanaal. Dit heeft te maken met de langere afstand die gevaren moet worden en de stromingsproblemen bij de Kop van de Beer.

Vaartijden Hartelkanaal

Indien schepen op het Hartelkanaal zowel stroom mee als tegen hebben, wordt verwacht dat zij ongeveer een uur varen over het Hartelkanaal. Indien zij stroom mee hebben doen de schepen er gemiddeld een half uur over. De afstand over het Calandkanaal wordt ongeveer gevaren in een half uur. Hier staat, in de huidige situatie, nooit eb- of vloedstroming en is het hier dus constant en relaxed varen.

Appendix 11:

Interview A. de Bode

Contractant Havenontwikkeling

Samen met Marcel Buytendijk heeft meneer de Bode het rapport “Capaciteitsbepaling Hartelkanaal 1995 – 2020” gemaakt en goedgekeurd.

In het rapport worden een aantal aannames gedaan en wordt met een aantal zaken geen rekening gehouden.

Uitgangspunten:

- de breedte van de vaarweg en andere nautische beperkingen worden niet meegenomen:
- congestie door het niet mogelijk zijn van inhalen wordt niet meegenomen.

Vertraging door het oplopen van schepen en het niet kunnen inhalen van schepen op het Hartelkanaal zal waarschijnlijk maximaal 1 uur bedragen.

De berekening van het “slot” om schip zijn gedaan op basis van eigen ervaring. Het zou interessant zijn dit te vergelijken met het dictaat van de heer Groenveld: Capacities of inland waterways

Appendix 12:

Interview Dekker

Waterschap Brielse Meer

Door het openbreken van de Beerdam is er nog geen verziltingsproblematiek merkbaar in het Brielse Meer. Dit was ook verwacht aangezien de verzilting door kwel een lange termijn proces is waardoor de problemen pas later merkbaar zijn.

Het Brielse Meer krijgt zoet water aangeleverd vanuit het Spui.

Momenteel is er een veranderd regime ten opzicht van de Haringvliet sluizen. Indien de waterstand in de Haringvliet wordt verlaagd zal spuiwater naar het haringvliet stromen en dus minder water het Brielse Meer in.

Momenteel is het zo dat als er lage afvoeren bij Lobith worden geconstateerd het Haringvliet wordt dicht gedaan. Anders zouden er te lage waterstanden optreden op de benedenrivieren en de scheepvaart zou niet meer kunnen varen. Daarnaast zou te veel verzilting optreden op de rivier.

Rijkswaterstaat Zuid-Holland heeft geen drinkwater inlaadpunten langs het Hartelkanaal.

Appendix 13:

Interview E. De Boer

Brandweer Rotterdam, Europort gebied

Verbinding Botlek en Europoort: Theemsweg – over de sluis – Moezelweg
Dit is een belangrijke verbindingsroute voor de hulpdiensten: brandweer en politie. De politie is momenteel een nieuw gebouw aan het bouwen naast de Rozenburgse sluis. De brandweer heeft een kazerne aan de oostelijke uiteinde van de Teemsweg.

Als de verbindingsweg over de Rozenburgse sluis weg gaat dan betekent dat, dat de brandweer en politie over de A15 naar de Europort moeten. Het is noodzakelijk voor de brandweer om een tweede ontsluitingsroute te hebben naar de Europort. Indien de A15 voor de brug en tunnel om wat voor een reden dan ook af gesloten is, kan de brandweer niet naar de Europort.

Er is een tweede kazerne op de Europort. Indien een tweede brandweerauto nodig is en er is een ongeluk gebeurd op de A15 is er een route over de Rozenburgse sluis nodig.

Appendix 14:

Interview Kaptijn

Beheer Infrastructuur

Het water uit het Brielse Meer wordt niet gebruikt als drinkwater. Wel wordt dit water gebruikt voor industrieprocessen. De voeding van dit proceswater ligt aan het westelijke doodlopende uiteinde van het Brielse Meer. Dit water voorziet de Maasvlakte en de Europort van proceswater. Bij Geervliet ligt een ander gemaal dat water haalt uit het Voedingskanaal. Het derde inlaat punt ligt in het Brielse Meer ter hoogte van de Q8 terminal.

De oude zinkers bestaan uit een bak waarin leidingen liggen. Deze leidingen liggen met een minimale dikte van een beschermingslaag net onder de bodem van het Kanaal. Gemiddeld is deze beschermingslaag 1 meter. Bij de huidige methode van het aanleggen van zinkers worden de buizen in groepen in een grote boog onder het kanaal geboord. Hierdoor liggen de zinkers vele malen dieper in de grond en niet direct onder de bodem. De gemiddelde diepte waarop de bovenkant van de zinkers liggen is –7.50m NAP. De gemiddelde diepte van het Hartelkanaal is –6.50m t.o.v. NAP.

Bij het verbreden van het kanaal ter hoogte van de Rozenburgse sluis zouden de oude zinkers verwijderd moeten worden en nieuwe aangelegd. Het is niet mogelijk een deel van de oude zinker te verwijderen en een nieuwe aansluiting hierop te maken. Voor het aanleggen van de nieuwe zinkers zouden nieuwe boringen moeten plaatsvinden.

De Rijkswaterstaat heeft geen wens het aantal leidingen dat momenteel onder de Rozenburgse sluis ligt te vergroten. Ter plaatse van de Calandtunnel liggen veel reserve leidingen die indien nodig gebruikt kunnen worden. Het aanleggen van een nieuwe zinker kost vermoedelijk ongeveer fl.5 ton.

De brug over de Rozenburgse sluis wordt momenteel veel gebruikt als omrij route. Daarnaast is de route van belang als calamiteiten en vlucht route. Aangezien de Rozenburgse sluis twee bruggen heeft is er altijd een open, waardoor er nooit gewacht hoeft te worden.

Appendix 15:

Interview M. De Jong

Promovendus Civiele Techniek sectie Vloeistofmechanica

Onderwerp: onderzoek naar het verschijnsel van seiches op de Noordzee.

In het Calandkanaal komen seiches voor. Hierbij wordt de Rozenburgse sluis en het einde van de Britannie haven beschouwt als muur, waartegen de staande golf komt te staan.

Er is sprake van een amplitude van ongeveer 1 meter bij de “muur”. De snelheden bij de havenmond zijn hiervoor bepalend. De maximale waterstand die “plotseling” door het seiche wordt bereikt is bepalend in verband met de bescherming van het achterland. De minimale waterstand die wordt bereikt is echter van belang voor de minimale diepgang voor de schepen.

Het aantal malen dat een seiche optreedt in de haven van Rotterdam is gering, maar wel door de nadelige gevolgen zorgwekkend. In de laatste jaren ('95 tot '01), 51 seiches minimaal 25 cm. Maximaal 164 cm top dal 1 jan 1995.

Het maken van een vrije verbinding tussen het Hartelkanaal en het Calandkanaal zal het optreden van seiches op het Calandkanaal niet verergeren. Wel moet gekeken worden naar de nieuwe situatie. De eigenperiode zal veranderen, waarschijnlijk zal een langere opslingertijd optreden.

Indien alleen de sluis weggehaald zou worden dan zal er geen verandering in het gedrag van de seiches optreden.

Appendix 16:

Interview N. Ammerlaan

adviseur beheerzaken

Groene gebied

Naast de Rozenburgse sluis ligt veel groen, veel bomen. In de Europoort en het Botlekgebied is dit een van de weinige groene gebieden. Als hier een nieuwe vaarweg gegraven gaat worden moeten deze bomen ergens anders opnieuw geplant worden. Dit heeft te maken met de compensatie regel. Hiervoor is dus ergens anders ruimte nodig. Dit kan soms wel lastig zijn.

Oeververbinding

Bij met aanleggen van een nieuwe vaarweg zal een nieuwe overgang tussen land en water gemaakt moeten worden. Momenteel vormt de sluis een hele harde oeververbinding. Gekeken moet worden naar of de nieuwe oeververbinding hard of zacht moet worden. Dit hangt onder andere af van de ruimte die beschikbaar is.

Omliggende omgeving

Momenteel wordt er een nieuw politiegebouw naast de sluis gebouwd. Deze zal afgebroken of verplaatst moeten worden. Naast de ruimte Huntsman ICI ligt een braakliggend terrein. Dit zou eventueel gebruikt kunnen worden als vervangende groene ruimte.

Appendix 17:

Interview Binnenvaartschipper

binnenvaartschip Dortsman

Binnenvaartschip Dortsman is opgeleverd in begin maart 2002. Momenteel een van de grootste binnenvaart containerschepen.

Het schip vaart lading van Antwerpen naar Rotterdam en terug. Hiervoor kan hij niet over het Hartelkanaal, want de bruggen zijn daar te laag voor 5 hoge stapeling. Niet alleen de bruggen over het Hartelkanaal voldoen niet aan deze gewenste hoogte, ook bruggen in Zeeland e.d..

Ervaring is dat het Hartelkanaal wel druk is. Een alternatieve route is gewenst zeker met het oog op de toekomst. Het verwijderen van de Rozenburgse sluis zou een goed alternatief zijn. Verwacht wordt dat binnenvaartschippers gebruik zullen maken van deze route. De deining en golven bij de Kop van de Beer worden niet als een probleem gezien. Zeker voor de grotere binnenvaartschepen, die in de toekomst steeds meer verwacht worden, is deze deining niet echt een probleem.

Momenteel zijn er binnenvaartschepen besteld met een breedte van 17 meter (6 besteld).

De stromingen bij de Suurhoffbrug worden als een groter probleem gezien dan de drukte op het Hartelkanaal.

Appendix 18:

Interview M. Van Schuylenburg

Senior Projectleider Logistieke Ontwikkeling

De Rozenburgse sluis heeft een functie als calamiteiten route. Naast de sluis ligt een stuk groen dat voor het openbreken van de Beerdam werd gereserveerd voor een tweede sluis naast de bestaande sluis.

Financieel zou het interessant kunnen zijn om de Rozenburgse sluis te verwijderen. Indien de stroomsnelheden substantieel afnemen bij het Beergat zou dit een zeer gunstig voordeel kunnen zijn.

De capaciteit van het Hartelkanaal wordt ook in de toekomst groot genoeg geacht om de groei van de binnenvaartschepen te kunnen verwerken. Binnenvaartschepen kunnen prima "filevaren", waarbij dit eerder een psychisch is dan economisch.

In principe zouden alle schepen elkaar moeten kunnen passeren en zullen alleen twee zesbakduwcombinaties die elkaar tegemoet varen een probleem kunnen opleveren. Zij kunnen en zullen in de toekomst met elkaar moeten afstemmen dat zij elkaar in de smalle delen van het kanaal niet kruisen. Dit wordt niet als een probleem gezien.

De bodem van de Rozenburgse sluis is maatgevend voor de diepgang van de Seinehaven.

Appendix 19:

Interview X. Naaijen

Senior Beheerder Infrastructuur & Milieu

De vraag is of het een probleem zal zijn om de brug over de Rozenburgse sluis weg te halen, waardoor een doodlopende route op dit terrein ontstaat.

Als de Calandtunnel gereed is, is hiermee de route over de Rozenburgse sluis als alternatieve route overbodig.

Indien de Calandtunneldicht is dan zullen er problemen ontstaan op de Calandbrug, aangezien die niet al het verkeer aan zal kunnen. Dit is echter een noodscenario.

De route over de Rozenburgse sluis wordt niet specifiek gebruikt als gevaarlijke stoffen route, wat dat betreft geen probleem.

Het zou mogelijk zijn een kleine brug aan te leggen over het nieuwe kanaal die open kan. Het is immers geen probleem als deze brug veel open gaat.

Appendix 20:

Interview Verkeersleiders Verkeerscentrale Botlek

Indien het Calandkanaal met open verbinding naar het Hartelkanaal intensiever gebruikt zal gaan worden door de binnenvaartschepen, is een logische consequentie dat zeeschepen en binnenvaartschepen elkaar meer zullen gaan kruisen en eventueel hinderen. De verkeersleiders van de verkeerscentrale Botlek verwachten niet dat zeeschepen en de binnenvaartschepen problemen krijgen wanneer deze verschillende schepen elkaar zullen kruisen.

Appendix 21:

Interview J. Van Kleef

Hoofd Havenontwikkeling

Plannen om het Hartelkanaal te verdiepen zijn van de baan aangezien er vele zinkers in het Hartelkanaal liggen. Verplaatsen of verdiepen van deze zinkers zouden dusdanige kosten met zich mee brengen dat van verdieping van het Hartelkanaal momenteel geen sprake is.

Appendix 22:

Interview Waasdijk

Senior Functioneel Applicatiebeheerder

Bezig met Programma Brug en sluis passages. Cijfers wijzen uit dat op jaar basis ongeveer 26.000 schepen gebruik maken van de sluis. 80% van deze schepen bestaat uit motorvrachtschepen en motortankschepen. De cijfers van de schuttijden zijn vertroebeld door een slecht invoer beleid. Er staan bijvoorbeeld schuttijden tussen van 1 minuut, duidelijk is dat dit niet mogelijk is.

Appendix 23:

Interview Sluiswachter Rozenburgse sluis

De schuttijd van de schepen die gebruikmaken van de Rozenburgse sluis hangt af van het waterstandverschil en het aantal schepen dat geschut moet worden. Bij een groot getijverschil en veel schepen is deze tijd gemiddeld een half uur tot drie kwartier. Indien er geen tot nauwelijks waterstandverschillen optreden en 1 schip moet worden geschut duurt dit schutten ongeveer 6 tot 7 minuten. Door het afremmen van de schepen voor de sluis en het opstarten na de sluis is de vertraging die de schepen door het passeren van de sluis oplopen iets groter, gemiddeld ongeveer 30 minuten.

In de Rozenburgse sluis zijn continue (24 uur per dag) twee mensen werkzaam. Een daarvan bedient de Rozenburgse sluis. De tweede persoon is verantwoordelijk voor het openen van de bruggen: Harmsenbrug, Suurhoffbrug en Hartelbrug. Deze bruggen zouden vanuit een punt bediend kunnen worden indien de apparatuur daarvoor aanwezig is.

Theo Wagter:

De maximale capaciteit van de sluis, met de gemiddelde scheepsgrootte, wordt geschat op 8 schepen. Indien een aantal van de grotere binnenvaartschepen aankomen passen er net 6 is. Soms wordt er ook wel geschut met 10 kleine schepen. De totale schuttijd is gemiddeld, ingeval van een volle sluisbak, 1 uur. Hierin zit de tijd van het invaren van het eerste schip van noord naar zuid, en het uitvaren van het laatste schip, van zuid naar noord.

Appendix 24:

Interview J. Muller

Regio Medewerker Planning- en Control

Op de Rozenburgse sluis werken 14 brugwachters. (*Op de intelsite van het GHR staan 12 brugwachters aangegeven*) Deze bedienen echter niet alleen de Rozenburgse sluis, maar ook de Harmsenbrug, Suurhoffbrug en Hartelbrug.

Brugwaters van het GHR vallen in schaal 5. Zij verdienen bruto per jaar 35.000 euro. Voor het GHR betekent dit per brugwachter per jaar een kostenpost van 44.000 euro.

Appendix 25:

Interview A. Dirks

Beleidsadviseur Transportveiligheid & Milieu

Vluchtwegen

Het is mogelijk de vluchtroute van het haventerrein Huntsman ICI naar het westen, weg te halen. Immers de vluchtroute naar het oosten blijft bestaan. Meeste terreinen hebben een vluchtroute naar een kant. Er is geen reden bekend waarom Huntsman ICI meer kanten op moet kunnen vluchten. Het is een chemisch bedrijf.

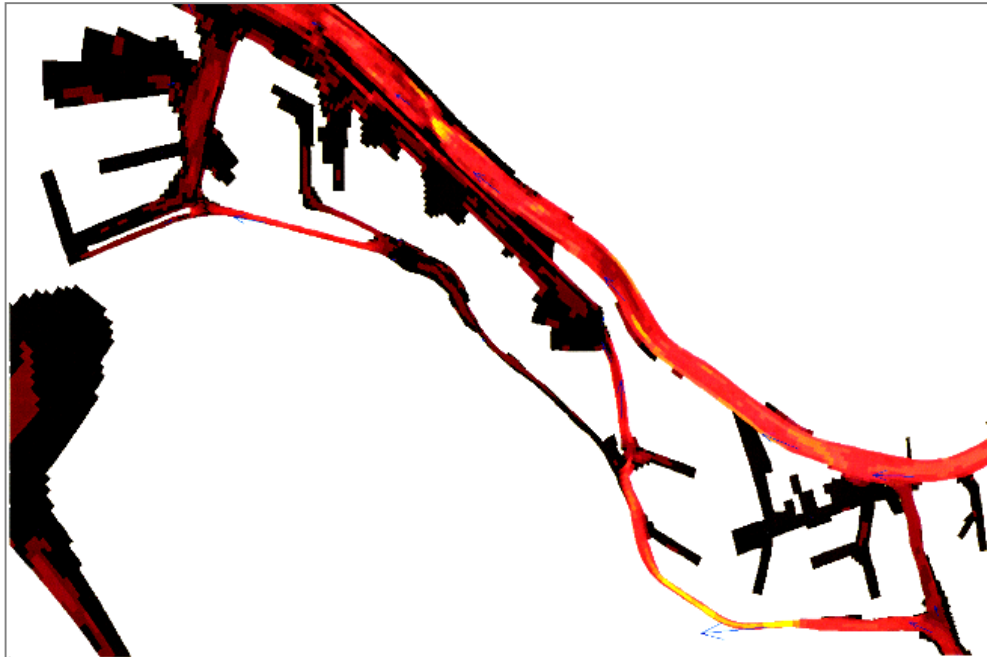
WENSELIJKHEID EN HAALBAARHEID VAN VERWIJDERING VAN DE ROZENBURGSE SLUIS

DEELSTUDIE 2 – HYDRAULISCHE ASPECTEN

SEPT 2002

AFSTUDEERONDERZOEK UITGEVOERD DOOR: L.A.W. VAN ROOIJEN

student aan de Technische Universiteit Delft, afd. Civiele Techniek,
onder auspiciën van het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam,
in samenwerking met het Rijksinstituut voor Kust en Zee



Afstudeerbegeleiders:

Prof. Ir. H. Ligteringen

Ir. R. Groenveld

Ir. M. Mooij

Dr. Ir. M. Zijlema

Technische Universiteit Delft

Technische Universiteit Delft

Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam

Technische Universiteit Delft, Rijksinstituut voor Kust en Zee

Voorwoord

Dit rapport betreft deelstudie 2 van het afstudeeronderzoek, getiteld “Wenselijkheid en haalbaarheid verwijdering van de Rozenburgse sluis”, uitgevoerd door Leonoor van Rooijen, student Civiele Techniek aan de Technische Universiteit Delft (TUD). In deelstudie 1 is onderzocht of de Rozenburgse sluis thans nog zijn primaire functies vervuld en de mogelijkheden van het verwijderen van de sluis en het realiseren van een open vaarverbinding ter plaatse. Deze deelstudie 1 staat beschreven in het rapport “Wenselijkheid en haalbaarheid van verwijdering van de Rozenburgse sluis, Deelstudie 1 – Nut en noodzaak”, door Leonoor van Rooijen, mei 2002.

Deelstudie 2 is uitgevoerd in de periode mei – september 2002, in opdracht van het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam (GHR) en onder auspiciën van het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ).

Het afstudeeronderzoek is begeleid door Ir. M. Mooij Senior Beleidsadviseur, afdeling Maritime Development van het GHR en Dr. Ir. M. Zijlema, projectleider afdeling Onderzoek Strategie Fysica van het RIKZ. Het afstudeeronderzoek is ter goedkeuring voorgelegd aan Prof. Ir. H. Ligteringen en Ir. R. Groenveld van de Faculteit Civiele Techniek afdeling Waterbouw van de Technische Universiteit Delft.

Samenvatting

Dit rapport maakt deel uit van het afstudeeronderzoek betreffende een studie naar de wenselijkheid en haalbaarheid van verwijdering van de Rozenburgse sluis. Deze studie is opgesplitst in twee deelstudies: deelstudie 1, getiteld "Nut en noodzaak" en deelstudie 2, getiteld "Hydraulische aspecten". Dit rapport betreft deelstudie 2.

In deelstudie 1 is het nut en noodzaak van de Rozenburgse sluis onderzocht op basis van operationele, logistieke en economische aspecten. De belangrijkste conclusie van deelstudie 1 is dat, uit het oogpunt van logistieke verbetering voor de scheepvaart en operationele-kostenbesparing, het interessant is voor het GHR om de sluis te verwijderen en een open verbinding ter plaatse te realiseren. Hierbij is de kanttekening geplaatst dat deze verbinding kan worden gerealiseerd mits aangetoond kan worden dat de hydraulische gevolgen acceptabel zijn met betrekking tot de scheepvaart in het Hartelkanaal en Calandkanaal en verziltingproblematiek in de Oude Maas.

In deelstudie 2 zijn bovengenoemde hydraulische gevolgen onderzocht. De doelstelling van deelstudie 2 is te bepalen of het wenselijk en haalbaar is de Rozenburgse sluis te verwijderen en een Open Kanaalverbinding te realiseren met het oog op de hydraulische gevolgen van een Open Kanaalverbinding, ten aanzien van de scheepvaart en de verziltingsproblematiek.

De hydraulische gevolgen, met betrekking tot stroming- en saliniteit, zijn onderzocht aan de hand van 3D-stromingsberekeningen met behulp van het Zeedelta Model. De resultaten van een 3D-stromingssimulatie met het originele Zeedelta model v8, de zogenaamde referentiesituatie (schematisatie van de Nederlandse wateren anno 2002) zijn vergeleken met een simulatie met aangepaste versie van het Zeedelta model v8, welke een Open Kanaalverbinding schematiseert. De periode van de simulatie start op 8 januari 1998 (00:00 uur) en eindigt op 25 januari 1998 (00:00 uur). Tijdens deze periode is sprake van een gemiddelde rivierafvoer.

De modelberekeningen wijzen uit dat de hydraulische gevolgen van de Open Kanaalverbinding ten opzichte van de referentie situatie als volgt zijn:-

- toename van de maximale absolute stroomsnelheden in het Hartelkanaal-oost van 1.0 m/s tot 2.2 m/s; in de Open Kanaalverbinding van 0 m/s tot 1.0 m/s; in het Calandkanaal-smal van 0 m/s tot 0.7 m/s; en in het Calandkanaal-diep in de zoetwaterjet vanuit Calandkanaal-smal, van ca 0 m/s tot 1 m/s;
- afname van de maximale absolute stroomsnelheden in het Hartelkanaal-west van 1.6 m/s tot 1.0 m/s en in het Beerkanaal, in de zoetwaterjet vanuit Hartelkanaal-west, van 1 m/s naar 0.8 m/s;
- toename van de saliniteit in de Oude Maas ter hoogte van de inlaat van het Spui van 25% gedurende een 50% langere durende periode.

Ten einde te kunnen beoordelen of het nautisch gezien verantwoord is, met betrekking tot de stroomsnelheden, om een Open Kanaalverbinding te creëren, zijn voor dit onderzoek de volgende referentie-criteria opgesteld:-

- de huidige stroomsnelheden in het Hartelkanaal-west geven de maximaal toelaatbare stroomsnelheden met betrekking tot de bevaarbaarheid van het kanaal;
- het huidige stroombeeld, zoals deze voorkomt in het Beerkanaal bij de uitstroom van het Hartelkanaal-west, geeft de maximaal toelaatbare stroomsnelheden ten aanzien van de zoetwaterjet met betrekking tot de scheepvaart.

Toetsing van de simulatieresultaten aan bovenstaande referentie-criteria wijst uit dat de verwachte stroomsnelheden in het Calandkanaal-smal en Calandkanaal-diep voldoen. De stroomsnelheden in het Hartelkanaal-oost voldoen echter niet aan de referentie-criteria.

Ten aanzien van de maximaal toelaatbare toename van de saliniteit in de Oude Maas bij de inlaat van het Spui is voor dit onderzoek het volgende toetsingscriterium opgesteld:-

- Toename van de verzilting van het Spui is niet acceptabel.

Aangezien de saliniteit op de Oude Maas bij een Open Kanaalverbinding zal toenemen, wordt niet voldaan aan het toetsings-criterium.

Op grond van de resultaten van deze studie en rekening houdend met de modelonzekerheden (nauwkeurigheid model en schematisatie) wordt geconcludeerd dat het niet wenselijk is om de Rozenburgse sluis te verwijderen en een Open Kanaalverbinding tot stand te brengen tussen het Hartelkanaal en Calandkanaal.

Inhoud

VOORWOORD	3
SAMENVATTING	4
1 INLEIDING	8
2 DOELSTELLING VAN DEELSTUDIE 2	9
3 WERKWIJZE	10
4 BESCHRIJVING VAN HET 3D ZEEDELTA MODEL	11
4.1 ALGEMEEN	11
4.2 THEORETISCHE ACHTERGROND ZEEDELTA MODEL	12
4.2.1 Achtergronden computersimulatiemodellen	12
4.2.2 Ondiepwatervergelijkingen	13
4.2.3 Randen van model	13
4.3 THEORIE DICHTHEIDSTROMING	14
5 INSTELLINGEN ZEEDELTA MODEL V8	16
5.1 ALGEMEEN	16
5.2 REKENROOSTER	16
5.3 MODELINSTELLINGEN	16
6 GEKOZEN SIMULATIEPERIODE	20
6.1 ZEE EN RIVIER RANDVOORWAARDEN	22
6.2 INITIËLE VELDEN	22
6.3 UITVOER	23
6.4 NAUWKEURIGHEID EN BETROUWBAARHEID VAN HET MODEL	23
7 UITVOERING VAN HET ONDERZOEK	25
7.1 AANPASSINGEN INVOERFILES ZEEDELTA MODEL V8	25
7.2 SCHEMATISATIE VAN DE OPEN KANAALVERBINDING	26
8 RESULTATEN	29
8.1 ALGEMEEN	29
8.2 STROOMSNELHEDEN	29
8.2.1 Maps van stroomsnelheden	29
8.2.2 Stroomsnelheden Hartelkanaal-oost	31
8.2.3 Stroomsnelheden Calandkanaal-smal	33
8.2.4 Stroomsnelheden Calandkanaal-diep	34
8.2.5 Stroomsnelheden Hartelkanaal-west	36
8.2.6 Stroomsnelheden Beerkanaal	37
8.3 SALINITEIT	38
8.4 SAMENVATTING RESULTATEN	39
9 EVALUATIE VAN RESULTATEN	41
9.1 REFERENTIE CRITERIA - STROOMSNELHEDEN	41
9.2 REFERENTIE-CRITERIA - SALINITEIT	43
10 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	45
LITERATUURLIJST	46
LIJST VAN FIGUREN	47
LIJST VAN TABELLEN	47
LIJST VAN APPENDICES	48
LIJST VAN BIJLAGE	48

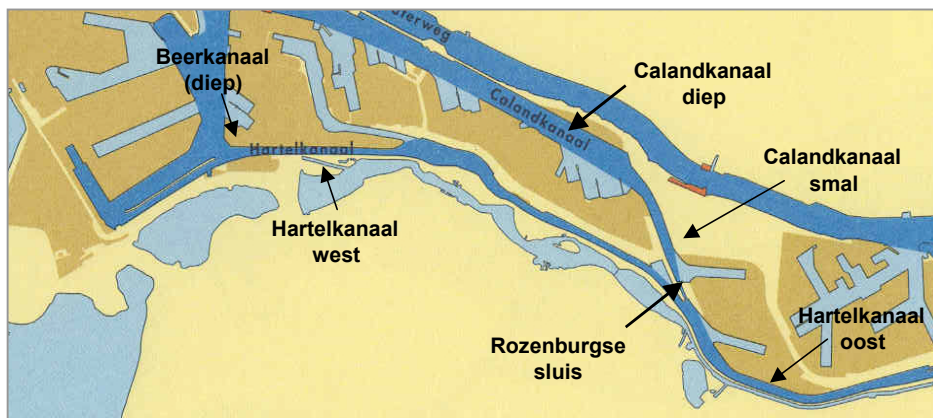
1 Inleiding

Dit rapport betreft deelstudie 2 van het afstudeeronderzoek getiteld “De wens en mogelijkheid tot het verwijderen van de Rozenburgse sluis”.

In deelstudie1 is het nut en noodzaak van de Rozenburgse sluis onderzocht op basis van operationele, logistieke en economische aspecten. De belangrijkste conclusie van deelstudie1 is dat, uit het oogpunt van logistiek verbetering voor de scheepvaart en operationele-kostenbesparing, het interessant is voor het GHR om de sluis te verwijderen en een open verbinding ter plaatse te realiseren. Hierbij is de kanttekening geplaatst dat deze verbinding kan worden gerealiseerd mits aangetoond kan worden dat de hydraulische gevolgen acceptabel zijn met betrekking tot de scheepvaart in het Hartelkanaal en Calandkanaal en verziltingproblematiek in de Oude Maas.[1]

In deelstudie 2 zijn bovengenoemde hydraulische gevolgen onderzocht aan de hand van 3D-stromingsberekeningen met behulp van het Zeedelta Model, met medewerking van het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ).

De Rozenburgse sluis vormt een verbinding voor de scheepvaart tussen het Calandkanaal en het Hartelkanaal (zie Figuur 1).



Figuur 1: Overzichtkaart interessegebied

In dit rapport wordt de situatie waarin de Rozenburgse sluis is verwijderd en een open kanaalverbinding is gerealiseerd aangeduid met “Open Kanaalverbinding”.

Het creëren van een Open Kanaalverbinding heeft gevolgen voor de stroomsnelheden in het Hartelkanaal, Calandkanaal en Beerkanaal. Onduidelijk is hoe deze stroomsnelheden zullen veranderen. Dit is onder andere van belang voor de bevaarbaarheid van de waterwegen.

Daarnaast treedt mogelijk verzilting op van de Oude Maas als gevolg van de open verbinding tussen het Hartelkanaal en het zoute Calandkanaal. Met name de waterkwaliteit van de Oude Maas ter hoogte van de inlaat van het Spui is van belang i.v.m. drinkwatervoorzieningen. De vraag is in hoeverre er sprake zal zijn van verandering.

Het RIKZ beschikt over een driedimensionaal numeriek waterbewegings en zouttransport model van de Hollandse Kust en het Noordelijk Deltabekken: het 3D Zeedelta model v8. Met behulp van dit model worden in deze studie de verwachte stromings- en saliniteitseffecten berekend die in de situatie Open Kanaalverbinding zullen optreden.

2 Doelstelling van deelstudie 2

De doelstelling van deelstudie 2 is als volgt:-

Bepaal of het wenselijk en haalbaar is de Rozenburgse sluis te verwijderen en een Open Kanaalverbinding te realiseren met het oog op de hydraulische gevolgen van een Open Kanaalverbinding met betrekking tot de scheepvaart en verzilting.

Deze doelstelling is onder te verdelen in de volgende subdoelstellingen:-

- onderzoek in welke mate er stromingsveranderingen zullen optreden in het Hartelkanaal, Calandkanaal en Beerkanaal als gevolg van een Open Kanaalverbinding;
- bepaal of de veranderingen van de stromingen als gevolg van een Open Kanaalverbinding acceptabel zijn ten aanzien van de bevaarbaarheid voor de scheepvaart;
- onderzoek in welke mate de saliniteit in de Oude Maas ter hoogte van het Spui zal veranderen in geval van een Open kanaalverbinding;
- bepaal of de veranderingen van de saliniteit als gevolg van een Open Kanaalverbinding acceptabel zijn ten aanzien van de verziltingproblematiek in de Oude Maas.

3 Werkwijze

De stromings- en saliniteitsveranderingen als gevolg van een Open Kanaalverbinding zijn onderzocht aan de hand van een vergelijking van de resultaten uit een 3D-stromingssimulatie met het originele Zeedelta model v8, de zogenaamde referentiesituatie (schematisatie van de Nederlandse wateren anno 2002) en een simulatie met een aangepaste versie van het Zeedelta model v8, welke een Open Kanaalverbinding schematiseert.

Tijdens deze studie zijn de volgende stappen uitgevoerd:-

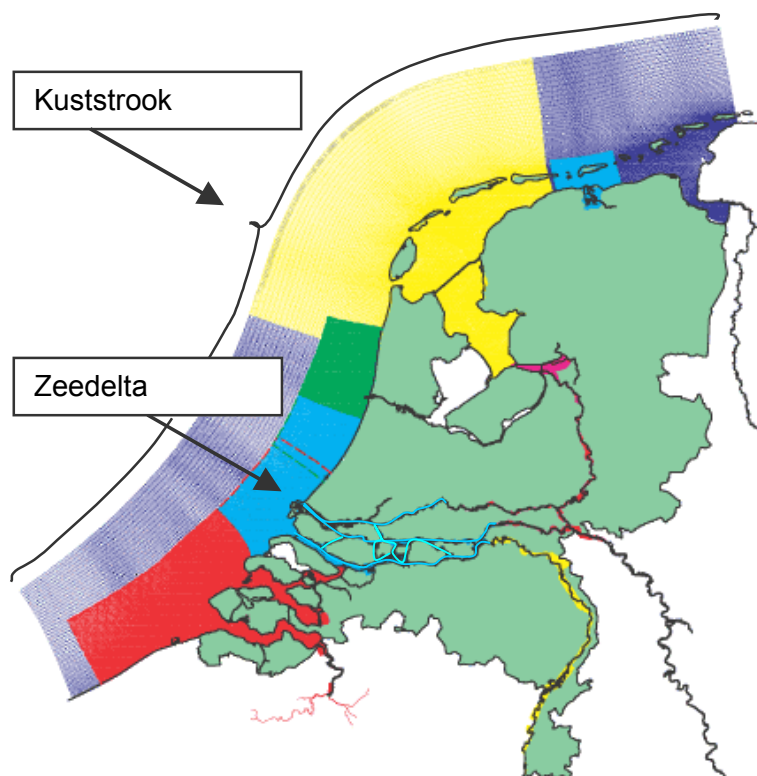
1. Begrip ontwikkelen voor het Zeedelta model:-
 - inzicht krijgen in de theoretische achtergrond van het Zeedelta model;
 - begrip ontwikkelen voor het gebruik van het besturingssysteem Linux, het simulatieprogramma SIMONA voor waterbeweging en zouttransport en het op Matlab gebaseerde visualisatie pakket KALGUI;
2. Kiezen van een referentiesituatie met de daarbij behorende invoerfiles van het Zeedelta model;
3. Aanpassen van invoerfiles van het Zeedelta model voor de referentie simulatie en simulatie Open Kanaalverbinding, waarmee:-
 - de in- en uitvoer van het model wordt aangepast aan deze studie;
 - de Open Kanaalverbinding wordt geschematiseerd;
4. Maken van een 2D run met 2DH Zeedelta v8, waarmee:-
 - de initiële saliniteits- en waterstandvelden voor de 3D simulatie worden gegenereerd;
 - een controle van de veranderingen in de invoerfiles kan worden uitgevoerd ;
5. Uitvoeren van de simulatie van de referentiesituatie en de situatie Open Kanaalverbinding met het 3D Zeedelta model v8. Deze simulaties worden gerund met de domeindecompositie versie van TRIWAQ op 15 parallel geschakelde processoren op het Computer Cluster op de faculteit van Civiele Techniek;
6. Analyseren van de simulatieresultaten aan de hand van visualisaties van de resultaten uit de berekeningen met behulp van de programma's KALGUI, WAQPAN en Matlab.

4 Beschrijving van het 3D Zeedelta model

4.1 Algemeen

Het 3D Zeedelta model is een driedimensionale numeriek waterbewegings en zouttransport model van de Hollandse Kust en het Noordelijk Deltabekken en waarvan het bijbehorende rooster een uitsnede is van het rooster van het Supermodel. Het Supermodel is een verzamelnaam voor een consistente set modellen die alle Nederlandse getijwateren bedekken, zoals is weergegeven in Figuur 2. Deze zijn vervaardigd door het RIKZ voor toepassingen binnen Rijkswaterstaat zoals on-line voorspellingen, scheepvaartbegeleiding, ruimte voor rivieren, beleidsondersteuning van waterbeheer, etc.

Aan de zeezijde van het Zeedelta model liggen de begrenzingen op ca. 60 km uit de kust tussen Zandvoort en het Brouwershavense Gat. Aan de rivierzijde ligt de begrenzing van de Lek bij de stuw bij Hagestein, de Waal aangegeven tot juist bovenstrooms van Tiel en de Maas tot aan de stuw bij Lith, aangegeven met licht blauw in Figuur 2.



Figuur 2: Diverse roosters van het supermodel

Naast het rekenrooster bevat het Zeedelta model tevens een computersimulatie-programma, gebieds-schematisatie, fysische parameters en randvoorwaarden. Uit oogpunt van efficiëntie en uniformiteit zijn binnen het RIKZ verschillende componenten van het rekenmodel gestandaardiseerd. Dit zijn: SIMONA (simulatie systeem), KALMINA (data-assimilatie systeem) en WASYGRID (gebiedsschematisatie systeem).

SIMONA (Simulatie MOdellen NAtte waterstaat) is een kennissysteem voor het simuleren van fysische verschijnselen in het water. Met behulp van numeriek-wiskundige modellen, ontwikkeld door het RIKZ, worden waterstanden, waterstromingen, golfhoogten en verspreiding van stoffen berekend in rivieren, meren, estuaria en zeeën. Het systeem bestaat uit onderdelen voor voorbereiding, simulatie, opslag en nabewerking en presentatie van invoergegevens en berekeningsresultaten.

KALMINA (KaLman in Modellen In de NAtte waterstaat) is een data-assimilatie systeem, eveneens ontwikkeld door het RIKZ. Zo'n systeem is noodzakelijk bij real-time toepassingen van rekenmodellen, omdat hierdoor de werkelijkheid beter wordt benaderd. Voor real-time toepassingen worden daarom actuele meetgegevens toegevoegd aan rekenmodellen. Dit gebeurt met behulp van een data-assimilatietechniek, te weten een Kalman-filter.

WASYGRID (Water SYstem GRID) is een samenhangend stelsel van watersystemen in en om Nederland die zijn opgedeeld in geschematiseerde gebieden. Deze gebiedsschematisaties zijn ontwikkeld door verschillende regionale directies van Rijkswaterstaat (RWS). Een computer-simulatiesysteem met informatie over stromingen langs de kust en in vaargeulen maakt gebruik van deze geschematiseerde gebieden. Deze gebieden zijn ondergebracht in kromlijnige roosters die bestaan uit rekenpunten die het model van informatie voorzien. Waar dit uit het oogpunt van nauwkeurige beschrijving van hydrodynamica het meest noodzakelijk zijn, worden meer rekenpunten toegevoegd.[2]

4.2 Theoretische achtergrond Zeedelta Model

4.2.1 Achtergronden computersimulatiemodellen

De rekenmethoden in het Zeedelta model, om de waterbeweging te simuleren zijn gebaseerd op verschillende, zogenaamde mathematisch-fysische modellen voor de stroming van water, of andere media.

Stroming van water met een tijdschaal in de orde van uren, waarbij de golflengte in verhouding tot de waterdiepte relatief groot is en in een gebied waarin de horizontale lengteschalen vele malen groter zijn dan verticale lengteschalen wordt wiskundig beschreven door zogenaamde dieptegemiddelde (2D) of 3D ondiepwatervergelijkingen. Hierbij levert een 3D model informatie over het snelheidsprofiel en de saliniteit over de verticaal, hetgeen 2D modellen niet doen.

Een belangrijk uitgangspunt van het Zeedelta model is de onsamendrukbaarheid van water en de aanname dat de waterdruk hydrostatisch wordt verondersteld over de diepte.

De ondiepwatervergelijkingen zijn zogenaamde partiele differentiaalvergelijkingen, die voor elk punt in een zeker gebied en op elk tijdstip aangeven wat de relatie is tussen de onbekende snelheidscomponenten en de onbekende waterstand. In deze vergelijkingen komen naast de snelheidscomponenten en de waterstand ook de parameters voor die de stroming in het gebied bepalen zoals de bodemligging, bodemruwheid en wind. Deze parameter zijn veelal moeilijk te bepalen en geschiedt meestal op empirische gronden. Voor een zoutwater-systeem wordt ook een advectie-diffusievergelijking voor het transport van zout aan ondiepwatervergelijkingen toegevoegd.

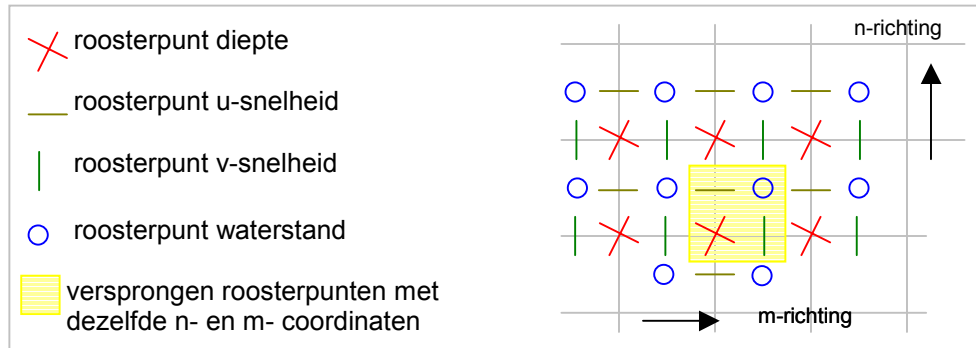
Gegeven de snelheidscomponenten, de waterstanden en het zoutveld op een zeker tijdstip in het hele interessegebied, kunnen de grootheden op basis van de differentiaalvergelijkingen op alle latere tijdstippen eenduidig berekend worden mits op de randen van het gebied goede randvoorwaarden aanwezig zijn.

De snelheidscomponenten, de waterstanden en het zoutveld op het begintijdstip zijn de beginvoorwaarden: het initiële veld. In 3D-modellen moeten de beginvoorwaarden voor de snelheid per laag worden opgegeven. In de praktijk worden de snelheden in het Zeedelta model op het begintijdstip overal gelijk aan 0 gesteld.

Vaak is slechts een globale schatting van de beginvoorwaarden beschikbaar. Dit is echter geen probleem voor de ondiepwatervergelijkingen en de advectiediffusievergelijking, omdat na voldoende lang simuleren (het zogenaamde inspelen van het

model) het effect van de beginvoorwaarden uitsterft. De oplossing wordt uiteindelijk, na voldoende lang simuleren, volledig bepaald door de randvoorwaarden.

Voor het discretiseren van de vergelijkingen in de geografische ruimte, wordt een rooster over het modelgebied geplaatst. Dit rooster bestaat uit aan elkaar aansluitende vakjes met elk een m en n coördinaat. In elk vakje worden 4 verschillende eigenschappen toegekend: diepte, waterniveau, de u-snelheid en de v-snelheid in de resp. m- en n-richting, zie Figuur 3. Men spreekt van een versprongen rooster.



Figuur 3: versprongen rooster

4.2.2 Ondiepwatervergelijkingen

Ondiepwatervergelijkingen kunnen worden afgeleid door de continuïteitsvergelijking (behoud van massa) en de Navier Stokes vergelijkingen (behoud van impuls).

In het Zeedelta model wordt de waterkolom in een aantal lagen verdeeld en worden de componenten per laag bepaald. De bewegingsvergelijkingen voor de snelheidscomponenten per laag bevatten verticale uitwisselingstermen t.g.v. advectie en turbulente uitwisseling.

Bij 3D modellering van de stroming in de Nederlandse beneden rivieren bij de kust spelen dichtheidverschillen ten gevolge van zout en temperatuur een belangrijke rol. Het transport van opgeloste stoffen zoals zout en temperatuur wordt beschreven door de 3D advectie-diffusievergelijking.

4.2.3 Randen van model

Het Zeedelta model wordt begrensd door de fysieke randen van het gebied waarbinnen de stroming gesimuleerd wordt. Deze randen kunnen "open" of "gesloten" zijn. Gesloten randen van een watersysteem zijn natuurlijke randen en grenzen aan land: bijvoorbeeld een kustlijn of rivieroever. Op deze randen wordt aangenomen dat de snelheid loodrecht op de rand 0 is, er kan geen water of zout door deze rand stromen.

Bij een open rand wordt de gebiedsbegrenzing bepaald door de omvang van het wiskundig model: water grenst aan water. Een open rand is een kunstmatige rand, waarvan de locatie door de gebruiker gekozen is. Om de stroming in het modelgebied te kunnen bepalen moet op de kunstmatige rand een randvoorwaarde opgedrukt worden. In het algemeen geldt dat op iedere open rand een randvoorwaarde nodig is. Door middel van de randvoorwaarden wordt de invoer van het model bepaald.

Op een open rand wordt de waterstand of de snelheidscomponent loodrecht op de rand voorgeschreven. Daarnaast worden de tangentiële snelheidscomponent en de tangentiële schuifspanning langs de rand op nul gesteld ("free slip"). De mogelijkheden om tot deze randvoorwaarde te komen zijn: metingen van waterstand of stroming, analyse van het plaatselijke astronomische getij of een wiskundig model van een gebied met een grotere omvang, het zogenaamde nesten. Het Zeedelta model maakt gebruik van deze laatste methode.

In het Zeedelta model wordt bij de randen op de rivieren het debiet loodrecht op de rand als functie van de tijd $f(t)$ opgedrukt, de snelheid langs de rand wordt op nul gesteld.

De randvoorwaarden van de zoutconcentratie wordt enkel gegeven tijdens instroming op de zeerand van het Zeedelta model. De concentratie op de rand tijdens uitstroming wordt volledig bepaald door het binnengebied. Een punt dat meereist met de stroming volgt een stroomlijn. De verandering van de concentratie C langs de stroomlijn is gelijk aan nul. Dit betekent dat de concentratie langs een stroomlijn constant is, een zogenaamde karakteristiek. Voor de advectie vergelijking ligt de oplossing dus vast langs de karakteristieken.

Als de concentratie van de randvoorwaarde, die wordt opgedrukt tijdens instroming verschilt van de concentratie in het binnengebied bij uitstroming, dan zou er bij de kentering van uitstroming naar instroming een discontinuïteit ontstaan. De concentratie op de rand zou in dat geval abrupt overgaan van de waarde bij uitstroming naar de waarde opgelegd in de randvoorwaarde. In werkelijkheid zal de concentratie op de rand veel geleidelijker overgaan, waarbij de overgangstijd afhankelijk is van de verversingstijd van het gebied achter de rand. De overgangstijd wordt de "return time" genoemd.

Een belangrijke eis aan de randvoorwaarden op een kunstmatige open rand is dat golven, die de rand vanuit het binnengebied bereiken, de rand ongestoord kunnen passeren ongeacht hun richting. Naar buiten gaande golven mogen door de rand niet worden gereflecteerd en naar binnengaande golven moeten vrij naar binnen kunnen lopen. Dergelijke randvoorwaarden noemen we niet-reflecterend. In de praktijk blijken niet reflecterende randvoorwaarden moeilijk realiseerbaar en wordt gestreefd naar randvoorwaarden die zo min mogelijk reflecteren: zogenaamde zwakreflecterende randvoorwaarden. Deze zwakreflecterende randen kunnen worden geboden door de zogenaamde Riemann invariant bij de randvoorwaarde op te tellen.

Het is gebruikelijk om het model "koud" te starten, hetgeen wil zeggen: een start waarbij nog geen stroming in het model aanwezig is. Na het opstarten van de simulatie zal er ten gevolge van de open randvoorwaarden of externe forcering een inschakelverschijnsel worden opgewekt. Dit inschakelverschijnsel is een stoorgolf, die zal moeten worden uitgedempt of door de open rand moet weglopen.

Bij de waterstandrand en de snelheidsrand worden de tijdsafgeleide van de uitgaande Riemann invariant bij de randvoorwaarde opgeteld. Stoorgolven met een trillingstijd gelijk aan of in de buurt van de karakteristieke periode kunnen dan door de rand weglopen.[3]

4.3 Theorie dichtheidsstroming

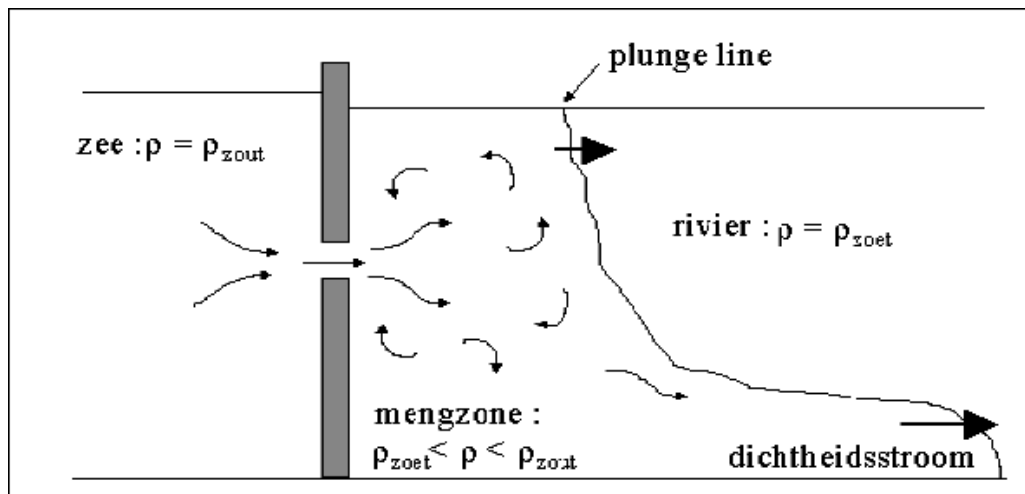
Door het driedimensionale karakter van het model is het in principe een geschikt instrument om effecten in de waterbeweging die zich niet goed over de diepte laten middelen, te voorspellen. Met name de interactie tussen het relatief lichte zoete rivierwater en het zwaardere zoute zeewater levert vaak gecompliceerde stromingen op, die zich niet goed laten beschrijven door een 1-D of 2-D formulering. Het 3D model is met name ontwikkeld om de zoutindringing te modelleren en de daarbij gepaard gaande dichtheidsstromen.

Dichtheidsstromingen ontstaan doordat zout en zoetwater elkaar ontmoeten. Bij estuaria, waarbij zoet rivierwater uitstroomt in een zee of zout zeewater binnendringt op de rivieren, is sprake van deze dichtheidstromingen. Zoutwater heeft een grotere dichtheid dan zoetwater. Indien de twee stromen niet mengen zal het zoute water zich in de onderlaag van het water bewegen (zogenaamde zoutwatertong), terwijl het zoetwater aan de oppervlakte in tegengestelde richting stroomt, (zie Figuur 4).

Op het scheidingsvlak vindt een turbulente stroming plaats die een zekere menging tussen zout en zoet water tot gevolg heeft. Bij geringe menging zal een groot verschil in zoutgehalte in de verticale richting ontstaan; een grote (verticale) zoutstratificatie.

In verticale profielen van de stroomsnelheid kan de stratificatie zich o.a. uiten in de grootte en de richting van de stroming. De snelheid in een goed gemengde watermassa is vrijwel constant over de diepte met als uitzondering in de grenslaag bij de bodem. Hier ondervindt de stroming bodemwrijving waardoor de stroomsnelheid over het algemeen lager is dan in de rest van de waterkolom. Bij een sterk gestratificeerde watermassa kunnen de snelheden en de richting van de snelheden in de verschillende lagen verschillen.

Grote menging geeft nauwelijks verschil tussen het zoutgehalte aan het oppervlak en aan de bodem. In dit geval is in estuaria dan sprake van horizontale stratificatie. Hierbij ontmoet het zoet rivierwater het zoute zeewater waarbij de scheidingslijn zich afhankelijk van het getij en rivierafvoer heen en weer over de rivieren beweegt.[4]



Figuur 4: Dichtheidsstromingen

5 Instellingen Zeedelta model v8

5.1 Algemeen

Dit onderzoek wordt uitgevoerd met behulp van versie 8 van het Zeedelta model. Het Zeedelta model v8 is een vernieuwde versie van het Zeedelta model v7, waarbij de schematisatie van de havens verder is verfijnd en het zuidoostelijke deel is uitgebreid. Het 3D Zeedelta model v7 is vervaardigd op basis van de 2DH-versie van het Zeedelta model. Dit model is gekalibreerd voor de periode augustus-november 1998 en geverifieerd voor de periode januari-maart 1998. Er heeft geen kalibratieslag plaatsgevonden in 3D Zeedelta (v7).[5]

5.2 Rekenrooster

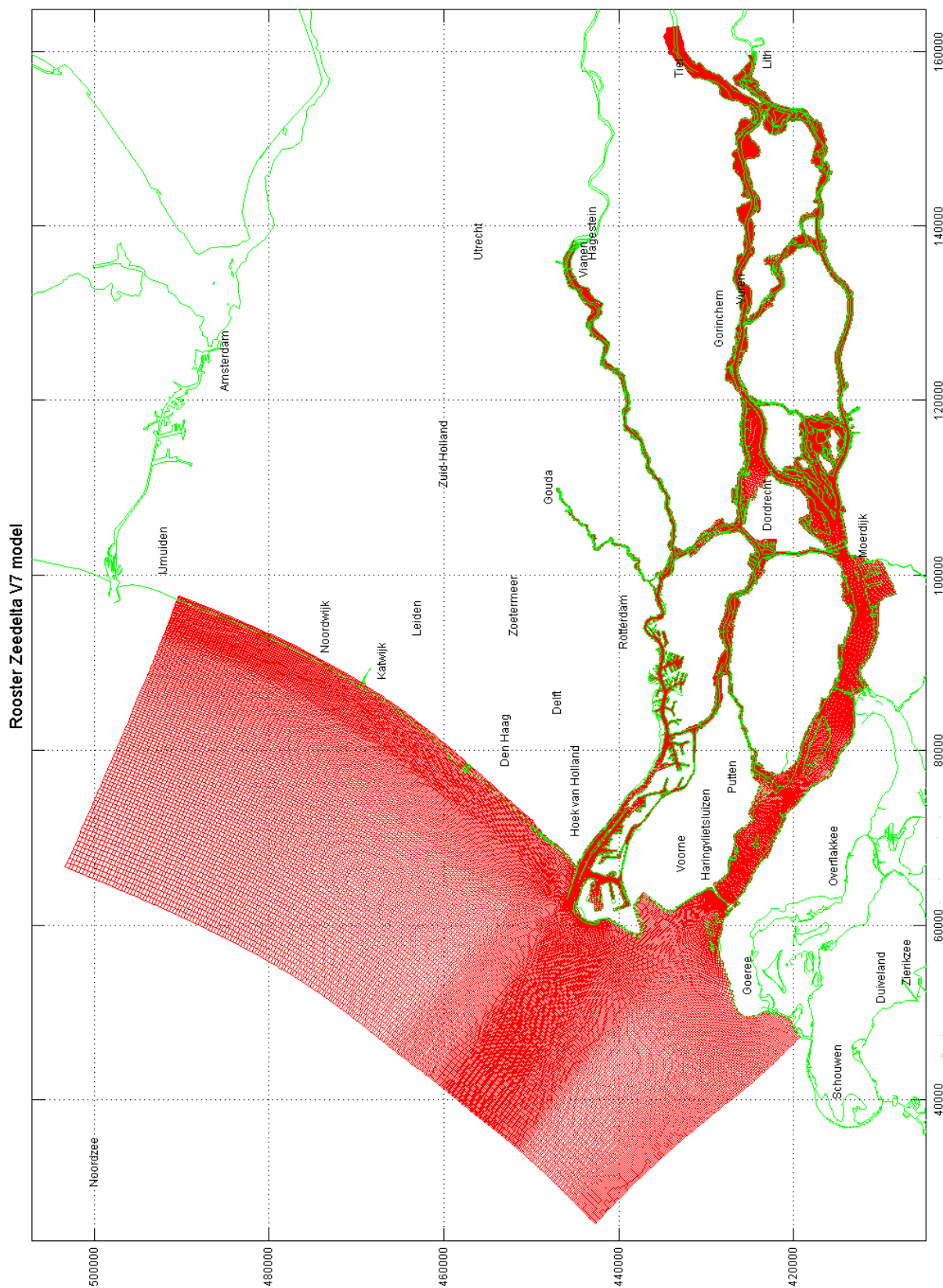
Het rooster van het Zeedelta model v8 is kromlijinig rekenrooster, zie Figuur 5. Het rooster bevat $501 \times 1539 = 771.039$ rekenpunten. Hiervan liggen 17.895 punten (circa 22%) binnen de zogenaamde 'enclosure'. Het enclosure betreft de actieve roosterpunten in het stromingsmodel, dus over het algemeen gelegen in de waterwegen.

Ter plaatse van de Open Kanaalverbinding is de werkelijke afstand tussen twee rekenpunten ongeveer 100m. Het rooster is hiermee fijn genoeg om de Open Kanaalverbinding van ongeveer 200 bij 300m te kunnen schematiseren: de Open Kanaalverbinding ligt op een aantal roosterpunten, waardoor de eigenschappen van voldoende roosterpunten kunnen worden aangepast om zodoende de Open Kanaalverbinding te schematiseren. Tegelijkertijd is het model groot genoeg zodat deze verbinding geen invloed heeft op de waterbeweging op de randen en daarmee de randvoorwaarden.

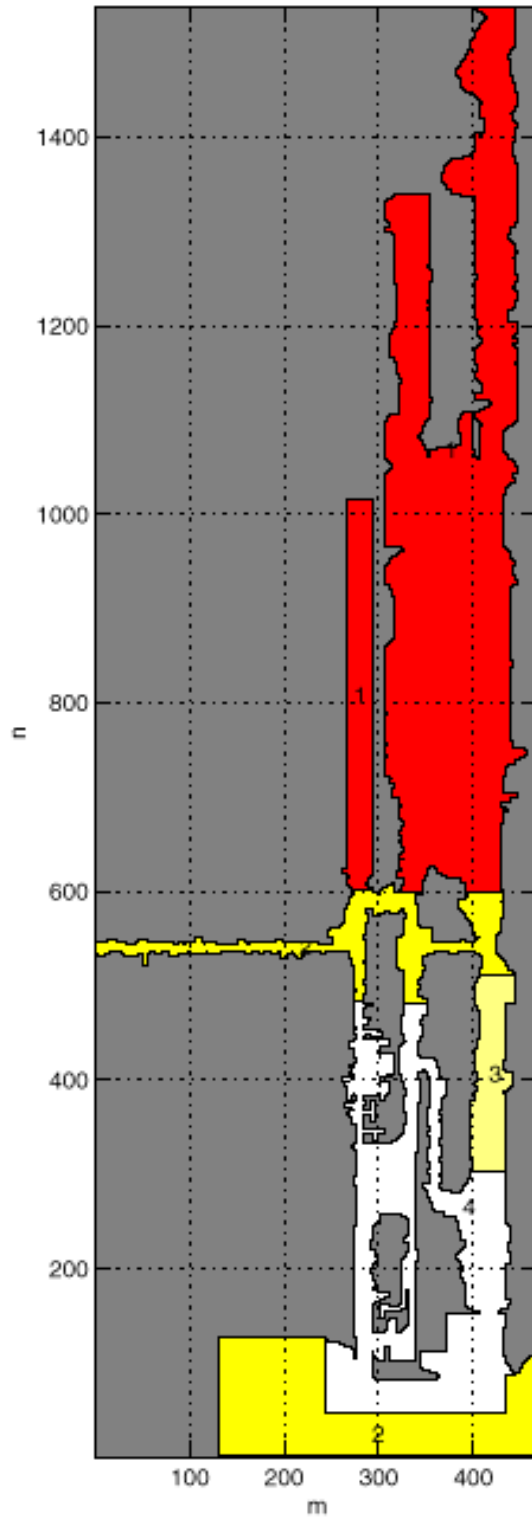
In de verticaal bevat het model verschillende aantal lagen. Deze zijn verdeeld over 4 domeinen zoals weergegeven in Figuur 6. Het aantal lagen wordt per domein opgegeven, in alle lagen is gekozen voor een sigmaverdeling, zie Tabel 1. Het interessegebied van dit onderzoek ligt in domein 4, waar sprake is van 10 lagen. [6] In verband met een evenwichtige werklust verdeling is elk domein onderverdeeld in een aantal subdomeinen. In totaal zijn er 15 sub-domeinen aanwezig in het model.[5]

5.3 Modelinstellingen

De belangrijkste parameters van het Zeedelta model v8 staan in Tabel 1.



Figuur 5: Rooster van het Zeedelta model



Figuur 2.2 Domeinverdeling in Zeedelta (v7) met betrekking tot het aantal lagen en de laagverdeling.

Figuur 6: Domeinverdeling in Zeedelta met betrekking tot het aantal lagen en de laagverdeling

Parameter	Grootte	Bijzonderheden
Aantal lagen (kmax)	variërend per domein: domein 1: 1 laag domein 2: 4 lagen domein 3: 7 lagen domein 4: 10 lagen	Sigma-lagen: (verdeling aangegeven van links naar rechts: van oppervlakelaag tot bodemlaag) 100% 20%, 33%, 23%, 24% 20%, 18%, 15%, 12%, 11%, 13%, 11% 20%, 18%, 15%, 12%, 11%, 8%, 5%, 4%, 4%, 3%
Aantalsub- domeinen	15	
Horizontale diffusie coëfficiënt	50 m ² /s 1 m ² /s	Dieptegemiddeld in 2 rivierdomeinen (oost) (rood aangegeven in Figuur 6)
Eddy viscositeit coëfficiënt	6 m ² /s 1 m ² /s	in 2 rivierdomeinen (oost)
Tijdstap	30 sec	15 sec in eerste 4 dagen, voor voorkomen instabiliteit
Afbreekcriteria	0.0005 (m)	Max. aant. iteraties oplossing continuïteit- en impulsvgl. = 40
Ruwheid I, formule van Manning (estuarium en zee)	0.024 s/m ^{1/3} 0.014 s/m ^{1/3} 0.020 s/m ^{1/3} 0.015 – 0.020 s/m ^{1/3}	Standaard waarde Hollandsche IJssel NWW/ N. Maas O. Maas Haringvliet / Holl. Diep
Ruwheid II, formule van White-Colebrook (voor rivieren)	0.05m 0. 02 – 0.08m 0.02m 0.02 – 0.04m	Standaard waarde Lek Merwede / Waal Maas
Kritische diepte droogval	0.15m	
Turbulentie model	Standaard k-ε	
Return-time zout	180 min	
Reflectiecoëfficiënt	150	Afzwakken van reflectie invloeden op de zeeranden
Windsnelheid	Tijdreeksen gemeten in Geulhaven Rotterdam, de snelheidgrootte neemt af van west naar oost	Cd coëfficiënt op basis van Charnock

Tabel 1: Modelinstellingen Zeedelta v8 [6]

6 Gekozen simulatieperiode

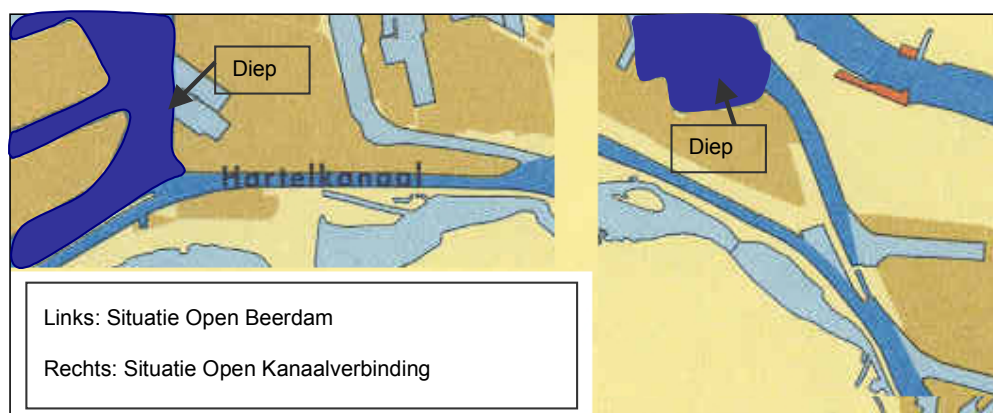
Bij de keuze van simulatieperiode is het van belang dat deze een periode betreft waarin de situatie (ligging van de waterwegen in het modelgebied) overeenkomt met de huidige situatie (anno 2002), d.w.z. na het openbreken van de Beerdam.

De periode waarin de simulatie wordt uitgevoerd is bepalend voor de randvoorwaarden files. De volgende periodes zijn beschikbaar: januari – april 1998 (situatie met gemiddelde rivierafvoer) en augustus – november 1998 (situatie met hoge en lage rivierafvoer).

Binnen het tijdframe van dit onderzoek is ruimte voor een simulatie met één bepaalde periode, ofwel rivierafvoer. De keuze ten aanzien van de lage, gemiddelde of hoge afvoer is gemaakt op basis van de veronderstelling dat de situatie, met de hoogst voorkomende stroomsnelheden en grootste saliniteitstoename, maatgevend is.

Met betrekking tot de te verwachten stroomsnelheden wordt aangenomen dat een vergelijking gemaakt mag worden tussen de situatie Open Kanaalverbinding en Open Beerdam. Deze aanname wordt gedaan op grond van de volgende overeenkomsten tussen beide situaties (zie Figuur 7):-

- zowel bij de Open Beerdam als de Open Kanaalverbinding is er sprake van een abrupte overgang van een smal/ondiep kanaal (Hartelkanaal/ smalle Calandkanaal) in een breed/diep kanaal (Beerkanaal / Calandkanaal);
- in beide gevallen stroomt bij neergaand tij zoet water vanuit het smalle/ondiepe kanaal het zoute/diepe kanaal in.



Figuur 7: Situatie Open Beerdam en Open Kanaalverbinding

De optredende stroomsnelheden bij de verschillende rivierafvoeren bij de Open Beerdam zijn bekeken aan de hand van de digitale Nautilus SG stroomatlas [2]. Deze atlas geeft stromingsinformatie over lage, gemiddelde en hoge afvoeren van Rijn bij doortij, gemiddeld tij en springtij voor de huidige situatie (anno 2002).

De volgende twee locaties worden bekeken, waar grote absolute stroomsnelheden en snelheidsverschillen voorkomen, (zie deelstudie 1):-

- het deel van het westelijke uiteinde van Hartelkanaal (Hartelkanaal-west), waar grote stroomsnelheden ontstaan door de geringe breedte van het kanaal;
- het Beerkanaal bij de uitstroom van het Hartelkanaal, waar grote stroomsnelheden voorkomen doordat een zoetwaterjet over het zoute water schiet.

De maximale stroomsnelheden (dieptegemiddeld over bovenste 10m) die optreden gedurende 1 getij in het Hartelkanaal staan weergegeven in Tabel 2, de stromingen in het Beerkanaal staan aangegeven in Tabel 3. Hierbij geeft de +stroming richting zee aan en –stroming vanuit het Beerkanaal het Hartelkanaal in.

Maximale stroomsnelheid bij situatie Open Beerdam, opgetreden in 1 getij cyclus (in m/s)			
Stroomsnelheden bekeken in het Hartelkanaal-west			
Rivierafvoer	Springtij	Gemiddeld tij	Doodtij
Laag	-2	-1.2	-1.2
	+1.2	+1.3	+1.3
Gemiddeld	-1.6	-1.3	-0.6
	+1.6	+1.6	+1.4
Hoog	-1.7	-1.2	-0.7
	+1.8	+1.4	+1.2

Tabel 2: Maximale stroomsnelheden in Hartelkanaal-west

Maximale stroomsnelheid bij situatie Open Beerdam, opgetreden in 1 getij cyclus (in m/s)			
Stroomsnelheden bekeken de uitstroom van Hartelkanaal in Beerkanaal (zoetwaterjet)			
Rivierafvoer	Springtij	Gemiddeld tij	Doodtij
Laag	+0.6	+0.8	+0.8
Gemiddeld	+0.9	+1.2	+1.2
Hoog	+0.8	+0.8	+0.8

Tabel 3: Maximale stroomsnelheden in 'jet' vanuit Hartelkanaal in Beerkanaal

Tabel 2 laat zien dat de maximale stroomsnelheid in het Hartelkanaal-west optreedt tijdens rivierafvoer, -2.0 m/s. Tabel 3 geeft aan dat de stroomsnelheid in de zoetwaterjet het grootst bij gemiddeld tij, +1.2 m/s.

Naast stroomsnelheden dient ook gekeken te worden naar de verandering in de saliniteit. In de huidige situatie dringt bij met name bij een hoge zeewaterstand en een lage rivierafvoer (ca. 800m³/s bij Lobith) het zoute water de Oude Maas op voorbij de aftakking naar het Spui. Bij hoge afvoeren (meer dan 8000m³/s bij Lobith) dringt het zoute water in de huidige situatie niet door tot aan het Spui.[7]

Aan de hand hiervan wordt aangenomen dat de gevolgen van een Open Kanaalverbinding op de saliniteit bij het Spui het grootst zijn bij een hoge afvoer en het kleinst bij een lage afvoer.

Geconcludeerd kan worden dat geen eenduidigheid bestaat over de rivierafvoer waarbij de maatgevende situatie ten aanzien van de stroomsnelheid en saliniteit optreedt. Gekozen is om een simulatie uit te voeren voor een periode met een gemiddelde rivierafvoer (2200m³/s bij Lobith) in de periode 1 januari t/m 1 februari 1998.

De simulatie periode start op 8 januari 1998 (00:00 uur) en eindigt op 25 januari 1998 (00:00 uur). De inspeelperiode bedraagt 4 dagen dus tot 12 januari 1998 (00:00 uur).

De getijomstandigheden varieerden in de periode van 12 januari 1998 van springtij (14 januari) via gemiddeld tij (19 januari) tot doortij (23 januari). Bijlage 2 toont per dag gedurende de simulatieperiode de waargenomen waterstanden voor de locatie Hoek van Holland.

De rivierafvoeren gedurende de simulatie periode worden in Bijlage 1 getoond. De Rijnafvoer was vrijwel constant ca 2000m³/s bij Lobith, met als uitzondering de meetdag van 24 januari, waarop sprake was van een hoger dan gemiddelde Rijnafvoer van ca. 3300m³/s.

6.1 Zee en rivier randvoorwaarden

De randvoorwaarden van het Zeedelta model worden geleverd door het grotere Kuststrook model (zie Figuur 2). Voor dit zogenaamde nesten is de randindeling van het Zeedelta model zodanig opgezet dat elk punt overeenkomt met een punt in het omhullende Kuststrook. Hierdoor kunnen de waarden uit het Kuststrookmodel gebruikt worden als randvoorwaarden in het Zeedelta model. In totaal 136 open rand secties op de zeerand van Zeedelta gedefinieerd.

De randvoorwaarden voor de zeerand zijn opgelegd als tijdreeksen van waterstanden. De randvoorwaarden van de saliniteiten op de zeerand worden als constante (globale) waarden opgelegd en bedragen 35ppt op zee tot 28ppt aan de kust. Om het getij-effect in zouttransport aan de kust te simuleren wordt een return-time van 180 minuten ingevoerd.

De randvoorwaarden voor de drie rivierranden zijn opgelegd in de vorm van tijdreeksen van debieten, afkomstig uit DONAR database van Rijkswaterstaat. Voor wat betreft saliniteit wordt op iedere riviertak een constante waarde van 0.3 ppt opgedrukt.

Gemeten windsnelheden en richtingen zijn opgelegd als een ruimtelijk variërend windveld waarbij de grote van de snelheid van west naar oost afneemt. Tegelijkertijd wordt de windinvloed in de vorm van opzet via de waterstandranden verdisconteerd.[5]

Bij het maken van een vergelijking tussen twee simulaties moeten beide simulaties gebruikmaken van dezelfde randvoorwaarden. De randvoorwaarden zijn afhankelijk van de simulatieperiode.

6.2 Initiële velden

Bij het vergelijken van twee simulaties is het niet noodzakelijk dat de initiële velden (beginvoorwaarden) van beide simulaties aan elkaar gelijk zijn, aangezien de oplossing uiteindelijk, na voldoende lang simuleren, volledig bepaald wordt door de randvoorwaarden. De initiële velden van het Zeedelta model hebben betrekking op de waterstand en de saliniteit. De initiële velden uit de referentie situatie sluiten in de Open Kanaalverbinding situatie, ter plaatse van de verbinding, niet goed op elkaar aan.

Door extreme verschillen van waterstanden en/of saliniteiten tussen verschillende roosterpunten kunnen de 3D-berekeningen vastlopen. 2D-berekeningen zijn hier veel minder gevoelig voor. Ook kunnen deze verschillen leiden tot grote stoorgolven, welke

inspeeltijd nodig hebben om uit het model weg te lopen. 3D-berekeningen hebben een veel langere inspeeltijd nodig dan 2D-berekeningen. Vandaar dat de berekeningen voor de Open Kanaalverbinding gestart wordt met een initieel veld afkomstig uit een 2D berekening met dezelfde randvoorwaarden.

Bovendien is er tijdens het inspelen sprake van extreme waarden, waardoor roosterpunten op bepaalde momenten droog kunnen vallen. Dit kan problemen opleveren bij oplossen van de vergelijkingen waardoor de modelberekeningen vastlopen. In verband met dit droogvallen is het van belang dat het initiële veld valt in overeenstemming is met hoogwater.

De berekening met de Open Kanaalverbinding zijn opgestart met velden afkomstig uit een eerdere berekening met het 2DH Zeedelta v8 model met dezelfde randvoorwaarden en als startdatum 16 januari 1998 om 00:00 uur. Deze velden zijn weggeschreven op 23 januari 1998 00:00 uur (1 uur na hoogwater bij Hoek van Holland, zie Bijlage1). Het initieel saliniteitsveld is gelijk genomen voor alle lagen in de verticaal. Bij de start van de berekeningen zijn de stroomsnelheden uniform 0.0 m/s.

De 3D-berekeningen zijn opgedeeld in twee delen. De eerste deel van de berekening start op 8 januari 1998 00:00 uur en eindigt op 12 januari 1998 00:00 uur. In verband met het inspelen van het model is gekozen voor een relatief kleine tijdstap van 0.25 min. Na een inspeelperiode van 4 dagen werden de berekeningen middels een restart-optie opnieuw gestart op 12 januari 1998 00:00 uur, met een tijdstap van 0.5 minuut. Deze restart houdt in dat de uitvoer van het eerste deel van de berekening als invoer wordt gebruikt in het tweede deel, i.p.v. de originele invoerfiles.

6.3 Uitvoer

De uitvoer van de berekeningen zijn gevisualiseerd met behulp van het programma KALGUI (maps en tijdreeksen) en WAQPAN (verticale profielen). Beide maken gebruik van het programma Matlab.

De volgende onderdelen worden gepresenteerd:-

- tijdreeksen van stroomsnelheden en saliniteiten in gekozen checkpoints;
- verticalen van stroomsnelheden en saliniteiten in gekozen checkpoints;
- maps van stroomsnelheden van een uitgesneden gebied van het Noordelijke Deltabekken.

6.4 Nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van het model

De nauwkeurigheid van de modelberekeningen voor de Open Kanaalverbinding met aangepast Zeedelta model v8 is moeilijk te toetsen aangezien de resultaten niet vergeleken kunnen worden met meetgegevens (reproductienauwkeurigheid). De grote onzekerheid binnen dit onderzoek ligt in de schematisatie van de Open Kanaalverbinding. Hoofdstuk 7.1 gaat hier verder op in.

Wel wordt verwacht dat de reproductienauwkeurigheid van het aangepast Zeedelta model versie 8 ten minste overeenkomt met dat van het Zeedelta model versie 7.

De reproductienauwkeurigheid van het Zeedelta v7 model is onderzocht en staat beschreven in het rapport "Reproductie nauwkeurigheid Zeedelta v7, periode 01-01-1998 t/m 30-04-1998, Ingenieursbureau Svašek". [8]

De conclusies ten aanzien van de nauwkeurigheid van dit Zeedelta v7 model worden doorgetrokken naar de het Zeedelta v8 model:-

- waterstanden worden, met een betrouwbaarheid (RMS) van 0.08 m, goed gereproduceerd;
- snelheden worden met een betrouwbaarheid (RMS) van 0.15 m/s gereproduceerd;
- snelheidsverticalen geven een redelijk goede reproductie waarin de richting soms wat afwijkt.
- saliniteiten worden met een betrouwbaarheid (RMS) van ca 2.9 ppt geproduceerd. Het model berekent over het algemeen te lage saliniteiten;
- verticale profielen van de saliniteit worden goed gereproduceerd, met als kanttekening dat in de berekeningen de gelaagdheid te gering wordt weergegeven en de menging te groot.

Opgemerkt moet worden dat in het Zeedelta model v7 de invloed van de wind alleen impliciet is meegenomen via de zeerandvoorwaarden. Daarnaast is echter enkel gerekend met de ruwheidformulering van Manning.[8] In het Zeedelta model v8 wordt gerekend met windsnelheden en een combinatie van ruwheidformulering: de ruwheidformulering van Manning in het zeegebied en White-Colebrook in het bovenrivierengebied.

De performance van het Zeedelta model v7 met de toepassing van de combinatie van de ruwheidformuleringen Manning en White-Colebrook is getoetst op basis van een kwantitatieve vergelijking van modelresultaten met metingen in de periode 4 maart 1997 tot 15 maart 1997. Dit onderzoek staat beschreven in het rapport "Analyse van 3D Zeedelta (v7), berekeningen en onderzoek naar de effecten van combinatieruwheden, afvoercoëfficiënten en wind".[5]

Conclusies uit dit onderzoek ten aanzien van de nauwkeurigheid van het model zijn:-

- toepassing van de combinatie van de ruwheidformuleringen Manning en White-Colebrook leidt op zijn minst tot een verbetering van de reproductie van waterstanden;
- invloed van lokale windeffecten in het model zijn vooral zichtbaar in de saliniteiten.

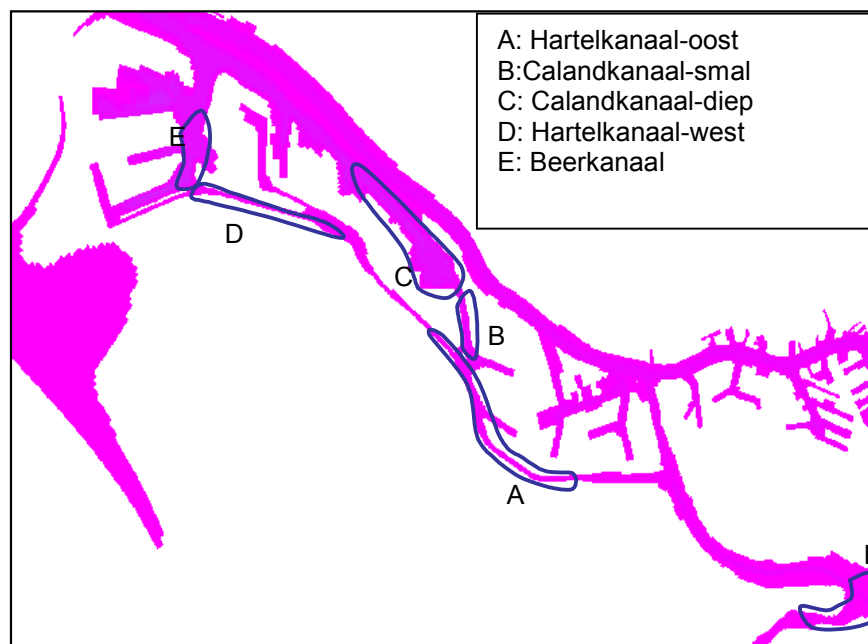
7 Uitvoering van het onderzoek

7.1 Aanpassingen invoerfiles Zeedelta model v8

In het Zeedelta model v8 worden alle invoergegevens aangeleverd in de invoerfiles, welke aangepast zijn voor zowel de Open Kanaalverbinding simulatie als de referentie simulatie.

Allereerst is de Open Kanaalverbinding geschematiseerd door dampunten te verwijderen en het bodemprofiel aan te passen. Hoofdstuk 7.2 gaat hier verder op in.

Vervolgens zijn in de invoerfiles, voor beide simulaties, de punten aangegeven waarvan tijdreeksen en verticale gegevens opgevraagd kunnen worden, de zogenaamde checkpoints. De verschillende checkpoints kunnen worden opgedeeld in 5 verschillende deelgebieden, zie Figuur 8. De locatie van de checkpoints is te zien in Bijlage 4, Bijlage 5 en Bijlage 6.



Figuur 8: Deelgebieden voor de checkpoints

Checkpoint-gebieden:

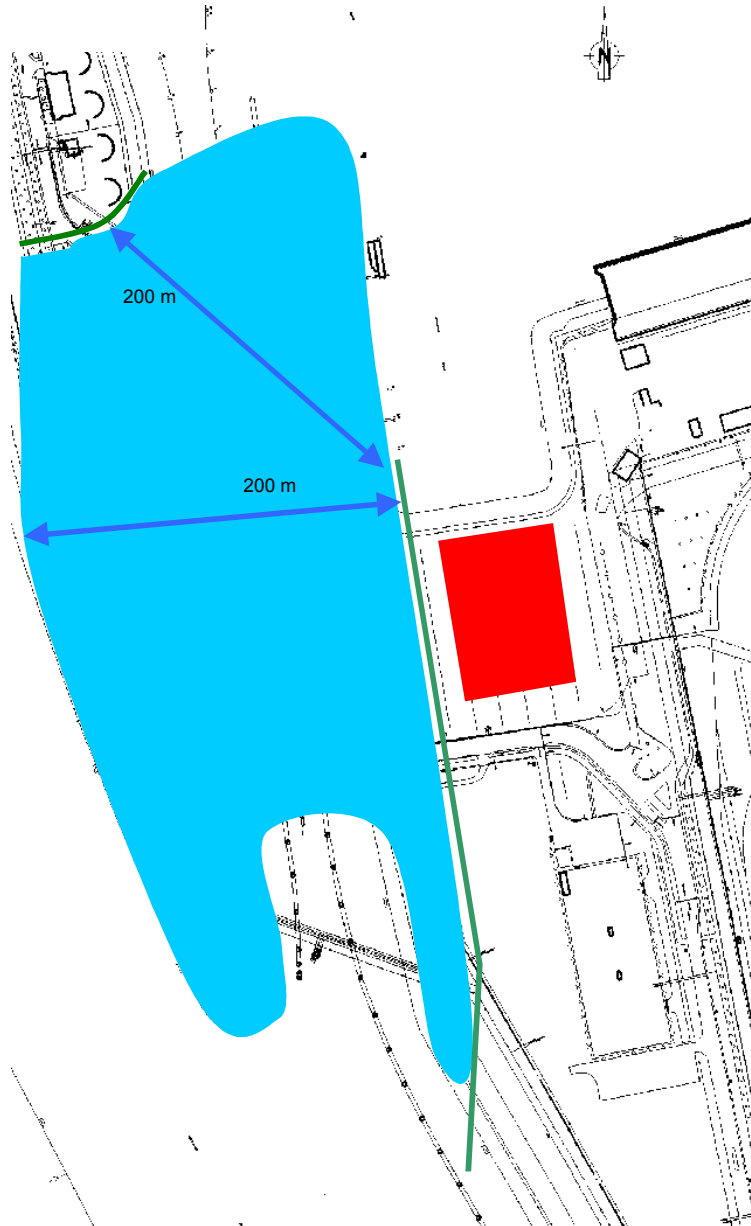
A	Hartelkanaal-oost	Smalle gedeelte van het Hartelkanaal ten zuidoosten van de Rozenburgse sluis
B	Calandkanaal-smal	Smalle en ondiepe oostelijke uitende van het Calandkanaal
C	Calandkanaal-diep	Diepe gedeelte van het Calandkanaal bij de uitstroom van het smalle deel van het Calandkanaal
D	Hartelkanaal-west	Westelijke uiteinde van het Hartelkanaal bij de Open Beerdam
E	Beerkanaal	Zuidelijke deel van het Beerkanaal bij de uitstroom van het Hartelkanaal
F	Oude Maas / Spui	De Oude Maas bij de inlaat van het Spui en in het Spui

Vorst is de simulatieperiode in de invoerfiles aangegeven en de tijden waarop gegevens voor de tijdreeksen, verticale profielen en maps worden weggeschreven. De gegevens voor de tijdreeksen en verticale profielen worden om de 10 minuten weggeschreven en voor de maps om de 60 minuten.

In Appendix A worden de gegevens aangeduid, welke die in de invoerfiles zijn veranderd.[10] [11]

7.2 Schematisatie van de Open Kanaalverbinding

Voor de schematisatie van de Open Kanaalverbinding wordt uitgegaan van een aantal aannames die voortkomen uit deelstudie 1. Deze staan hieronder gegeven in het Programma van Eisen voor de schematisatie van de Open Kanaalverbinding. Figuur 9 (Bijlage 3) laat een globale lay-out zien van de Open Kanaalverbinding waar, in deze studie, van wordt uitgegaan.



Figuur 9: Lay-out Open kanaalverbinding met dampunten en bodemschematisatie

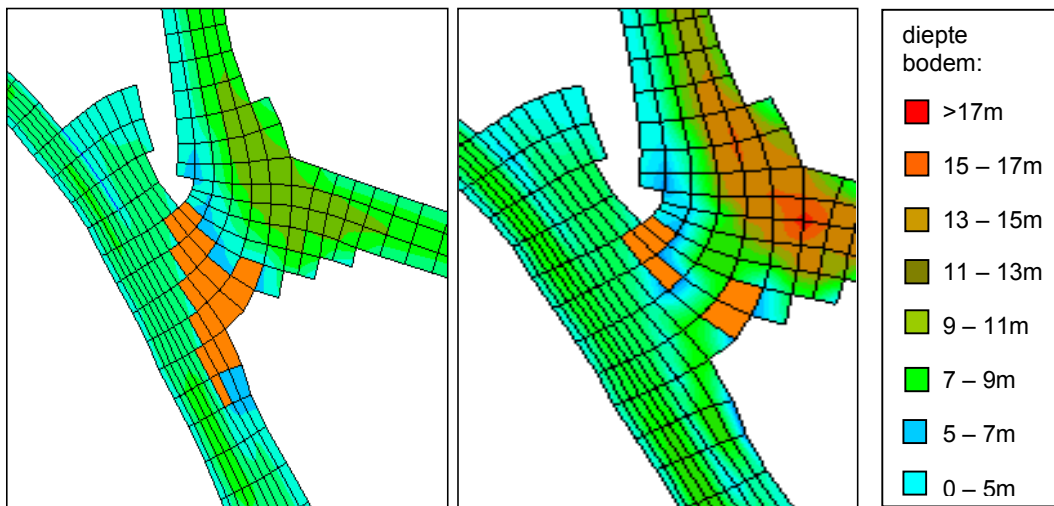
Programma van Eisen:-

- de overgang van de bodemligging van het Hartelkanaal (-6.50m NAP) ten zuiden van de Rozenburgse sluis en de bodemligging van het Calandkanaal (-12.65m NAP), juist ten noorden van de sluis wordt lineair verondersteld;
- het kanaal wordt aangelegd direct ten westen van het politiebureau in aanbouw;
- de breedte van het kanaal is minimaal 200m, waardoor de gehele landtong ten westen van de Rozenburgse sluis wegvalt;
- het kanaal wordt gegraven direct ten zuiden van het meest zuidelijke windscherm op de landtong ten westen van de Rozenburgse sluis;

In het gehele rooster van het model met 501 x 1539 punten zijn de roosterpunten gelegen in een waterweg (natte punten), opgenomen in de zogenaamde 'enclosure'. Binnen de enclosure worden van de roosterpunten het bodemniveau gedefinieerd en de waterstanden, stroomsnelheden en saliniteiten berekend.

Indien droge punten binnen de enclosure liggen worden deze als zogenaamde dampunten gedefinieerd: punten met een oneindige hoog bodemniveau, met andere woorden permanent droog. De Rozenburgse sluis en het omringende land zijn door middel van dampunten aangegeven binnen de enclosure.

Figuur 10 geeft met oranje deze dampunten aan, Figuur 11 geeft het originele bodemprofiel rond en onder deze dampunten.



Figuur 10: dampunten referentiesituatie

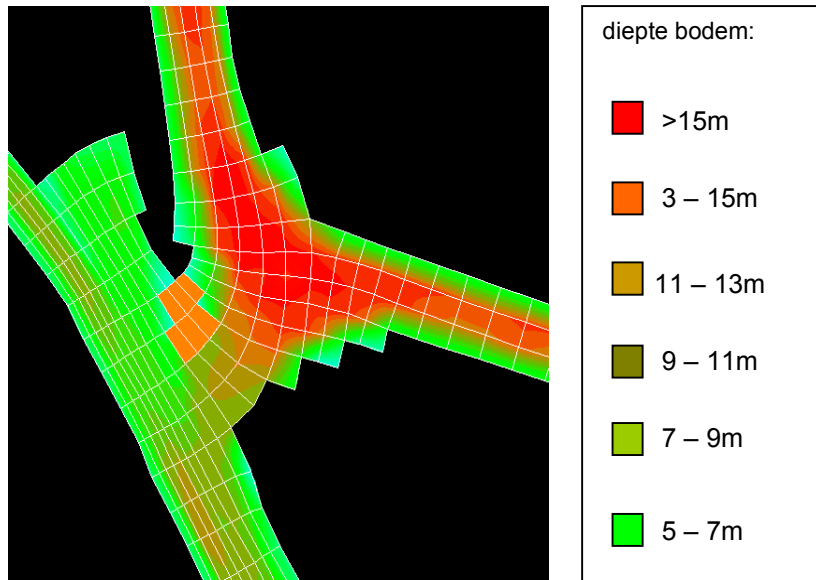
Figuur 11: bodem referentiesituatie

De Open Kanaalverbinding is in het rooster geschematiseerd door:-

- dampunten te verwijderen;
- het bodemprofiel zodanig aan te passen dat een kanaalverbinding met gewenste diepte wordt gecreëerd.

Aangezien de Kanaalverbinding op verschillende manieren kan worden geschematiseerd is de uiteindelijke schematisatie van de Open Kanaalverbinding tot stand gekomen door trial and error aan de hand van een 2D simulatie. De totstandkoming van de schematisatie van de Open Kanaalverbinding staat beschreven in Appendix B.

Figuur 12 geeft de uiteindelijke schematisatie van de Open Kanaalverbinding weer, inclusief aangepast bodemprofiel. N.B. de oranje weergegeven vlakjes zijn dampunten.



Figuur 12: Schematisatie Open Kanaalverbinding inclusief aangepast bodemprofiel

8 Resultaten

8.1 Algemeen

Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van de resultaten op basis van de interpretatie van de maps, tijdreeksen en verticale profielen van de stroomsnelheden en saliniteiten. Deze interpretatie staat beschreven in Appendix C. In de bijlage staat een selectie van de maps, tijdreeksen en verticale profielen. Het totale aantal verticale profielen is gebundeld en ligt ter inzage in het archief van het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam.

De maps van de stroomsnelheden worden voor het gehele interessegebied besproken. Uit de tijdreeksen zijn de absolute stroomsnelheden af te leiden. De verticale profielen geven de u- en v-componenten van de snelheid. Beide worden per deelgebied behandeld:-

- A Hartelkanaal-oost
- B Calandkanaal-smal
- C Calandkanaal-diep
- D Hartelkanaal-west
- E Beerkanaal

Voorts worden de tijdreeksen en verticale profielen in gebied F: Oude Maas/ Spui behandeld.

8.2 Stroomsnelheden

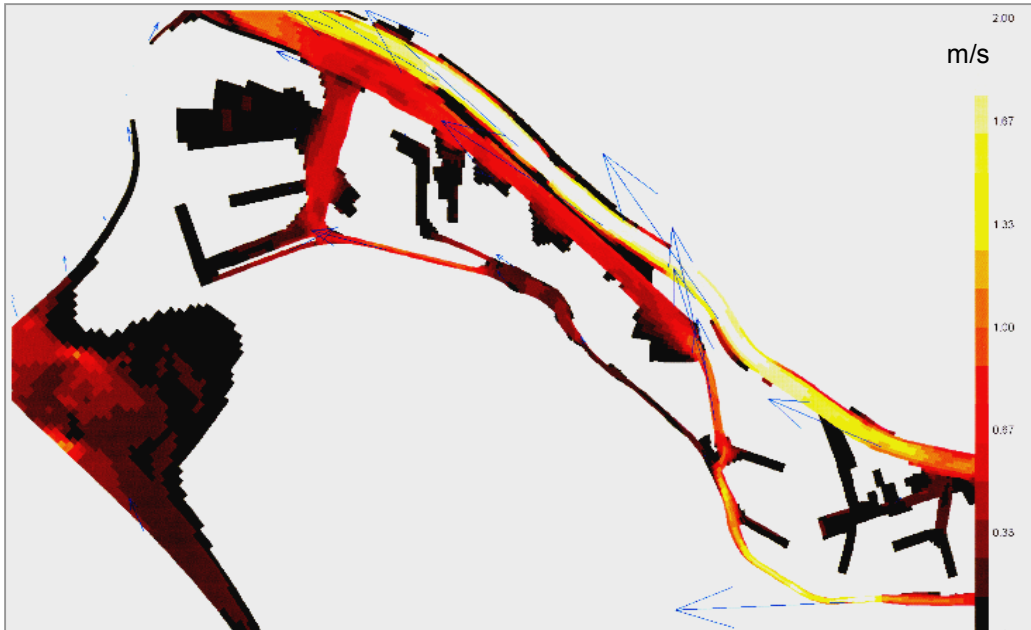
8.2.1 Maps van stroomsnelheden

De maps in Figuur 13 en 15 laten zien dat stroomsnelheden groter dan 0.8 m/s optreden in het Hartelkanaal-west, Calandkanaal-smal en in het bijzonder in Hartelkanaal-oost. De maximale stroomsnelheid treedt op tijdens springtij: in Hartelkanaal-oost lopen de stroomsnelheden op tot ca. 2 m/s in de oppervlaktelaag.

Figuur 13 geeft de stroming in de oppervlaktelaag, terwijl Figuur 14 de stroming geeft in laag 7 (4m+ca.33% v/d diepte). Bij zowel de uitstroom van het Hartelkanaal in het Beerkanaal als van het Calandkanaal-smal in het Calandkanaal-diep is te zien dat de oppervlaktelaag met respectievelijk 0.8 en 1 m/s over een nauwelijks stromende diepe onderlaag stroomt, de zogenaamde zoetwater jet.

Opvallend is dat de stroming naar en vanuit het Hartelkanaal-oost voornamelijk door het Calandkanaal richting zee stroomt.

Volgende figuren staan ook in Bijlage 7, 8 en 9.



Figuur 13: maps max. stroomsnelheden in oppervlaktelaag springtij (14 januari 1998 08:00uur)



Figuur 14: maps max. stroomsnelheden in laag7 springtij (14 januari 1998 08:00uur)

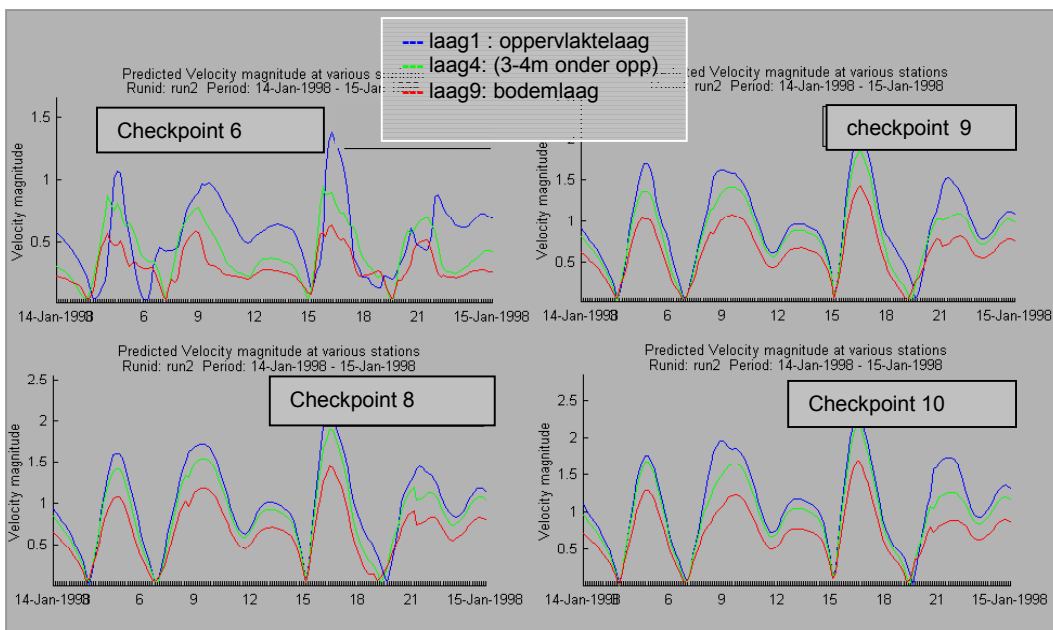


Figuur 15: maps max. stroomsnelheden in oppervlaktelaag springtij (14 januari 1998 15:00uur)

8.2.2 Stroomsnelheden Hartelkanaal-oost

De checkpoints in het Hartelkanaal-oost zijn te zien in Bijlage 4.

Als gevolg van de Open Kanaalverbinding nemen de absolute snelheden in de oppervlaktelaag in checkpoints 5 t/m 10 toe van maximaal 1 m/s in de referentiesituatie tot maximaal 2.2 m/s in de situatie Open Kanaalverbinding, zie Figuur 16. Deze maximale stroomsnelheden treden op tijdens springtij bij opkomend en neergaand tij.



Figuur 16: tijdreeks stroomsnelheden checkpoints 6-10 Hartelkanaal-oost 14-1-1998

Ten westen van de Seinehaven is in de situatie Open Kanaalverbinding sprake van een maximale snelheidscomponent in langsrichting van de vaarweg, de zogenaamde langssnelheid, van 2 m/s in de oppervlaktelaag en geleidelijk afnemend naar 1 m/s bij de bodem. Deze langssnelheid neemt naar het westen af tot 1.5 m/s constant over de diepte. Bijlage 12 geeft de langssnelheid in checkpoint 8.

Waar, in checkpoint 10, nog nauwelijks sprake is van snelheidscomponent dwars op de richting van de vaarweg (zogenaamde dwarsstroming) variëren deze in de checkpoints 5 tot 9 van respectievelijk 0.5 tot 0.8 m/s in noordelijke richting. Onduidelijk is hoe deze grote dwarsstroom in het smalle rechte deel van het Hartelkanaal-oost ontstaat. Bijlage 13 geeft de dwarsnelheid in checkpoint 8.

Ter plaatse van de Open Kanaalverbinding is bij neergaand en opkomend tij sprake van een maximale, absolute stroomsnelheid van 1 m/s. Deze snelheid heeft een component in de langsrichting van maximaal 0.8 m/s in de oppervlaktelaag en neemt lineair af tot 0 m/s bij de bodem. De maximale component in de dwarsrichting bedraagt ca. 0.4 m/s.

In het Hartelkanaal ten zuidwesten van de Open Kanaalverbinding (checkpoint2) neemt als gevolg van de Open Kanaalverbinding de absolute af van maximaal 1.1 m/s tot 0.6 m/s. De langstrooming en dwarsstroming bedraagt hier tegelijkertijd maximaal 0.4 m/s. Dit betekent een, voor de scheepvaart nadelige, abrupte overgang van snelstromend water in checkpoint 5 van ca. 1.3 m/s tot maximaal 0.3 m/s in checkpoint 2, zie Bijlage 14 en Bijlage 15.

De stroomsnelheden gemiddeld over de diepte (zogenaamde dieptegemiddelde stroomsnelheden) in het Hartelkanaal bedragen in de situatie Open Kanaalverbinding maximaal 1.7 m/s bij opkomend tij, zie Figuur 17 (Bijlage 16).



Figuur 17: maximale dieptegemiddelde snelheden Hartelkanaal-oost, 10m, 14-1-98, 15:00

8.2.3 Stroomsnelheden Calandkanaal-smal

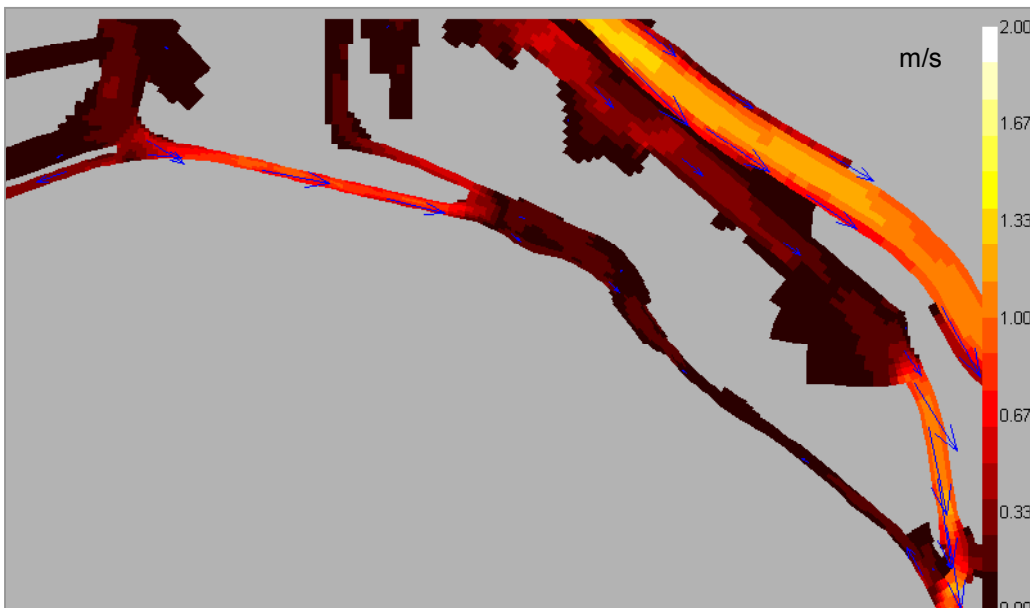
De checkpoints in het Calandkanaal-smal zijn te zien in Bijlage 5.

Vergeleken met de referentie situatie zullen als gevolg van een Open Kanaalverbinding de absolute stroomsnelheden in de oppervlaktelaag in het Calandkanaal-smal toenemen: van ca. 0.1 m/s, tot maximaal 1 m/s in de oppervlaktelaag en 0.7 m/s in de bodemlaag, zie Bijlage 17.

In de situatie Open Kanaalverbinding is, bij neergaand tij in het zuidelijke deel van het Calandkanaal-smal, een snelheidscomponent in langsrichting van maximaal 1 m/s in de oppervlaktelaag te zien, die lineair afneemt naar 0 m/s aan de bodem. Verder stroomafwaarts richting het Calandkanaal-diep neemt deze oppervlaktestroming af naar 0.7 m/s. Bij opkomend water stroomt het water met een maximale snelheid van ca. 0.7 m/s richting het Hartelkanaal, zie Bijlage 21.

De dwarsstroming in het Calandkanaal-smal is maximaal 0.2 m/s constant over de diepte. Bij de uitstroom van het Calandkanaal-smal in het Calandkanaal-diep is echter sprake van een dwarsstroom van +0.2 m/s in de bodemlagen en -0.2 m/s, in tegengestelde richting, in de oppervlakte lagen, zie Bijlage 22. Dit kan effect hebben op de manoeuvreerbaarheid van schepen.

De dieptegemiddelde stroomsnelheden in het Calandkanaal-smal bedragen maximaal ca 1 m/s, zie Figuur 18 (Bijlage 23).

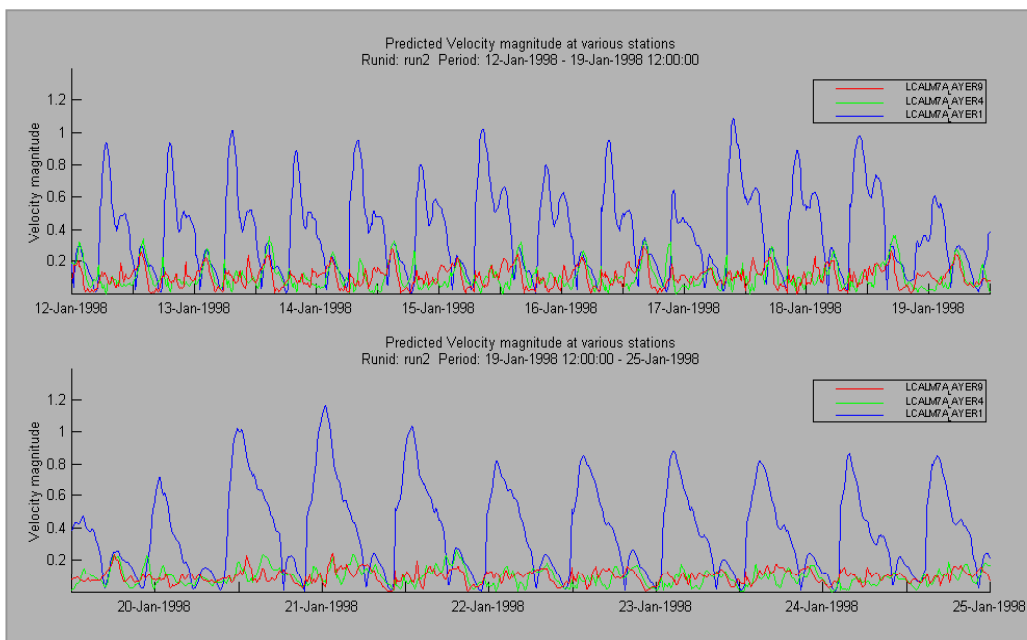


Figuur 18: maximale dieptegemiddelde snelheden Calandkanaal-smal, Hartelkanaal-west, 10m, 14-1-98, 15:00

8.2.4 Stroomsnelheden Calandkanaal-diep

De checkpoints in het Calandkanaal-diep zijn te zien in Bijlage 5.

In het Calandkanaal-diep is in de referentiesituatie nauwelijks sprake van stroming, maximaal 0.2 m/s. Als gevolg van de Open Kanaalverbinding ontstaat bij neergaand tij, bij de uitstroom van het Calandkanaal-smal, een zoetwaterjet. Hierbij stroomt een bovenlaag van ca. 10m met een (absolute) snelheid van maximaal 1 m/s in de oppervlaktelaag tot 0 m/s in de laag ca. 10m onder het wateroppervlak, zie Figuur 19. De snelheidscomponenten in de u- en v-richting ontlopen elkaar niet veel, maximaal 0.7 m/s, zie Bijlage 24 en Bijlage 25.



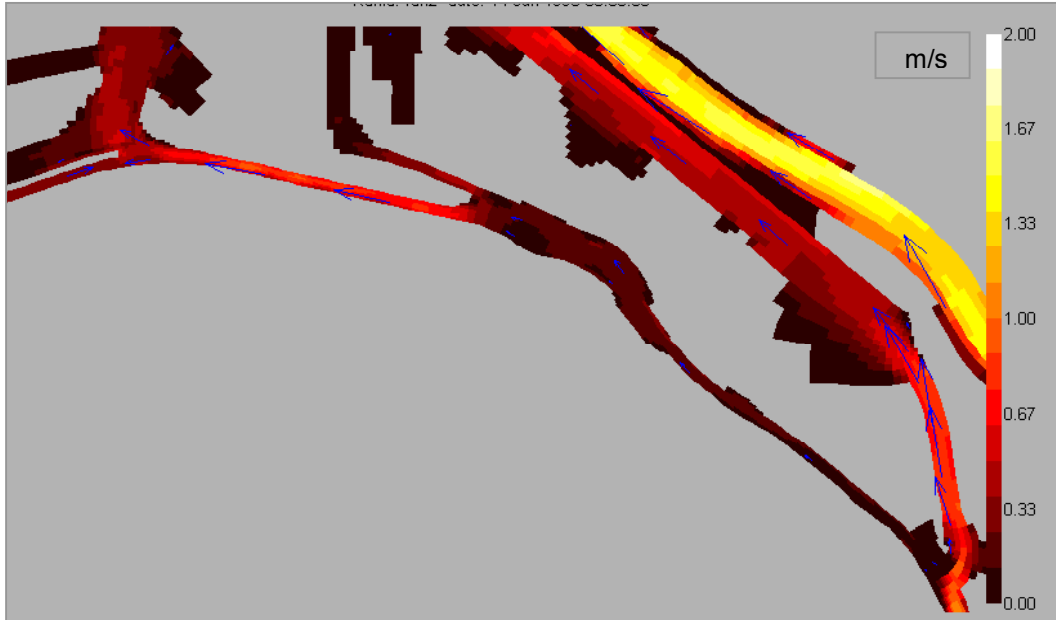
Figuur 19: tijdsreeks stroomsnelheden Calandkanaal-diep uitstroom Calandkanaal-smal

De zoetwaterjet stroomt over een stilstaande of, in tegengestelde richting stromende onderlaag, waarvan de (absolute) snelheid kan oplopen tot maximaal 0.5 m/s, zie Bijlage 25. Deze zoetwaterjet en de in tegengestelde richting stromende onderlaag kan nadelige gevolgen hebben op de manoeuvreerbaarheid van de zeeschepen.

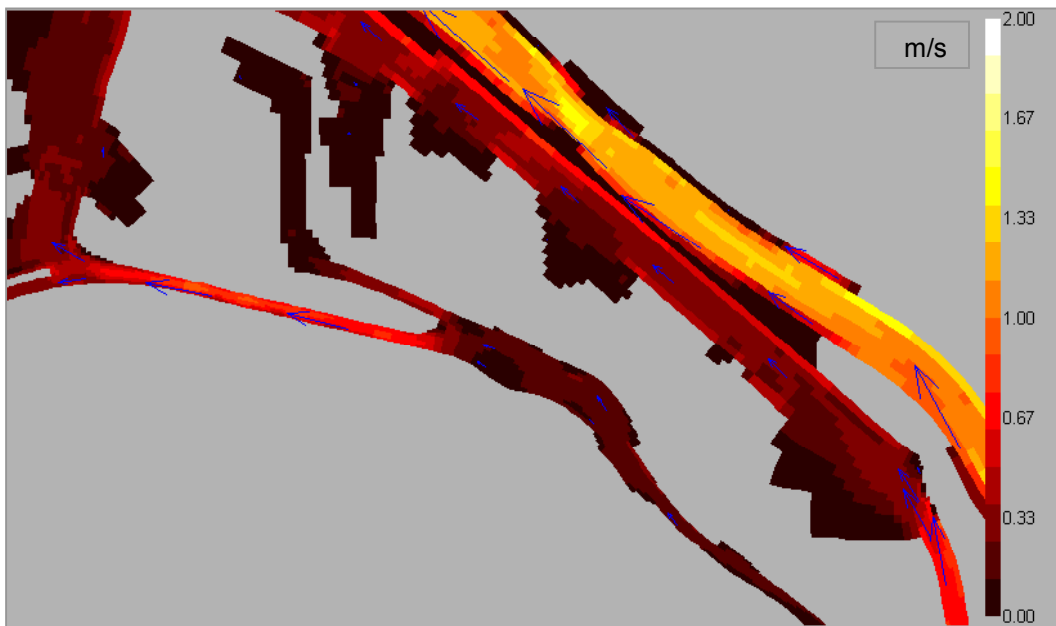
Verder stroomafwaarts (richting zee) neemt deze zoetwaterjet in snelheid en diepte af tot absolute snelheden van maximaal 0.4 m/s in de oppervlaktelaag. De absolute stroomsnelheden in de tussenliggende lagen nemen echter toe naar 0.7 m/s, zie Bijlage 26.

Tijdens opkomend tij is in het oostelijke deel van het Calandkanaal-diep nauwelijks sprake van stromingen, maximaal 0.2 m/s.

De maximale dieptegemiddelde snelheden, over een diepte van 10 en 20m onder het wateroppervlak, in de situatie Open Kanaalverbinding staan in respectievelijk Figuur 20 en 21 (Bijlage 30 en 31). Bij neergaand tij ontstaat bij de uitstroom van het Calandkanaal-smal een over 10m dieptegemiddelde stroomsnelheid van ca. 0.7 m/s. Gemiddeld over 20m is de stroomsnelheid ca. 0.4 m/s.



Figuur 20: maximale dieptegemiddelde snelheden Calandkanaal-diep, 10m, 14-1-98 08:00

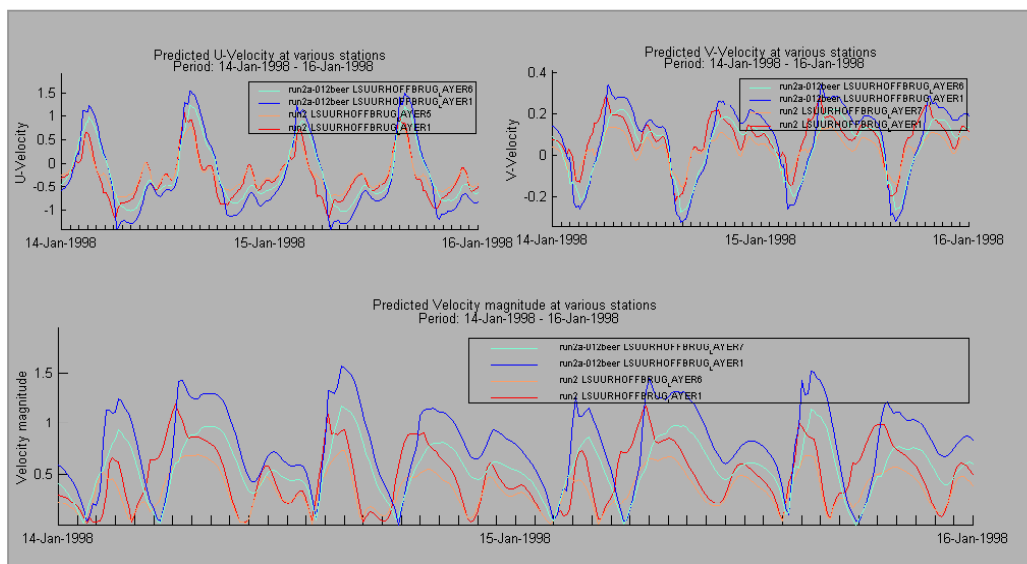


Figuur 21: max. dieptegemiddelde snelheden Calandkanaal-diep, Beerkanaal, 20m, 14-1-98 08:00

8.2.5 Stroomsnelheden Hartelkanaal-west

De checkpoints in het Hartelkanaal-west zijn te zien in Bijlage 6.

Vergeleken met de referentie situatie zullen de absolute stroomsnelheid als gevolg van de Open Kanaalverbinding in het Hartelkanaal-west, in checkpoints 15 t/m 18, afnemen van maximaal 1.6 m/s tot 1.0 m/s, zie Figuur 22 (Bijlage 32).



Figuur 22: tijdsreeks stroomsnelheden Hartelkanaal-west

Als gevolg van de Open Kanaalverbinding is, bij neergaand tij bij checkpoint 19, sprake van een afname van de langssnelheid richting Beerkanaal, van 0.6 tot ca. 0.3 m/s constant over de diepte. In checkpoint 15 t/m 18 neemt de langsstroomsnelheid af van 1.5 m/s tot maximaal 0.9 m/s, zie Bijlage 34. De snelheid in de dwarsrichting neemt af van 0.2 m/s naar 0.1 m/s.

In checkpoint 19 is in de situatie Open Kanaalverbinding, bij de Dintelhaven, sprake van een dwarsstroom van maximaal 0.2 m/s. Bij het Beerkanaal (checkpoint 13 en 14) ontstaat een dwarsstroom van maximaal 0.4 m/s in de oppervlaktelaag.

Bij opkomend water neemt de maximale langsstroomsnelheid in de oppervlaktelaag, in checkpoint 13 en 14, af van 1.0 m/s in de referentie situatie tot 0.5 m/s in de situatie Open Kanaalverbinding, waarbij de snelheid bij de bodem ca. 0.3 m/s blijft.

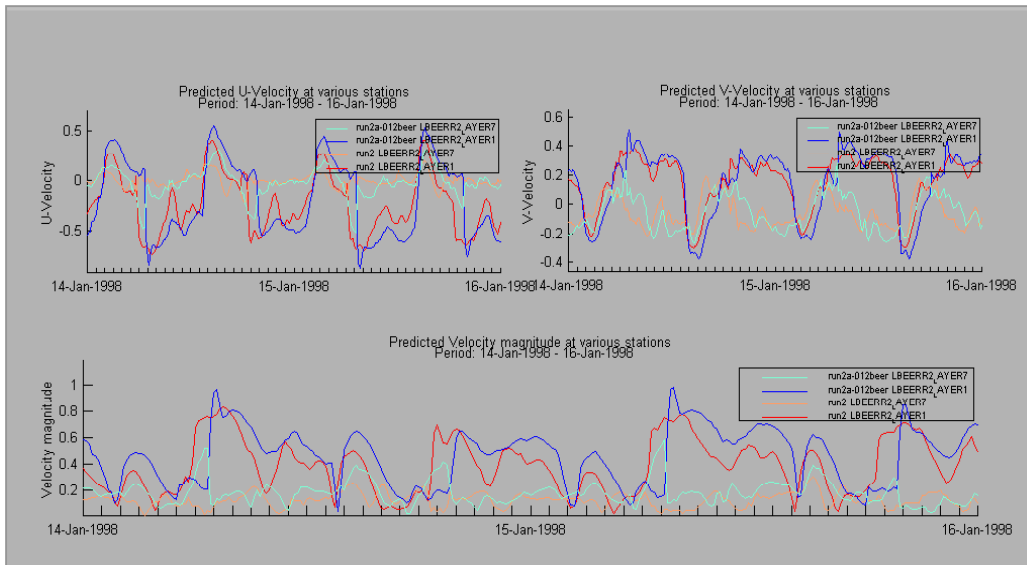
In de referentie situatie is bij checkpoint 19 sprake van een abrupte overgang van snelstromend water (1.6 m/s) naar langzaam stromend water (0.6 m/s). In geval van een Open Kanaalverbinding treedt een verbetering van deze situatie op: er is sprake van een abrupte overgang van 1 m/s tot 0.3 m/s.

De maximale dieptegemiddelde stroomsnelheden over 10m diepte in het Hartelkanaal-west zijn te zien op Figuur 18 (Hoofdstuk 7.4). Deze bedragen maximaal 1 m/s.

8.2.6 Stroomsnelheden Beerkanaal

De checkpoints in het Beerkanaal zijn te zien in Bijlage 6.

In vergelijking tot de stroomsnelheden in de refentiesituatie nemen de maximale absolute snelheden in geval van een Open Kanaalverbinding in het Beerkanaal af in de oppervlaktelaag van maximaal 1 m/s tot 0.8 m/s, zie Figuur 23 (Bijlage 36).



Figuur 23: tijdreeks van absolute stroomsnelheden Beerkanaal uitstroom Hartelkanaal-west

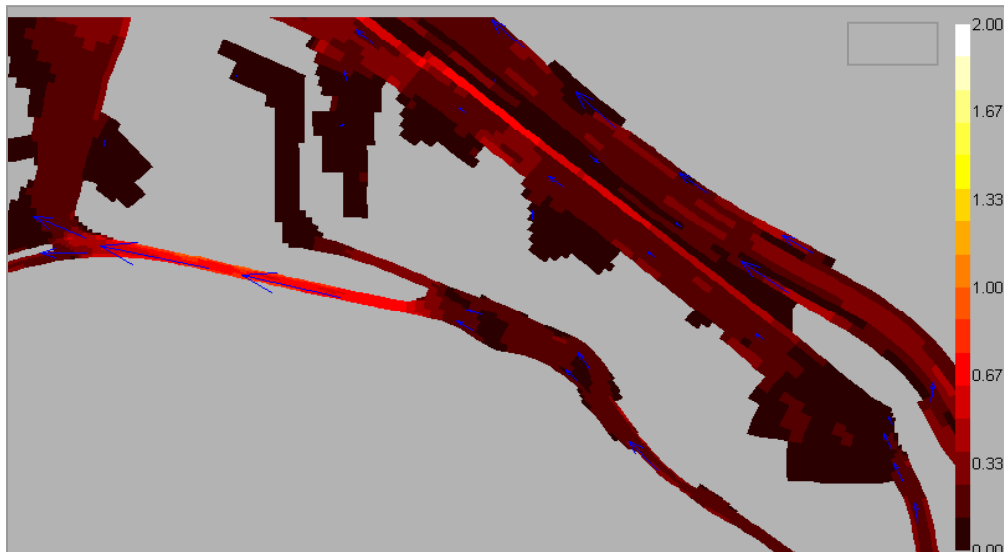
In de situatie Open Kanaalverbinding bedragen de componenten van de stroomsnelheden in de u- en v-richting ca. 0.6 m/s in de oppervlaktelaag bij de uitstroom van het Hartelkanaal (Bijlage 38 en Bijlage 39) tot aan 0.5 m/s de noordelijker gelegen checkpoints (1 t/m 4). De snelheid van deze zoetwaterjet neemt lineair af naar ca. 0 m/s, 10m onder het wateroppervlak.

In de onderliggende laag (tot 20m onder wateroppervlak) is sprake van een in tegengestelde richting stromende (langs- en absolute) stroomsnelheid tot ca. 0.5 m/s, zie Bijlage 40. In de dieper gelegen lagen is in beide richtingen sprake van lage stroomsnelheden die van grote en richting fluctueren over diepte, tussen de -0.2 en $+0.2$ m/s.

Bij opkomend water is nauwelijks sprake van significante stroomsnelheden.

In zijn totaliteit kan gesteld worden dat de stroomsnelheden in het Beerkanaal als gevolg van de Open Kanaalverbinding weinig verandering ondervinden. Opgemerkt moet worden dat de stroomsnelheden van de zoetwaterjet afnemen van 1 tot 0.8 m/s.

In Figuur 24 (Bijlage 42) en Figuur 21 (Hoofdstuk 7.5) staan de maximale, dieptegemiddelde snelheden, over respectievelijk een diepte van 10 en 20m onder het wateroppervlak, in de situatie Open Kanaalverbinding. Bij neergaand tij ontstaat bij de uitstroom van het Hartelkanaal-west een, over 10m dieptegemiddelde, locale stroomsnelheid van ca. 0.6 m/s. Gemiddeld over 20m is deze stroomsnelheid ca. 0.4 m/s.



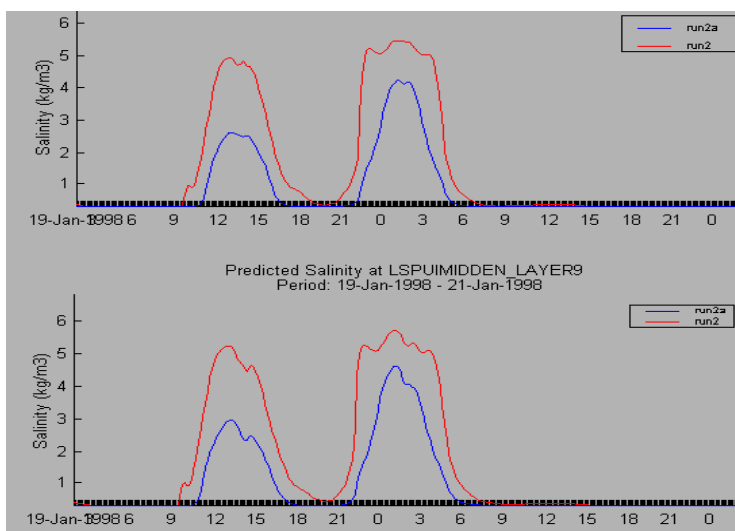
Figuur 24: maximale dieptegemiddelde snelheden zoetwaterjet Beerkanaal, 10m, 14-1-98, 06:00

8.3 Saliniteit

De veranderingen van de saliniteit zijn van belang in de Oude Maas bij de inlaat van het Spui. Op rondatum 19 en 20 januari 1998 treedt op de Oude Maas ter plaatse van het Spui een verhoging van de saliniteit op tot maximaal 5kg/m³, zie Figuur 25 (Bijlage 43). In de overige periode is, in beide simulaties, de saliniteit constant, ca. 0.4kg/m³. In de referentie situatie vindt de verhoging twee keer plaats gedurende ca. 5 uur, terwijl deze verhoging in de situatie Open Kanaalverbinding twee keer ca. 10 uur duurt. In de referentie situatie is gedurende die periode sprake van een verhoging tot 4kg/m³.

Op 19 januari wordt de minimale rivierafvoer (2000m³/s bij Lobith) bereikt voor de maand januari. De gemiddelde afvoer bedraagt 2200m³/s bij Lobith en de maximale afvoer van 2400m³/s bij Lobith vindt plaats op 23 januari.

Hieruit blijkt dat bij een gemiddelde rivierafvoer een kleine verandering in het debiet grote gevolgen kan hebben op de saliniteit in de Oude Maas ter hoogte van het Spui. Daarnaast stijgt ten opzichte van de referentie situatie de saliniteit op 19 januari met ca. 25% gedurende een ca. 50% langere periode.



Figuur 25: Tijdreeks saliniteit Oude Maas / Spui

8.4 Samenvatting Resultaten

De resultaten uit de verschillende deelgebieden worden in Tabel 4 en 5 samengevat. Hierin geeft REF de resultaten uit de referentie simulatie aan en OK de resultaten uit de simulatie met de Open Kanaalverbinding.

Resultaten maximale stroomsnelheden						
Deelgebied	snelheid absoluut (m/s)	snelheid absoluut (m/s)	langs-snelheid (m/s)	dwars-snelheid (m/s)	gemidd. snelheid 10/20m	Opmerkingen over stromingen in situatie Open Kanaalverbinding ten aanzien van de scheepvaart:
	REF	OK	OK	OK	OK	
Hartelkanaal-oost						
Oostelijke deel	1.0	2.2	2.1	0.2		
Smalle gedeelte	1.0	2.0	1.5	0.8	1.7	Abrupte overgang van snelstromend (ca.1.3 m/s) naar langzaam stromend (0.6 m/s) water, met afbuiging van stroming naar Open Kanaalverbinding
Open Kanaalverbinding	0	1.0	0.8	0.4		
Zuidwesten Open Kanaalverbinding	1.1	0.6	0.4	0.4		
Calandkanaal-smal						
Noord	0.1	0.7	0.7	0.2	1.0	Dwarsstroming in oppervlakte en bodemlaag in tegengestelde richting (+0.2 tot -0.2 m/s)
Zuid	0.1	1.0	1.0	0.2	1.0	
Calandkanaal-diep						
West	0.2	0.7	0.5	0.3		Absolute snelheid in tussenlagen lopen op tot 0.8 m/s
Uitstroom Calandkanaal-smal	0.2	1.0	0.7	0.7	0.7 / 0.4	Zoetwaterjet (max. absoluut 1 m/s) over onderlaag, stromend in tegengestelde richting (max. absoluut. 0.5 m/s)
Hartelkanaal-west						
Oost	0.6	0.3	0.2	0.2		Abrupte overgang van snelstromend (1.0 m/s) naar langzaam stromend (0.3 m/s) water
Midden smalle gedeelte	1.6	1.0	0.8	0.2	1.0	
West	1.6	1.0	0.5	0.4		
Beerkanaal						
Noord	0.5	0.5	0.5	0.2		
Uitstroom Hartelkanaal-west	1.0	0.8	0.6	0.6	0.6 / 0.4	Zoetwaterjet (max. absoluut 0.8 m/s) over onderlaag, stromend in tegengestelde richting (max. absoluut 0.7 m/s)

Tabel 4: samenvatting resultaten stroomsnelheden per deelgebied

Resultaten saliniteit						
	gemid. saliniteit	gemid. saliniteit	max. saliniteit	max. saliniteit	duur van verhoging	duur van verhoging
	REF	OK	REF	OK	REF	OK
Oude Maas / Spui						
Absoluut	0.4kg/m ³	0.4kg/m ³	4kg/m ³	5.0kg/m ³	5 uur	10 uur
Procentuele toename ten opzichte van REF	-	0%	-	25%	-	100%

Tabel 5: samenvatting resultaten saliniteit Oude Maas

9 Evaluatie van resultaten

De hydraulische gevolgen van de Open Kanaalverbinding ten opzichte van de referentie situatie zijn als volgt:-

1. toename van de maximale absolute stroomsnelheden in het Hartelkanaal-oost van 1.0 m/s tot 2.2 m/s;
2. toename van de maximale absolute stroomsnelheden in de Open Kanaalverbinding van 0 m/s tot 1.0 m/s;
3. toename van de maximale absolute stroomsnelheden in het Calandkanaal-smal van ca. 0 m/s tot 0.7 m/s;
4. toename van de maximale absolute stroomsnelheden in de zoetwaterjet bij de uitstroom van het Calandkanaal-smal in Calandkanaal-diep, van ca 0 m/s tot 1 m/s;
5. afname van de maximale absolute stroomsnelheden in het Hartelkanaal-west van 1.6 m/s tot 1.0 m/s;
6. afname van de maximale absolute stroomsnelheden in de zoetwaterjet vanuit het Hartelkanaal-west in het Beerkanaal van 1 m/s naar 0.8 m/s;
7. toename van de saliniteit in de Oude Maas wordt ter hoogte van de inlaat van het Spui met 25% gedurende een 50% langere durende periode.

9.1 Referentie criteria - stroomsnelheden

Modelresultaten wijzen uit dat de stroomsnelheden in het Hartelkanaal-west en de oppervlaktestroming in het Beerkanaal beiden af nemen als gevolg van de Open Kanaalverbinding. De stromingen in het Hartelkanaal-oost, Calandkanaal-smal en de oppervlakte-stromingen in het Calandkanaal-diep nemen echter toe.

Er bestaan geen richtlijnen waaraan deze stroomsnelheden getoetst kunnen worden ten aanzien van nautisch maximaal acceptabele stroomsnelheden. Ten einde te kunnen beoordelen of het verantwoord is met betrekking tot de stroomsnelheden om een Open Kanaalverbinding te creëren, zijn voor dit onderzoek de volgende referentie-criteria opgesteld waaraan de resultaten van de simulaties worden getoetst:-

- de huidige stroomsnelheden in het Hartelkanaal-west geven de maximaal toelaatbare stroomsnelheden met betrekking tot de bevaarbaarheid van het kanaal;
- het huidige stroombeeld, zoals deze voorkomt in het Beerkanaal bij de uitstroom van het Hartelkanaal-west, geeft de maximaal toelaatbare stroomsnelheden ten aanzien van de zoetwaterjet met betrekking tot de scheepvaart.

Deze criteria berusten op ervaringen van schippers welke de desbetreffende kanalen regelmatig bevaren. De schippers ervaren zowel de hoge stroomsnelheden in het Hartelkanaal-west als de zoetwaterjet in het Beerkanaal in de huidige situatie als problematisch, hetgeen een getijvenster (tijden waarin schepen kunnen/mogen varen) in het Beerkanaal tot gevolg heeft.^[9] Toename van de stroomsnelheden zal leiden tot de noodzaak van een getijvenster op het Hartelkanaal-west en een verder afname van het getijvenster op het Beerkanaal.

De situaties in Hartelkanaal-oost en Calandkanaal-smal worden vergeleken met het Hartelkanaal-west:-

- de kanalen hebben een breedte van ca. 200m met een diepte tussen de 7 en 15m;
- in zowel het Hartelkanaal-west als het Hartelkanaal-oost en het Calandkanaal-smal is sprake van horizontale en verticale stratificatie.

De vergelijkingen van de stroomsnelheden in de kanalen staan in Tabel 6.

De oppervlaktestromingen in het Calandkanaal-diep worden vergeleken met de situatie in het Beerkanaal:-

- voor beide kanalen geldt bij de uitstroom van een zoetwaterkanaal een abrupte overgang van een smal/ ondiep kanaal naar een breed/ diep kanaal.

De vergelijkingen van de stroomsnelheden in de kanalen staan in Tabel 7.

Toetsing van de maximaal toelaatbare stroomsnelheden in Hartelkanaal-oost en Calandkanaal-smal				
maximale snelheden (m/s)	Hartelkanaal -west	Hartelkanaal-oost afzonderlijk in checkpoint: 10 en 8		Calandkanaal-smal
	REF	OK		OK
Absolute maximale snelheid	1.6	2.2	2.0	1.0
Maximale langssnelheid	1.6	2.1	1.5	1.0
Maximale dwarssnelheid	0.4	0.2	0.8	0.2
Bijzonderheden: Abrupte overgang snelstromend naar minder snelstromend water				
Snelstromend water (absolute snelheid)	1.6	1.3	-	-
Langzaam stromend water (absolute snelheid)	0.6	0.3	-	-
Maximale dwarssnelheid	0.4	0.2	0.8	0.2

Tabel 6: Toetsing maximale stroomsnelheden in Hartelkanaal-oost en Calandkanaal-smal

Uit Tabel 6 blijkt dat de verwachte stromingen in het Calandkanaal-smal aan de gestelde referentie-criteria voldoen. De stroomsnelheden in het Hartelkanaal-oost voldoen echter niet aan de referentiecriterium.

Toetsing van de maximaal toelaatbare stroomsnelheden in Calandkanaal-diep bij uitstroom Calandkanaal-smal				
Maximale snelheden (m/s)	Oppervlakte stroming		Stroming in onderlaag	
	Beerkanaal	Calandkanaal-diep	Beerkanaal	Calandkanaal-diep
	REF	OK	REF	OK
Absolute maximale snelheid	1.0	1.0	1.0	0.5
Maximale langssnelheid	0.8	0.7	0.7	0.3
Maximale dwarssnelheid	0.6	0.7	0.7	0.3

Tabel 7: Toetsing maximale stroomsnelheden in Calandkanaal-diep

Tabel 7 laat zien dat de verwachte stroomsnelheden in Calandkanaal-diep in zowel de oppervlaktelaag van de zoetwaterjet als de onderlaag kleiner zijn dan de maximaal toelaatbare stroomsnelheden volgens het referentiecriterium.

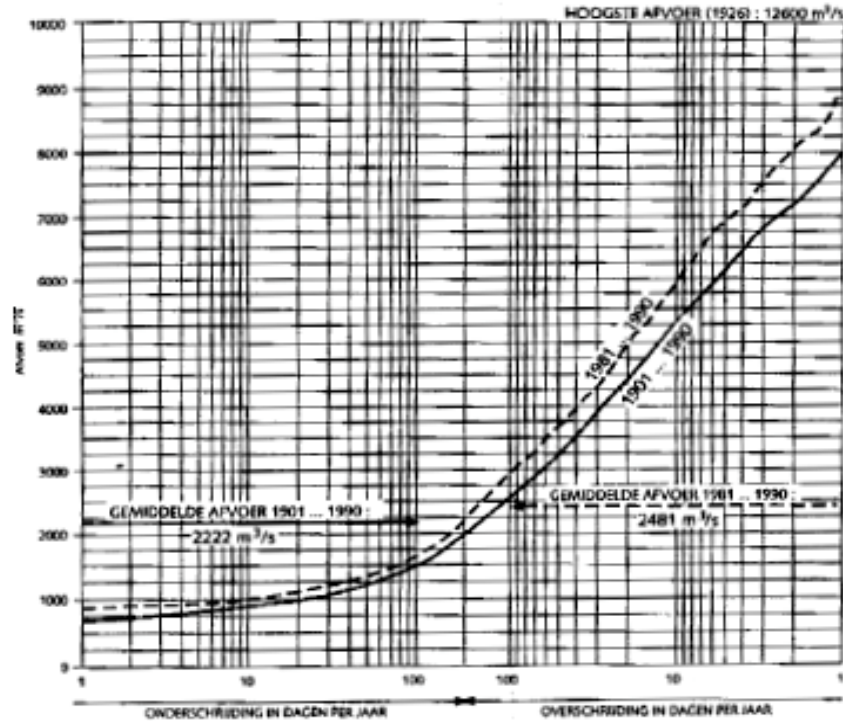
9.2 Referentie-criteria - saliniteit

Uit de modelberekeningen blijkt dat de saliniteit in de Oude Maas zal toenemen bij een Open Kanaalverbinding. Dit is echter slechts het geval bij minimale gemiddelde rivierafvoer, te weten 2000 m³/s. Deze rivierafvoer, van 2000 m³/s, wordt ongeveer 150 dagen per jaar onderschreden, zie Figuur 26. [12]

Er bestaan geen eenduidige richtlijnen ten aanzien van de maximaal toelaatbare saliniteit in de Oude Maas bij de inlaat van het Spui. Aangezien in de huidige situatie sprake is van ongewenste verzilting van de Oude Maas, is voor dit onderzoek het volgende toetsingscriterium opgesteld [7]:-

- Toename van de verzilting van het Spui is niet acceptabel.

De saliniteit op de Oude Maas bij een Open Kanaalverbinding zal toenemen, waardoor niet wordt voldaan aan het toetsingscriterium. De resultaten laten zien dat dit slechts het geval is bij de minimale afvoer gedurende de simulatieperiode. Echter de resultaten zijn niet voldoende representatief om een algemene uitspraak te doen ten aanzien van de toename van saliniteit.



Figuur 26: vergelijking cumulatieve afvoerfrequenties Lobith 1981-1990, veeljarig gemiddelde.[12]

10 Conclusie en aanbevelingen

Op grond van de resultaten van deze studie wordt, behoudens de modelonzekerheden, geconcludeerd dat het, met het oog op de hydraulische gevolgen voor de scheepvaart en verzilting, niet wenselijk is om de Rozenburgse sluis te verwijderen en een open kanaalverbinding tot stand te brengen tussen het Hartelkanaal en Calandkanaal.

Modelberekeningen laten zien dat tijdens gemiddelde rivierafvoer bij de Open Kanaalverbinding de stroomsnelheden in het Hartelkanaal-west en het Beerkanaal zullen afnemen hetgeen een gunstig ontwikkeling is voor de scheepvaart. De stroomsnelheden in het Hartelkanaal-oost zullen echter groter zijn dan de maximaal toelaatbare stroomsnelheden, hetgeen niet acceptabel is voor de scheepvaart. Bovendien zal de saliniteit van het water in de Oude Maas toenemen bij de inlaat van het Spui, hetgeen niet voldoet aan het toetsingscriterium.

Naar aanleiding van deze studie worden de volgende aanbevelingen gedaan:-

- uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse van de schematisatie (met betrekking tot de bodemschematisatie en de dampunten) van de Open Kanaalverbinding;
- onderzoeken van de hoge dwars-stroomsnelheden in smalle, rechte deel van het Hartelkanaal-oost;
- uitvoeren van simulaties met een hoge en lage rivierafvoer;
- onderzoeken van de effecten van de Open Kanaalverbinding op de saliniteit gedurende een langere periode, waarbij rekening gehouden wordt met de frequenties waarmee het referentiecriterium wordt overschreden;
- onderzoeken van de mogelijkheden om de stroomsnelheden in het Hartelkanaal-oost te verlagen door middel van bodemverlaging;
- onderzoeken wat de effecten van een bodemverlaging in het Hartelkanaal-oost zijn op de stroomsnelheden in het Hartelkanaal en Calandkanaal;
- onderzoeken van de morfologische effecten van de Open Kanaalverbinding;
- uitvoeren van manoeuvreer simulaties in het Hartelkanaal-oost, met betrekking tot de combinatie van stroomsnelheden en de lay-out van de vaarweg;
- onderzoeken van de mogelijkheden van het verleggen van de zoetwater inlaatpunten.

Literatuurlijst

1. L.A.W. van Rooijen, "Wenselijkheid en haalbaarheid van verwijdering van de Rozenburgse sluis, deelstudie1: Nut en noodzaak", afstudeeronderzoek
2. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Nautilus Stroomatlas, evaluatieversie 1.0, juli 2000
3. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Randvoorwaarden in WAQUA en TRIWAQ, versie 1, januari 2001
4. C. Kranenburg, Dichtheidstromen Handleiding college CT5302, april 1998
5. Rijksinstituut voor Kust en Zee, M.Zijlema, "Analyse van 3D Zeedelta (v7), berekeningen en onderzoek naar de effecten van combinatieruwheden, afvoercoëfficiënten en wind', november 2001
6. Ingenieursbureau Svasek, "Reproductie Zeedelta V8, fase 5, Gevoeligheid tijdstap', november 2001
7. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, MER Haringvliet, www.haringvlietluizen.nl
8. Ingenieursbureau Svašek, "Reproductie nauwkeurigheid Zeedelta v7, periode 01-01-1998 t/m 30-04-1998", augustus 2001
9. Gemeentewerken Rotterdam, 3D-stromingsberekeningen open Beerdam, deel 2, april 1999
10. EDS, User's guide WAQUA, General information, oktober 2000
11. EDS, User's guide WAQPRE, oktober 2000
12. Rijksinstituut voor Kust en Zee, "Het 10 jarig overzicht 1981-1990 Presentatie van afvoeren, waterstanden, watertemperatuur, golven en kustmetingen", 1994.

Lijst van Figuren

Figuur 1: Overzichtskaat interessegebied	8
Figuur 2: Diverse roosters van het supermodel	11
Figuur 3: versprongen rooster	13
Figuur 4: Dichtheidsstromingen	15
Figuur 5: Rooster van het Zeedelta model	17
Figuur 6: Domeinverdeling in Zeedelta met betrekking tot het aantal lagen en de laagverdeling	18
Figuur 7: Situatie Open Beerdam en Open Kanaalverbinding	20
Figuur 8: Deelgebieden voor de checkpoints	25
Figuur 9: Lay-out Open kanaalverbinding met dampunten en bodemschematisatie	26
Figuur 10: dampunten referentiesituatie	27
Figuur 11: bodem referentiesituatie	27
Figuur 12: Schematisatie Open Kanaalverbinding inclusief aangepast bodemprofiel	28
Figuur 13: maps max. stroomsnelheden in oppervlaktelaag springtij (14 januari 1998 08:00uur)	30
Figuur 14: maps max. stroomsnelheden in laag7 springtij (14 januari 1998 08:00uur).....	30
Figuur 15: maps max. stroomsnelheden in oppervlaktelaag springtij (14 januari 1998 15:00uur)	31
Figuur 16: tijdreeks stroomsnelheden checkpoints 6-10 Hartelkanaal-oost 14-1-1998	31
Figuur 17: maximale dieptegemiddelde snelheden Hartelkanaal-oost, 10m, 14-1-98, 15:00	32
Figuur 18: maximale dieptegemiddelde snelheden Calandkanaal-smal, Hartelkanaal-west,	33
Figuur 19: tijdsreeks stroomsnelheden Calandkanaal-diep uitstroom Calandkanaal-smal.....	34
Figuur 20: maximale dieptegemiddelde snelheden Calandkanaal-diep, 10m, 14-1-98 08:00	35
Figuur 21: max. dieptegemiddelde snelheden Calandkanaal-diep, Beerkanaal, 20m, 14-1-98.....	35
Figuur 22: tijdsreeks stroomsnelheden Hartelkanaal-west	36
Figuur 23: tijdreeks van absolute stroomsnelheden Beerkanaal uitstroom Hartelkanaal-west	37
Figuur 24: maximale dieptegemiddelde snelheden zoetwaterjet Beerkanaal, 10m, 14-1-98.....	38
Figuur 25: Tijdreeks saliniteit Oude Maas / Spui	38
Figuur 26: vergelijking cumulatieve afvoerfrequenties Lobith 1981-1990, veeljarig gemiddelde	43

Lijst van Tabellen

Tabel 1: Modelinstellingen Zeedelta v8 [6]	19
Tabel 2: Maximale stroomsnelheden in Hartelkanaal-west	21
Tabel 3: Maximale stroomsnelheden in 'jet' vanuit Hartelkanaal in Beerkanaal	21
Tabel 4: samenvatting resultaten stroomsnelheden per deelgebied.....	39
Tabel 5: samenvatting resultaten saliniteit Oude Maas	40
Tabel 6: Toetsing maximale stroomsnelheden in Hartelkanaal-oost en Calandkanaal-smal	42
Tabel 7: Toetsing maximale stroomsnelheden in Calandkanaal-diep.....	42

Lijst van Appendices

Appendix A: Aanpassing invoerfiles Zeedelta model v8

Appendix B: Schematisatie Open Kanaalverbinding in Zeedelta model v8

Appendix C: Interpretatie van de resultaten Open Kanaalverbinding – ReferentieSituatie

Lijst van Bijlage

- Bijlage 1: debiet rivierafvoer bij Lobith januari 1998
- Bijlage 2: tijdreeksen met waterstanden Hoek van Holland
- Bijlage 3: Lay-out open Kanaalverbinding
- Bijlage 4: checkpoints Hartelkanaal-oost
- Bijlage 5: checkpoints Calandkanaal
- Bijlage 6: checkpoints Hartelkanaal-west en Beerkanaal
- Bijlage 7: maps max. stroomsnelheden in laag1 springtij (14-1-1998 08:00uur)
- Bijlage 8: maps max. stroomsnelheden in laag 7 springtij (14-1-1998 08:00uur)
- Bijlage 9: maps max. stroomsnelheden in laag1 springtij (14-1-1998 15:00uur)
- Bijlage 10: tijdreeks absolute snelheden Hartelkanaal-oost (checkpoint 8)
- Bijlage 11: tijdreeks snelheid beide simulaties in Hartelkanaal-oost (checkpoint 8)
- Bijlage 12: verticale profielen u-snelheid Hartelkanaal-oost (checkpoint 8)
- Bijlage 13: verticale profielen v-snelheid Hartelkanaal-oost (checkpoint 8)
- Bijlage 14: verticale profielen u-snelheid Hartelkanaal-oost (checkpoint 5)
- Bijlage 15: verticale profielen u-snelheid Hartelkanaal (checkpoint 2)
- Bijlage 16: max. dieptegemiddelde snelheden Hartelkanaal-oost, 10m, 14-1-98, 15:00
- Bijlage 17: tijdreeks absolute snelheden Calandkanaal-smal (checkpoint 13)
- Bijlage 18: tijdreeks snelheid beide simulaties in Calandkanaal-smal (checkpoint 13)
- Bijlage 19: verticale profielen u-snelheid Calandkanaal-smal (checkpoint 15)
- Bijlage 20: verticale profielen v-snelheid Calandkanaal-smal (checkpoint 15)
- Bijlage 21: verticale profielen v-snelheid Calandkanaal-smal (checkpoint 13)
- Bijlage 22: verticale profielen u-snelheid Calandkanaal-smal (checkpoint 13)
- Bijlage 23: max. dieptegemiddelde snelheden 10m, 14-1-98, 15:00, Calandkanaal-smal, Hartelkanaal-west.
- Bijlage 24: verticale profielen u-snelheid Calandkanaal-diep (checkpoint 11)
- Bijlage 25: verticale profielen v-snelheid Calandkanaal-diep (checkpoint 11)

- Bijlage 26: tijdreeks absolute snelheden Calandkanaal-diep (checkpoint 2)
- Bijlage 27: tijdreeks absolute snelheden Calandkanaal-diep (checkpoint 11)
- Bijlage 28: verticale profiele u-snelheid Calandkanaal-diep (checkpoint 5)
- Bijlage 29: verticale profiele u-snelheid Calandkanaal-diep (checkpoint 3)
- Bijlage 30: max. dieptegemiddelde snelheden Calandkanaal-diep, 10m, 14-1-98 08:00
- Bijlage 31: max. dieptegemiddelde snelheden Calandkanaal-diep, 20m, 14-1-98 08:00
- Bijlage 32: tijdreeks absolute snelheden Hartelkanaal-west (checkpoint16)
- Bijlage 33: tijdreeks snelheid beide simulaties in Hartlekanaal-west (checkpoint 16)
- Bijlage 34: verticale profielen u-snelheid Hartlekanaal-west (checkpoint 18)
- Bijlage 35: verticale profielen u-snelheid Hartlekanaal-west (checkpoint 19)
- Bijlage 36: tijdreeks absolute snelheden Beerkanaal (checkpoint10)
- Bijlage 37: tijdreeksen absolute snelheden Beerkanaal (checkpoint1, 5, 10)
- Bijlage 38: verticale profielen v-snelheid Beerkanaal (checkpoint 5)
- Bijlage 39: verticale profielen u-snelheid Beerkanaal (checkpoint 5)
- Bijlage 40: verticale profielen u-snelheid Beerkanaal (checkpoint 6)
- Bijlage 41: max. dieptegemiddelde snelheden Beerkanaal, 10m, 14-1-98, 08:00
- Bijlage 42: max. dieptegemiddelde snelheden Beerkanaal, 10m, 14-1-98, 06:00
- Bijlage 43: Tijdreeks saliniteit Oude Maas / Spui

Appendices

Appendix A: Aanpassing invoerfiles Zeedelta model v8

Appendix B: Schematisatie Open Kanaalverbinding in Zeedelta model v8

Appendix C: Interpretatie van de resultaten
Open Kanaalverbinding – Referentie Situatie

Appendix A:

Aanpassingen invoerfiles Open Kanaalverbinding en referentie simulatie

Deze Appendix geeft de aanpassing aan de bestaande invoerfiles. Tabel 1 geeft de veranderingen voor de simulatie Open Kanaalverbinding. Tabel 2 geeft de aanpassingen voor de referentie simulatie. De simulatieperiode en de output tijden zijn van beide simulaties gelijk. Deze tijden staan in Tabel 3.

Aanpassingen invoerfiles simulatie Open Kanaalverbinding		
Aanpassing	Hoe aanpassen	Waar aanpassen
Restart	Opgeven: SDS-file en restarttijd, waarvan de restart gebruik maakt	Begin van de siminp-file
Dampoints	Verwijderen <i>dampoints</i> ter plaatse van de Rozenburgse sluis;	MESH – drypoints – dampoints include file “dampoints.zeed-v8”
Bathemetry	Opgeven waarde van de diepte op de plaatsen van de verwijderde <i>dampoints</i> Opgeven diepte in de waterpunten rond de sluis	MESH – local include file “bodem-1999.zeed-v8”
Points	Punten aangeven met naam	MESH – points include file “points.zeed-v8”
Timeframe	Aanpassen simulatie tijd <i>tstart</i> en <i>tstop</i>	FLOW – problem – timeframe
Checkpoints	Toevoegen van aangemaakte points bij lijst checkpoints zodat gegevens op die punten geregistreerd worden	FLOW – checkpoints - levelstations / currentstations / vsection include file “checkp.zeed-v8”
Initial field	m.met behulp van waqpan genereren van een PRESENT.OUT file uit resultaten van 1 ^e berekening, oude invoerfile initiële veld vervangen door nieuwe.	FLOW en TRANSPORT forcings – initial – local – include file “H001ABOX” of “H002G001”
SDS-output	Aanpassen output-tijden van maps en history (afhankelijk van de gegeven timeframe)	SDSOUTPUT – maps / restart / hist “siminp.zdv8”

Tabel 1: aanpassingen invoerfiles simulatie Open Kanaalverbinding

Aanpassingen invoerfiles referentie simulatie		
Aanpassing	Hoe aanpassen	Waar aanpassen
Points	Punten aangeven met naam	MESH – points include file "points.zeed-v8"
Timeframe	Aanpassen simulatie tijd <i>tstart en tstop</i>	FLOW – problem – timeframe "siminp.zdv8"
Checkpoints	Toevoegen van aangemaakte points bij lijst checkpoints zodat gegevens op die punten geregistreerd worden	FLOW – checkpoints - levelstations / currentstations / vsection include file "checkp.zeed-v8"
SDS-output	Aanpassen output-tijden van maps en history (afhankelijk van de gegeven timeframe)	SDSOUTPUT – maps / restart / hist "siminp.zdv8"

Tabel 2: aanpassingen invoerfiles referentie simulatie

Schematisatie periode en wegschrijftijden gegevens in SDS-file		
Open Kanaalverbinding en referentie simulatie		
Simulatie periode		
Inspeeltijd	Begintijd	08-01-1998, 00:00 uur
	Eindtijd	12-01-1998, 00:00 uur
Tijd hoofdsimulatie	begintijd	12-01-1998, 00:00 uur
	eindtijd	25-01-1998, 00:00 uur
Output tijden van uiteindelijke simulatie		
Tijdreeksen	begintijd	12-01-1998, 00:00 uur
	tussenstap	60 min
	eindtijd	25-01-1998, 00:00 uur
Maps	begintijd	12-01-1998, 00:00 uur
	tussenstap	10 min
	eindtijd	25-01-1998, 00:00 uur

Tabel 3: Simulatie tijden

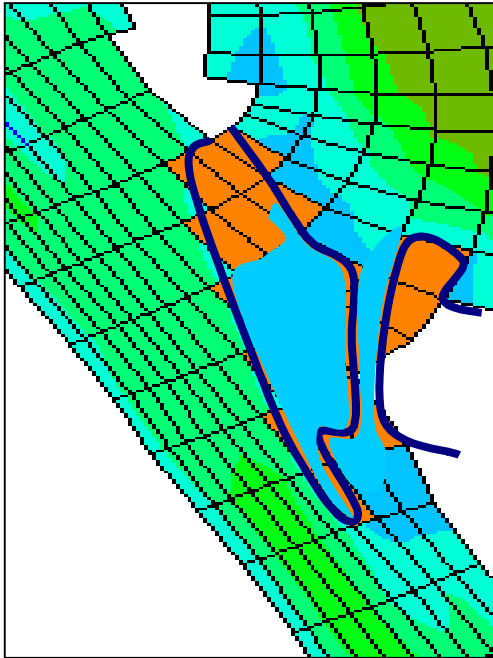
Appendix B:

Schematisatie van de Open Kanaalverbinding in het Zeedelta model.

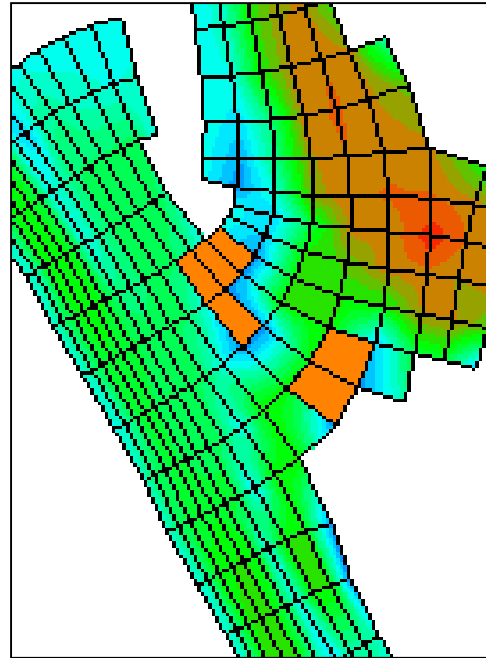
In deze appendix wordt de schematisatie van de Open Kanaalverbinding in het Zeedelta model beschreven. Aan de hand van een aantal stappen is de uiteindelijke schematisatie van de Open Kanaalverbinding tot stand gekomen:

- bepalen van de locatie van de dampunten ter plaatse van de Open Kanaalverbinding op basis van de Parijse coördinaten;
- het verwijderen van dampunten op basis van Parijse coördinaten;
- het verwijderen van dampunten op basis een verbinding met een breedte van 200m (Programma van Eisen);
- aanpassen van het bodemprofiel van en rond de roosterpunten waar de dampunten zijn verwijderd;

Figuur 1 en 2 geven het rooster van het model ter plaatse van de Open Kanaalverbinding. De dampunten worden met oranje aangegeven. Figuur 1 laat zien waar, op grond van de Parijse coördinaten, de dampunten liggen. Figuur 2 geeft de Open Kanaalverbinding indien dampunten verwijderd worden op basis van hun Parijse coördinaten.



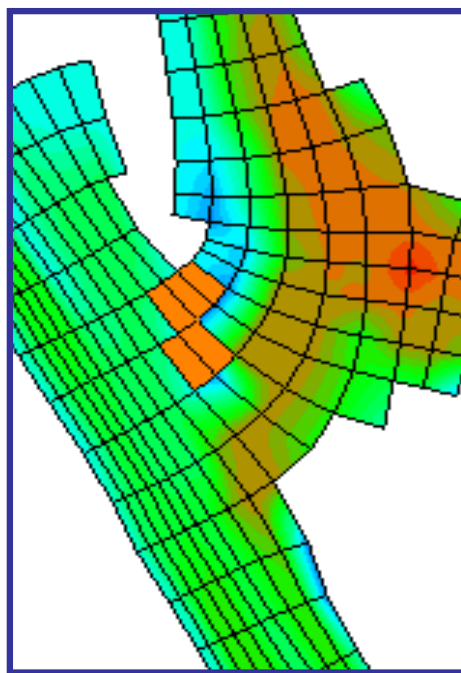
Figuur 1: Dampunten op basis van Parijse coördinaten



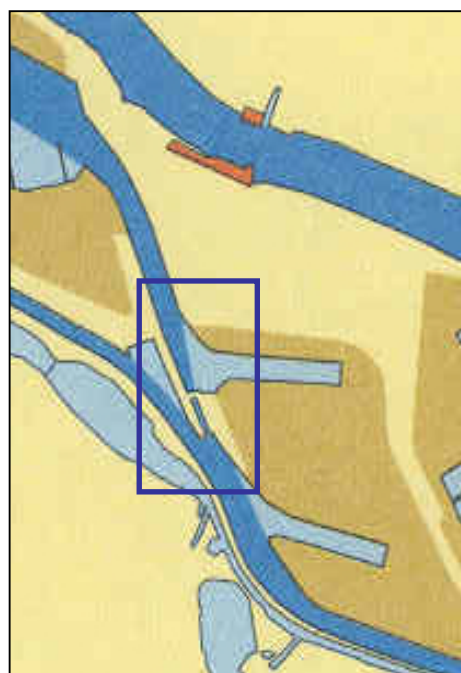
Figuur 2: Open Kanaalverbinding op basis van Parijse coördinaten

De verschillende dampunten ter plaatse van de Rozenburgse sluis liggen ca. 100m van elkaar verwijderd. Dit houdt in dat bij de schematisatie, volgens Figuur 2, de Open Kanaalverbinding 100m breed is, hetgeen niet voldoet aan het Programma van Eisen (PVE). Op basis van het PVE is een schematisatie van de Open Kanaalverbinding met een breedte van 200m, te zien op Figuur 3.

Vervolgens is het bodemprofiel aangepast, zodanig dat een relatieve diepere geul door de Open Kanaalverbinding loopt. Dit is gedaan aangezien in werkelijkheid de Open Kanaalverbinding in het verlengde van het Hartelkanaal ligt, zie figuur 4. Figuur 3 laat zien dat de richting van de waterstroom in het Hartelkanaal haaks staat op de richting van de stroom door de Open Kanaalverbinding. Door in het bodemprofiel een geul te creëren kan de stroom door de Open Kanaalverbinding worden gestuurd.



*Figuur 3: Open Kanaalverbinding
200m breed*



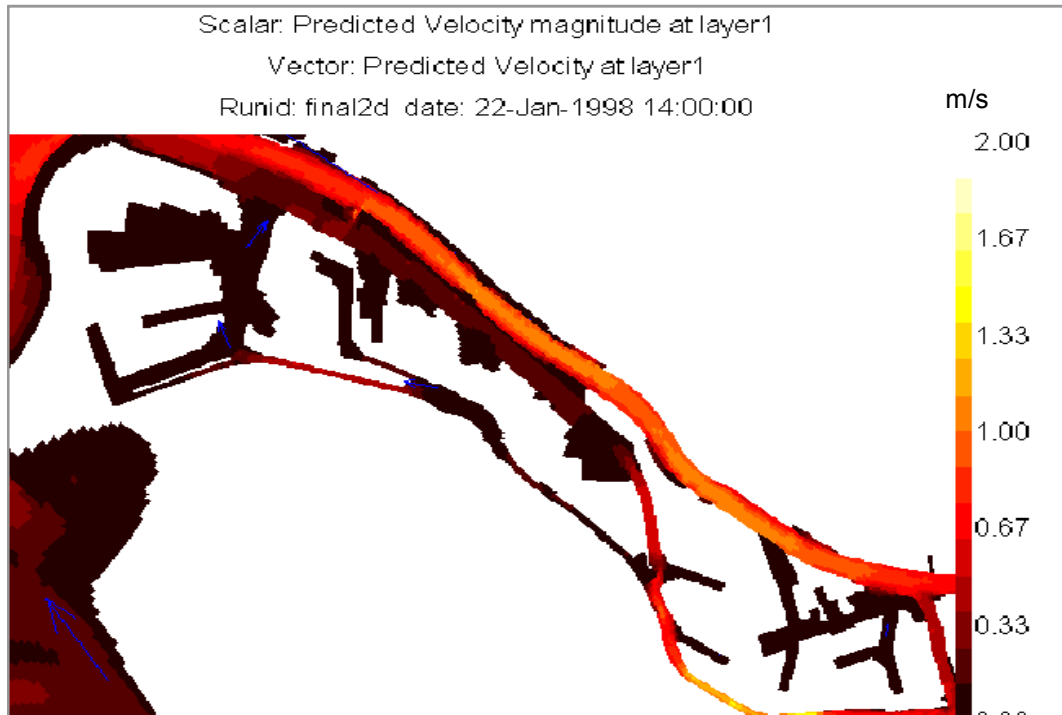
*Figuur 4: Werkelijke ligging
Open Kanaalverbinding*

De tijdsduur van een 3D simulatierun is vele malen langer dan de runtijd van een 2D (diepte gemiddelde) simulatie. Met behulp van de 2D simulatie kan dus in een relatief korte tijd gekeken worden of deze schematisatie van de Open Kanaalverbinding een realistisch (diepte gemiddelde) stroombeeld geeft. Met schematisatie, zoals deze is weergegeven in Figuur 3 is een 2D-simulatie run gemaakt.

Maps van de 2D simulatie met de schematisatie van de Open Kanaalverbinding zoals weergegeven in figuur 3, laten stroombeelden zien zoals gegeven in figuur 5.

In Figuur 5 is te zien dat bij een stimulering van de stroming met behulp van een schematisatie van een diepe geul, de stroming uit het Hartelkanaal voor het grootste deel door het Calandkanaal-smal stroomt. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de waterstroom niet gestimuleerd hoeft te worden om haaks op haar originele richting uit het Hartelkanaal, de Open Kanaalverbinding in te stromen. Of het bodemverloop juist ondieper gemaakt zou moeten worden is niet uitprobeerde.

Onduidelijk is echter of de map in Figuur 5 een realistisch stroombeeld geeft. Op grond van berekeningen met het model is dat niet te bepalen. Dit betekent dat niet bekend of de stroming wel of niet door de Open Kanaalverbinding moet worden gestimuleerd en welke dampunten verwijderd moeten worden om een realistisch stroombeeld te krijgen.



Figuur 5: maximaal stroombeeld 2D simulatie Open Kanaalverbinding, laag 1, 22-1-98 00:00

Om zo min mogelijk naar een oplossing toe te werken is de uiteindelijke schematisatie van de Open Kanaalverbinding ontworpen op basis van de volgende criteria:

- dampunten verwijderen op basis van een Open Kanaalverbinding met een breedte van 200m en niet de Parijse coördinaten;
- een lineair verloop van het bodemprofiel tussen het Hartelkanaal en het Calandkanaal-smal, waarbij geen geul wordt gecreëerd ter stimulans van de stroming door de kanaalverbinding.

De uiteindelijke schematisatie is te zien in Figuur 12 in het Hoofdstuk 7.2.

Appendix C:

Interpretatie resultaten Open Kanaalverbinding - referentie simulatie

In deze bijlage worden de resultaten van de simulaties geïnterpreteerd.
Het doel van deze bestudering van de resultaten is tweeledig: -

- onderzoek of de resultaten van de modelberekeningen aannemelijk zijn;
- bepaal de maximale stroomsnelheden en saliniteiten en de eventueel opmerkelijke stroomprofielen.

Gesteld kan worden dat de bestudering van de resultaten uitwijst dat de modelresultaten aannemelijk zijn, aangezien de resultaten logischerwijs verklaard kunnen worden. De maximale stroomsnelheden en saliteiten wordt gegeven in Hoofdstuk 8.

Methode

In deze bijlage worden de resultaten van de simulaties geëvalueerd, aan de hand van de volgende stappen:-

- Allereerst worden de maps van de stroomsnelheden van het interessegebied van deze studie beschouwd. In verband met de beperkte tijdframe van deze studie zijn enkel maps gemaakt van de simulatie Open Kanaalverbinding. De maps van de Open Kanaalverbinding simulatie worden beschouwd gedurende de volgende periodes:-

Springtij	14 januari 1998	van 06:00 tot 20:00 uur
Gemiddeld tij	19 januari 1998	van 06:00 tot 20:00 uur
Doodtij	23 januari 1998	van 08:00 tot 22:00 uur

- Vervolgens worden interessante checkpoints per deelgebied behandeld:-
 - A Hartelkanaal-oost
 - B Calandkanaal-smal
 - C Calandkanaal-diep
 - D Hartelkanaal-west
 - E Beerkanaal
- De stroomsnelheden in deze checkpoints worden geëvalueerd aan de hand van de volgende visualisaties:-
 - ▶ tijdreeksen
 - ▶ verticale profielen
 - ▶ maps van diepte gemiddelde stromingen
- De tijdreeksen en verticale profielen van de saliniteiten worden beschouwd in gebied F:-
 - F Oude Maas / Spui

C.1 Maps van stroomsnelheden

De maps van de stroomsnelheden zijn bekeken in de oppervlakte- (eerste meter onder oppervlakeniveau) en in een bodemlaag, welke geen directe invloed ondervindt van de bodemwrijving, t.w. laag 7. De diepte van laag 7 is afhankelijk van de totale diepte (tussen ca. 4m + 32% tot 48% overige diepte). De grootste stroomsnelheden treden op tijdens springtij tijdens opkomend en neergaand tij. Bijlage 7 en 9 geven de maps tijdens springtij gedurende opkomend tij. Bijlage 8 geeft de map tijdens opkomend water.

Uit de maps is af te leiden dat stroomsnelheden groter dan 0.8 m/s optreden in het Hartelkanaal-west, Calandkanaal-smal en in met name in Hartelkanaal-oost. De maximale stroomsnelheid treedt op tijdens springtij: in Hartelkanaal-oost lopen de stroomsnelheden op tot ca. 2 m/s in de oppervlaktelaag, tot ca. 1.7 m/s in laag 7 (5.5m – 6.5m onder oppervlak).

Bij zowel de uitstroom van het Hartelkanaal in het Beerkanaal als van het Calandkanaal-smal in het Calandkanaal-diep is te zien dat de oppervlaktelaag met ca. 1 m/s over een nauwelijks stromende diepe onderlaag stroomt, de zogenaamde zoetwater jet.

C.2 Stroomsnelheden per deelgebied

Per deelgebied worden de tijdreeksen van de stroomsnelheden in een aantal checkpoints bekeken gedurende de simulatie periode van 12 januari 1998 00:00 uur tot 25 januari 1998 00:00 uur. In deze tijdreeksen wordt de absolute snelheid weergegeven in de oppervlakte-, midden- en bodemlaag, resp. laag 1, 4 en 9.

De absolute stroming geeft de richting van de stroming niet weer. De stroomsnelheid verandert van richting op het moment dat de snelheid 0 m/s is, hetgeen het puntige verloop van de stroomsnelheid vóór en na het bereiken van de 0 m/s verklaard.

De stroomsnelheden in de simulatie Open Kanaalverbinding worden vergeleken met de referentie simulatie. In de legenda wordt de simulatie Open Kanaalverbinding aangegeven met run2 en de referentie simulatie met run2a-0-. Vervolgens worden de u- en v-component van de stroomsnelheid bestudeerd. De verticale profielen worden per checkpoint gedurende 12 uur om het uur gepresenteerd.

In Bijlage 2 worden de waterstanden bij Hoek van Holland gegeven gedurende de dagen waarin de simulatie heeft plaatsgevonden.

C. 2.1 Stroomsnelheden Hartelkanaal-oost

Tijdreeksen Hartelkanaal-oost

Bijlage 4 geeft de locaties van de checkpoints in het gebied Hartelkanaal-oost.

Bijlage 10 presenteert de tijdreeks met absolute stroomsnelheden in checkpoint 8, welke representatief is voor de overige checkpoints in het gebied, met uitzondering van het checkpoint 6, waar de stroomsnelheden 2 keer zo klein zijn. Ten opzichte van de referentiesituatie nemen de stroomsnelheden bij situatie Open Kanaalverbinding in zowel de oppervlaktelaag als laag 7 toe: van maximaal 1 m/s naar maximaal 2.2 m/s, zie Bijlage 11. Deze maximale stroomsnelheden treden op tijdens springtij.

Verder is te zien dat bij spring en gemiddeld tij, tijdens eb, een grote fluctuatie in de stroomsnelheden van met name de oppervlakte laag optreedt. Dit treedt niet op bij doottij. Een verklaring hiervoor is te vinden in het verloop van de waterstanden bij Hoek van Holland bij eb tijdens springtij in vergelijking met doottij, zie Bijlage 2. Tijdens springtij is de waterstand laag gedurende een aantal uren, waarin een tijdelijke stijging voorkomt. Tijdens doottij wordt de laagste waterstand op een enkel moment bereikt.

Verticale profielen Hartelkanaal-oost

De verticale profielen van de snelheid worden gegeven op 14 januari 1998 (springtij) van 08:00 uur tot 20:00 uur.

De verticale profielen van checkpoint 8 zijn representatief voor de checkpoints 7 en 9. Bijlage 12 en Bijlage 13. Een positieve u-snelheid stelt een stroom in langsricting van het Hartelkanaal voor, landinwaarts. Een positieve v-snelheid stroomt loodrecht hierop (dwarsstroming) richting het noorden.

Bij neergaand tij is sprake van een goed gemengde langsstroming met een snelheid tot ca. 2 m/s in de oppervlaktelaag. Deze snelheid neemt naar de Open Kanaalverbinding toe af. In de checkpoints 7,8 en 9 zijn stroomsnelheden van 1.5 m/s in de oppervlakte laag tot 1 m/s in de bodemlaag te zien.

In checkpoint 5 en 6 neemt de langsstroming als gevolg van een verbreding van het kanaal af, zie Bijlage 12. Door de aanpassing van het bodemprofiel in de invoerfiles lopen de twee snelheidslijnen niet tot dezelfde diepte door. Opvallend is dat ter plaatse van de Siene haven juist tijdens neergaand tij een stroming aan de bodem plaatsvindt. Dit te wijten aan het feit dat de doodlopende Seinehaven tijdens opkomend tij gevuld wordt met zout water uit het Calandkanaal, dat tijdens neergaand tij als zoutwatertong uit de Seinehaven het Hartelkanaal in loopt.

Opvallend is dat er nauwelijks sprake van stroming is in het Hartelkanaal direct na de splitsing van het Hartelkanaal richting het Beerkanaal en Calandkanaal. Dit betekent een abrupte overgang van snelstromend water tot ca. 1.1 m/s tot maximaal 0.6 m/s, zie Bijlage 14 en Bijlage 15. Dit is het gevolg van het feit dat het opkomende getij op een vroeger tijdstip via de Open Kanaalverbinding het Hartelkanaal-oost binnendringt dan via het Hartelkanaal-west. Hierdoor zal bij opkomend tij een stroming ontstaan richting het Hartelkanaal-west, waar juist ook een stroming richting het Hartelkanaal-oost ontstaat.

Waar, in checkpoint 10, nog nauwelijks sprake is van dwarsstroming speelt deze in de checkpoints 9 t/m 5 een rol, 0.5 tot 1 m/s. Dit is het gevolg van de verandering van de richting van de vaarweg richting het noorden.

Ter plaatse van de Open Kanaalverbinding wordt (gezien de ligging van het rooster van het model) de u-snelheid (langsstroming) en de v-snelheid (dwarsstroming) uit het Hartelkanaal omgezet in respectievelijk de v-snelheid (langsstroming) en u-snelheid (dwarsstroming) in de Open Kanaalverbinding. Dit verklaart de tegengestelde richting van de u-snelheid in checkpoint3 ten opzichte van checkpoint5.

Bij neergaand tij is sprake van een duidelijke zoetwaterstroom van 0.8 m/s in de oppervlaktelaag, welke lineair afneemt tot 0 m/s bij de bodem. De dwarsstroming bedraagt 0.4 m/s richting het oosten, als gevolg van de richtingverandering van de waterstroom.

Direct na de splitsing van het Hartelkanaal naar het Calandkanaal neemt als gevolg van de Open Kanaalverbinding zowel de langs- als dwarsstroming af. In beide richtingen bedraagt de stroming constant over de diepte, tussen de 0.3 en 0.5 m/s.

Bij opkomend tij verandert de richting van de stroming ter plaatse van de Open Kanaalverbinding in eerste instantie in de onderlaag, waarbij een zoutwatertong landinwaarts stroomt.

Bij opkomend tij neemt de langsstroom van 1.5 m/s, constant toe over de diepte in checkpoint 7,8 en 9 tot 2 m/s in checkpoint 10. In checkpoint 7, 8 en 9 is sprake van een dwarsstroming van 0.5 tot 1 m/s, waarbij in checkpoint 10 nauwelijks sprake is van dwarsstroming.

Diepte gemiddelde Hartelkanaal-oost

De stroomsnelheden gemiddeld over de diepte (zogenaamde dieptegemiddelde stroomsnelheden) in het Hartelkanaal bedragen tijdens neergaand tij maximaal 1.6 m/s en bij opkomend tij ca. 1.7 m/s, zie Bijlage 16.

C. 2.2 Stroomsnelheden Calandkanaal-smal

Tijdreeksen Calandkanaal-smal

Bijlage 5 geeft de locaties van de checkpoints in het gebied Calandkanaal.

De tijdreeks in checkpoint 13 is representatief voor de overige checkpoints in het Calandkanaal-smal, zie Bijlage 17.

Tijdreeksen waarin de u- en v-component van snelheid worden weergegeven op 14-16 januari laten zien dat de stroomsnelheden in de verschillende lagen in tegengestelde richting van elkaar stromen. Aangezien tijdens springtij de grootste stroomsnelheden optreden worden de verticale profielen bekeken tijdens springtij.

In vergelijking tot de referentie situatie nemen de stroomsnelheden in het Calandkanaal-smal, in geval van een Open Kanaalverbinding, toe van ca. 0 m/s tot maximaal 1.0 m/s in de oppervlaktelaag, zie Bijlage 18.

Verticale profielen Calandkanaal-smal

In de Bijlage 19, Bijlage 20, Bijlage 21 en Bijlage 22 staan de verticale profielen van checkpoint 15 (representatief voor 14, 15) en checkpoint 13. Een positieve v-snelheid geeft een langsstroming weer richting het Calandkanaal-diep, een positieve u-snelheid geeft dwarsstroming richting het oosten.

In het zuidelijke deel van het Calandkanaal-smal is bij neergaand tij een langsstroming in de oppervlaktelaag van 1 m/s te zien die lineair afneemt naar een bodemsnelheid van 0 m/s. Verder stroomafwaarts richting het Calandkanaal-diep neemt deze oppervlaktestroming af naar 0.7 /s.

De dwarsstroming in het Calandkanaal-smal is maximaal 0.2 m/s constant over de diepte. Bij de uitstroom van het Calandkanaal-smal in het Calandkanaal-diep is echter sprake van een dwarsstroom van +0.2 m/s in de bodemlagen en -0.2 m/s in de oppervlakte lagen. Dit is het gevolg van een zoetwaterstroom aan de oppervlakte vanuit het smalle kanaal en het binnendringen van een zoutwaterstroom vanuit het diepe kanaal.

Direct bij het stijgen van de waterstanden dringt een zoute stroming in de onderlagen het Calandkanaal-smal binnen. Na verloop van tijd stroomt een zoute met een maximale snelheid van ca. 0.7 m/s richting het Hartelkanaal.

Diepte gemiddelde Calandkanaal-smal

De dieptegemiddelde stroomsnelheden in het Calandkanaal-smal bedragen maximaal ca 1 m/s, zie Bijlage 23.

C. 2.3 Stroomsnelheden Calandkanaal-diep

Tijdreeksen Calandkanaal-diep

De tijdreeksen van stroomsnelheden in de verschillende checkpoints in het Calandkanaal-diep vertonen grote overeenkomsten tussen de westelijk gelegen checkpoints (1 t/m 4) en de checkpoints gelegen nabij de uitstroom van het Calandkanaal-smal (5 t/m 12, gerepresenteerd door checkpoint 11).

Vergeleken met de referentiesituatie nemen de snelheden in de situatie Open Kanaalverbinding in de checkpoints bij de uitstroom van het Calandkanaal-smal toe van ca. 0.1 m/s tot maximaal 1.0 m/s in de oppervlaktelaag, zie Bijlage 27.

Verticale profielen Calandkanaal-diep

De verticale profielen in de checkpoints in het Calandkanaal-diep zijn in te delen in drie groepen:-

- checkpoint 11, representatief voor de checkpoints 7 t/m 12, gelegen rond de uitstroming van het Calandkanaal-smal (Bijlage 24);
- checkpoint 5, representatief voor de checkpoints 4 t/m 6 verder richting het westen gelegen (Bijlage 28);
- checkpoint 3, representatief voor de meest westelijk gelegen checkpoints (1 t/m 3).met grote overeenkomsten tussen de verticale profielen (Bijlage 29).

De negatieve u-snelheid stelt in de westelijke checkpoints een langsstroming richting zee voor. Bij de uitstroom van het Calandkanaal-smal is geen sprake van een duidelijke dwars- of langsstroming in de richting van de u- en v-component.

Tijdens neergaand tij is er zowel in de v-richting als u-richting sprake van een zoetwaterjet vanuit het Calandkanaal-smal. Een bovenlaag van ca. 10m stroomt, met een maximale snelheid van 1 m/s, over stilstaande of in tegengestelde richting stromende onderlaag (max 0.5 m/s). Dit kan nadelige gevolgen hebben op de manoeuvreerbaarheid van de zeeschepen.

De u- en v-snelheid in de oppervlaktelaag variëren tussen resp. 0.5 en 0.7 m/s. In beide richtingen neemt de snelheid in de bovenlaag lineair over deze 10m af naar 0 m/s. Deze zoetwaterstroom in de bovenlaag neemt verder richting zee in beide richtingen zowel in snelheid als dikte af, zie Bijlage 24 en Bijlage 25.

Opkomend tij is als eerste merkbaar in de westelijke checkpoints. Een zoute langsstroom beweegt zich met een u-snelheid van maximaal 0.2 m/s over de bodem naar het oosten. De v-snelheid is vrijwel constant over de diepte met een grootte variërend tussen de -0.2 en 0.1 m/s.

Tijdens opkomend tij is in het oostelijke deel van het Calandkanaal-diep in beide richtingen sprake van fluctuerende stromingen over de diepte, variërend tussen 0 en 0.2 m/s. Gezien de lage snelheden is de invloed van deze fluctuaties gering voor bijvoorbeeld de scheepvaart.

Diepte gemiddelde stroomsnelheden Calandkanaal-diep

De maximale, dieptegemiddelde snelheden, over een diepte van 10 en 20m onder het wateroppervlak, staan in respectievelijk Bijlage 30 en Bijlage 31. Bij neergaand tij ontstaat bij de uitstroom van het Calandkanaal-smal een over 10m diepte gemiddelde stroomsnelheid van ca. 0.7 m/s. Gemiddeld over 20m is de stroomsnelheid hier ca. 0.4 m/s.

C. 2.4 Stroomsnelheden Hartelkanaal-west

Tijdreeksen Hartelkanaal-west

Bijlage 6 geeft de locaties van de checkpoints in het gebied Hartelkanaal-west en het Beerkanaal.

De tijdreeksen van de stroming in checkpoints Suurhoffbrug (Bijlage 32) is representatief voor overige checkpoints in Hartelkanaal-west (16,17,18,19), met uitzondering van de checkpoints bij de uitstroom in het Beerkanaal (13,14).

In deze laatste checkpoints zijn de snelheden in de oppervlakte laag (1.2 m/s) een aantal malen groter dan de snelheden in de midden en onderlaag. De snelheden zijn het grootst tijdens springtij. Voor springtij worden de verticale profielen bekeken.

Vergeleken met de referentiesituatie nemen de stromingen als gevolg van de Open Kanaalverbinding in het Hartelkanaal-west af van maximaal 1.6 m/s tot 1.2 m/s, zie Bijlage 33.

Verticale profielen Hartelkanaal-west

Aan de oostzijde van het Hartelkanaal-west stroomt bij neergaand tij zoetwater met een, over de diepte constante, snelheid van ca. 0.3 m/s richting het Beerkanaal. Richting het Beerkanaal neemt de snelheid toe tot maximaal 0.9 m/s richting het westen, terwijl de snelheid bij de bodem ca. 0 m/s is.

Bij neergaand tij is in checkpoint 19, bij de Dintelhaven, sprake van een gestratificeerde dwarsstroom van maximaal 0.2 m/s. tussen 2 en 4m onder het oppervlakteniveau. De dwarsstroom in het rechte deel van het kanaal is vrijwel constant over de diepte met een maximum van 0.2 m/s. Bij de uitstroom naar het Beerkanaal ontstaat een dwarsstroom van maximaal 0.4 m/s in de oppervlaktelaag.

Direct bij opkomend water stroomt bij de ingang van het Hartelkanaal zoutwater met ca. 0.5 m/s, in eerste instantie, via de bodem het kanaal binnen. Van een zoutwatertong is nauwelijks sprake aangezien dit zoute water na korte tijd met een constante snelheid (max. 0.8 m/s) landinwaarts stroomt. Richting het oosten blijft deze snelheid in Hartelkanaal-west constant over de diepte tot aan de uitstroom van de Dintelhaven, bij checkpoint 10.

Opvallend is dat bij de Suurhoffbrug de oppervlaktelaag harder stroomt (0.8 m/s) terwijl de bodemlagen een constante snelheid van 0.5 m/s hebben, zie Bijlage 34. Dit is te verklaren aan de hand van de peilers van de brug, waardoor het doorstroomprofiel van de bovenlagen onder de brug afnemen, met als gevolg een toename van de stroomsnelheid in deze lagen.

In checkpoint 10, bij de verbreding van het kanaal, is echter wel sprake van een zoutwatertong: het zoute water met een snelheid van 0.5 m/s bij de bodem en 0 m/s aan het oppervlak richting het oosten, zie Bijlage 35. Het zoute water dat, over de hele diepte, vanuit het Beerkanaal binnenstroomt zal zich bij de verbreding van het kanaal zich in de breedte uitbreiden en voortbewegen over de bodem met een maximale snelheid van 1.6 m/s. Het feit dat de stroomsnelheid in checkpoint 18 in het oppervlaktewater plotseling afneemt van 1.6 m/s naar 0.6 m/s is hinderlijk voor de scheepvaart.

Diepte gemiddelde stroomsnelheden Hartelkanaal-west

Bij opkomende stroming is in het Hartelkanaal-west sprake van een dwarsstroming in zuidelijke richting (0.2 m/s), met uitzondering van de v-snelheid bij de Dintelhaven waar deze richting het noorden stroomt, zie Bijlage 23.

C. 2.5 Stroomsnelheden Beerkanaal

Tijdreeksen Beerkanaal

De tijdreeksen van de checkpoints in het Beerkanaal geven de grootste stroomsnelheden tijdens springtij: ca. 0.7 m/s in de oppervlaktelaag bij de uitstroom van het Hartelkanaal (Bijlage 36) en ca. 0.5 m/s de oppervlaktelaag van de noordelijker gelegen checkpoints (1 t/m 4). Gedurende deze periode worden de verticale profielen bekeken.

Opvallend is dat de in de checkpoints gelegen bij de uitstroom van het Hartelkanaal stroomsnelheden bij de bodem bijna 0 m/s bedragen zijn terwijl deze noordelijker in het kanaal oplopen tot 0.5 m/s.

In vergelijking tot de stromingen in de retentiesituatie nemen de stromingen in geval van een Open Kanaalverbinding in het Beerkanaal af in de oppervlaktelaag van maximaal 1 m/s tot 0.8 m/s, zie Bijlage 37.

Verticale profielen Beerkanaal

Bij neergaand tij is bij de uitstroom van het Hartelkanaal, zowel in de u- als v-richting, sprake van een zoete oppervlakte stroom met een snelheid van 0.6 m/s, Bijlage 38 en Bijlage 39. Deze snelheid neemt lineair af naar ca. 0 m/s, 10m onder het wateroppervlak.

De stroming (u-snelheid) uit het Hartelkanaal stroomt direct bij de overgang naar het Beerkanaal richting het noorden. De hoge u-snelheid in het Hartelkanaal is hier sterk afgenomen tot ca 0.2 m/s, terwijl de v-snelheid daar is toegenomen naar 0.5 m/s in de oppervlaktelaag.

Opvallend is de in tegengestelde richting stromende laag daaronder, met een snelheid van ca. 0.5 m/s, zie Bijlage 40. In noordelijke richting neemt de snelheid van deze zoute laag af. De zoetwaterjet is echter merkbaar tot in de noordelijke checkpoints (1, 2) hetgeen stuurproblemen kan veroorzaken voor de zeeschepen.

In de dieper gelegen lagen is in beide richtingen sprake van lage stroomsnelheden die van grote en richting fluctueren over diepte, tussen de -0.2 en +0.2 m/s.

Bij opkomend water is in de noordelijke checkpoints een zoute stroming van maximaal 0.4 m/s in de v-richting bij de bodem zichtbaar. De u-snelheid fluctueert over de diepte tussen (-0.1 en 0.1 m/s). In de checkpoints gelegen bij de uitstroom van het Hartelkanaal (checkpoints 6 t/m 12) in beide richtingen nauwelijks sprake van significante stroomsnelheden.

In zijn totaliteit kan gesteld worden dat de stroomsnelheden in het Beerkanaal als gevolg van de Open Kanaalverbinding weinig verandering ondervinden, met uitzondering van de stroomsnelheden van de zoetwaterjet, deze nemen af van 1 m/s tot 0.8 m/s.

Diepte gemiddelde stroomsnelheden Beerkanaal

In Bijlage 41 en Bijlage 42 staan de maximale, dieptegemiddelde snelheden, over respectievelijk een diepte van 10 en 20m onder het wateroppervlak. Bij neergaand tij ontstaat bij de uitstroom van het Hartelkanaal-west een, over 10m diepte gemiddelde, lokale stroomsnelheid van ca. 0.6 m/s. Gemiddeld over 20m is de stroomsnelheid hier ca. 0.4 m/s.

C. 2.6 Saliniteit Spui

Op rondatum 19 en 20 januari 1998 treedt op de Oude Maas ter plaatse van het Spui een verhoging van de saliniteit op tot maximaal 5kg/m^3 ten opzichte van 4kg/m^3 in de referentiesituatie, zie Bijlage 43. In de overige periode is de saliniteit constant, ca. 0.4kg/m^3 .

Op 19 januari wordt de minimale rivierafvoer ($2000\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith) bereikt voor de maand januari. De gemiddelde afvoer bedraagt $2200\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith en de maximale afvoer van $2400\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith vindt plaats op 23 januari.

In de referentie situatie vindt de verhoging twee keer plaats gedurende ca. 5 uur. In de situatie Open Kanaalverbinding duurt deze verhoging twee keer ca. 10 uur.

Hieruit blijkt dat bij een gemiddelde rivierafvoer een kleine verandering in het debiet grote gevolgen kan hebben op de saliniteit in de Oude Maas ter hoogte van het Spui. Daarnaast neemt ten opzichte van de referentie situatie de saliniteit op 19 januari toe met ca. 25% gedurende een ca. 50% langere periode.