

Onderzoek lokatie en afmetingen Overschelde

Westelijke en oostelijke variant

24 oktober 2003

Documenttitel	Onderzoek lokatie en afmetingen Overschelde Westelijke en oostelijke variant
Verkorte documenttitel	Modelberekeningen Overschelde
Status	Definitief
Datum	24 oktober 2003
Projectnaam	Overschelde ProSes
Projectnummer	1275
Opdrachtgever	ProSes
Referentie	03200/1275/MJA

Opgesteld door	M.H.P. Jansen
Gecontroleerd door	A.J. Blik

SAMENVATTING

In het recente verleden zijn door Svašek Hydraulics (deels onder Royal Haskoning) berekeningen uitgevoerd om de effecten te bepalen van een Overschelde-kanaal bij Bath op stormvloedstanden op de Westerschelde. Deze resultaten zijn in verschillende rapporten beschreven en op enkele bijeenkomsten gepresenteerd. In deze studies is alleen de ligging van het Overschelde kanaal bij Bath onderzocht.

Binnen ProSes worden de effecten van de Overschelde beschouwd in het kader van de strategische MER voor het Schelde-estuarium. Hierbij wordt ook de ligging van het Overschelde kanaal bij Kruiningen als variant meegenomen.

Door Svašek Hydraulics is een onderzoek uitgevoerd om beide varianten naast elkaar te zetten. Hiertoe zijn berekeningen uitgevoerd voor de locatie van de Overschelde bij Kruiningen (westelijke variant) en zijn de uitgevoerde berekeningen voor de oostelijke variant (bij Bath) samengevat zodat deze resultaten goed te vergelijken zijn met de resultaten van de westelijke variant.

Uit het vergelijkend onderzoek van een oostelijke variant (bij Bath) en een westelijke variant (bij Kruiningen) van het Overschelde kanaal kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Om bij Bath en Antwerpen dezelfde verlaging van de waterstand te krijgen moet in de Overschelde het maximale debiet bij de westelijke variant ongeveer 50% groter zijn dan nodig is bij de oostelijke variant.
- Bij een zelfde maximaal debiet door de Overschelde zal de waterstandsverlaging bij Bath bij de westelijke variant dus 33% kleiner zijn dan bij de oostelijke variant.

Voor een storm met voorkomen van 1:4000 jaar met als uitgangspunt een verlaging van de maximale waterstanden bij Bath met 0,66 m gelden de volgende kerngetallen:

Uitgangspunt dh Bath= -0.66 m	Oostelijke variant (Bath)	Westelijke variant (Kruiningen)
storm	1:4000 jaar	1:4000 jaar
Grootte overlaat	NAP-4m en 500 m breed	NAP-5m en 740 m breed
Verlaging Hansweert	-0.32 m	-0.50 m
Uitgangspunt dh Bath	-0.66 m	-0.66 m
Verlaging Antwerpen	-0.66 m	-0.68 m
Verhoging Stavenisse	+1.67 m	+2.30 m
Maximaal debiet kanaal	21500 m ³ /s	32000 m ³ /s
Minimale afmeting kanaal (onder NAP)	5300 m ²	7500 m ²
Maximale snelheid Kanaal bij min afmetingen	2 m/s tot 2.5 m/s	2.3 m/s tot 2.7 m/s

Tabel 0.1 Kengetallen bij een verlaging bij Bath van 0,66 m

Uit tabel 0.1 komt naar voren dat bij eenzelfde verlaging in Bath de waterstandsverlaging in Hansweert 50 % groter is bij de westelijke variant ten opzichte van de oostelijke variant maar dat ook de waterstandsverhoging in Stavenisse 30% groter is en tevens een 50% groter debiet nodig is door de Overschelde. Bovendien nemen de stroomsnelheden in het kanaal bij gebruik van het minimale profiel ook toe.

Wanneer dezelfde storm wordt doorgerekend met als uitgangspunt een maximaal debiet van 22000 m³/s gelden de volgende kerngetallen:

Uitgangspunt max debiet= 22000 m ³ /s	Oostelijke variant (Bath)	Westelijke variant (Kruiningen)
storm	1:4000 jaar	1:4000 jaar
Grootte overlaat	NAP-4m en 532 m breed	NAP-5m en 448 m breed
Verlaging Hansweert	-0.34 m	-0.32 m
Verlaging Bath	-0.68 m	-0.41 m
Verlaging Antwerpen	-0.68 m	-0.42 m
Verhoging Stavenisse	+1.73 m	+1.78 m
Uitgangspunt maximaal debiet kanaal	22053 m ³ /s	22081 m ³ /s

Tabel 0.2 Kengetallen bij een maximaal debiet van 22000 m³/s

Uit tabel 0.2 komt naar voren dat bij eenzelfde debiet door de Overschelde de waterstandsverlaging in Hansweert ongeveer gelijk is bij beide varianten evenals de waterstandsverhoging bij Stavenisse. De waterstandsverlaging bij Bath en Antwerpen is bij de westelijke variant echter wel 40% kleiner dan bij de oostelijke variant.

- Het gewenste doorstroomoppervlak onder NAP van het Overschelde kanaal bedraagt bij een 1: 4000 storm voor de oostelijke variant ca. 5300 m² en voor de westelijke variant ca. 7500 m². Hierbij is uitgegaan van verschillende afmetingen van de overlaat in de Overschelde waarbij de verlaging van de waterstand in Bath ongeveer 0,66 m is (bij een ruim kanaal). De minimale afmetingen van het kanaal zijn de afmetingen waarbij de verlaging bij Bath nog maar 0,60 m is.
- Bij een kleiner doorstroomoppervlak van het kanaal wordt het kanaal (mede) maatgevend voor de waterstandsval, bij een groter oppervlak is de overlaat maatgevend. Dit laatste is vanuit morfologisch en veiligheidsoogpunt te prefereren.
- De relatie tussen de maximale waterstandsverlaging bij Bath, bij Hansweert en bij Antwerpen en het maximale debiet door de Overschelde is vrijwel lineair.
- Bij de oostelijke variant is de waterstandsverlaging bij Hansweert ongeveer 50% van de verlaging bij Bath
- Bij de westelijke variant is de waterstandsverlaging bij Hansweert ongeveer 75% van de verlaging bij Bath.

De oostelijke variant (kanaal bij Bath) is effectiever dan de westelijke variant (kanaal bij Kruiningen). De redenen hiervoor zijn:

- Een gelijke waterstandsverlaging op het traject Bath tot Antwerpen vraagt bij de westelijke variant ca. 50 % meer debiet door de Overschelde dan bij de oostelijke variant. De afmetingen van het Overschelde kanaal en de belasting op de Oosterschelde neemt evenredig toe.
- Op het traject westelijk van Bath geeft de westelijke variant weliswaar een grotere waterstandsverlaging (Hansweert ± 50 % groter, Ellewoutsdijk ± 100 % groter), maar deze meerwaarde is slechts beperkt in verhouding tot het extra debiet (± 50 % groter) dat de westelijke variant vraagt.

INHOUDSOPGAVE

	Blz.
SAMENVATTING	1
1 ALGEMEEN	7
1.1 Inleiding	7
2 PLAN VAN AANPAK	8
2.1 Algemeen	8
2.2 Deel A Oostelijke variant	9
2.3 Deel B Westelijke variant	9
2.4 Deel C Vergelijking tussen beide varianten	10
3 BESCHRIJVING MODELLEN IN VOORGAANDE PROJECTEN	11
3.1 Modelschematisatie	11
3.1.1 Bouw model	11
3.1.2 Bestaande kanalen	11
3.2 Overschelde-kanaal	12
3.2.1 Studie RIKZ 2001	12
3.2.2 Studie Royal Haskoning 2002	13
3.2.3 Studie voor AWZ	14
3.3 Randvoorwaarden	15
3.3.1 Zeezijde	15
3.3.2 Rivierzijde	16
3.3.3 Windrandvoorwaarden	16
4 OOSTELIJKE VARIANT/BATH	17
4.1 Werkwijze/modelkeuze	17
4.2 Resultaten studie AWZ	17
4.2.1 Reductie waterstanden bij stormen met verschillende overschrijdingsfrequenties	17
4.2.2 Gevoeligheid van de waterstand voor verschillende afmetingen overlaat	19
4.2.3 Gevolgen waterstandsval voor verschillende openingsstrategieën	20
4.3 Minimale afmetingen kanaal	23
5 WESTELIJKE VARIANT/KRUININGEN	25
5.1 Werkwijze/Aanpassing model	25
5.1.1 Afmetingen Overscheldekanal	25
5.1.2 Afmetingen overlaat	25
5.1.3 Overige aanpassingen	25
5.1.4 Randvoorwaarden	25
5.2 Resultaten	26
5.2.1 Waterstandsverlaging als functie van de afmeting van de overlaat	26
5.2.2 Debieten	27
5.2.3 Stroomsnelheden	27
5.3 Minimale afmetingen kanaal	27

6	VERGELIJKING OOSTELIJKE EN WESTELIJKE VARIANT	29
6.1	Methodiek	29
6.2	Resultaten	29
7	CONCLUSIES	35
	LITERATUUR	38
	LIJST BIJLAGEN	39
	BIJLAGEN	40

Lijst met figuren

Figuur 3.1 Afmetingen Kreekrakkanaal, permanent open (studie 2001)	12
Figuur 3.2 Afmetingen Kreekrak Kanaal in combinatie met doorlaatmiddel (studie 2001)	12
Figuur 3.3 Doorsnede kanaal aan Oosterscheldezijde van Overschelde	13
Figuur 3.4 Doorsnede Overscheldekanaal.....	14
Figuur 4.1 Hoogwaterstanden langs de Westerschelde en de Beneden/Zeeschelde	20
Figuur 5.1 Afmetingen Overscheldekanaal bij Kruiningen	25
Figuur 6.1 Waterstandsverlaging Westerschelde Hansweert vast.....	31
Figuur 6.2 Waterstandsverlaging Westerschelde Bath vast	32

Lijst van Tabellen

Tabel 3.1 Gebruikte randvoorwaarden.....	15
Tabel 3.2 Rivierafvoer	16
Tabel 4.1 Waterstandsverschillen bij verschillende stormen	18
Tabel 4.2 Waterstandsverschillen langs Westerschelde en Beneden/Zeeschelde (waterstanden tov. NAP).	19
Tabel 4.3 Waterstandsverschillen bij verschillende openingsstrategieën.....	21
Tabel 6.1 Kleurgebruik voor verschillende varianten	29
Tabel 6.2 Waterstandsverlaging Westerschelde Hansweert vast.....	31
Tabel 6.3 Waterstandsverlaging Westerschelde Bath vast.....	32
Tabel 6.4 Kengetallen bij een verlaging bij Bath van 0,66 m	33
Tabel 6.5 Kengetallen bij een maximaal debiet van 22000 m ³ /s	34
Tabel 7.1 Kengetallen bij een verlaging bij Bath van 0,66 m	35
Tabel 7.2 Kengetallen bij een maximaal debiet van 22000 m ³ /s	36

1 ALGEMEEN

1.1 Inleiding

In het recente verleden zijn door Svašek Hydraulics (deels onder Royal Haskoning) berekeningen uitgevoerd om de effecten te bepalen van een Overschelde-kanaal bij Bath op stormvloedstanden op de Westerschelde (lit. 1.1, 1.2, 1.3). Deze resultaten zijn in verschillende rapporten beschreven en op enkele bijeenkomsten gepresenteerd. In deze studies is alleen de ligging van het Overschelde kanaal bij Bath onderzocht.

Binnen ProSes worden de effecten van de Overschelde beschouwd in het kader van de strategische MER voor het Schelde-estuarium. Hierbij wordt ook de ligging van het Overschelde kanaal bij Kruiningen als variant meegenomen (lit. 1.4 en 1.5).

Aan Svašek Hydraulics is gevraagd om in een studie beide varianten naast elkaar te zetten (RWS, directie Zeeland, Orderbon 23025, d.d. 18 augustus 2003). Hiertoe zijn berekeningen uitgevoerd voor de locatie van de Overschelde bij Kruiningen (westelijke variant, bijlage 1.2) en zijn de uitgevoerde berekeningen voor de oostelijke variant (bij Bath, bijlage 1.1) samengevat zodat deze resultaten goed te vergelijken zijn met de resultaten van de westelijke variant.

In dit rapport wordt verslag gedaan van de bevindingen van het onderzoek.

De uitvoering van het project lag in handen van M.H.P. Jansen en A.J. Blik. Het project werd vanuit Projectdirectie ProSes begeleid door M. van Nood en J. Coosen.

Dit rapport is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 wordt het plan van aanpak beschreven. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 het model beschreven. In hoofdstuk 3 wordt uitleg gegeven over eerdere berekeningen voor AWZ (oostelijke variant). De westelijke variant wordt beschreven in hoofdstuk 5.

De conclusies volgen in hoofdstuk 6.

2 PLAN VAN AANPAK

2.1 Algemeen

Dit onderzoek is een vervolg op de eerdere onderzoeken die zijn uitgevoerd voor het RIKZ en AWZ. Deze zijn als volgt samen te vatten

1. Haalbaarheidsonderzoek naar de mogelijkheden van bestaande en nieuwe verbindingen tussen de Wester- en Oosterschelde. Deze studie werd uitgevoerd voor het RIKZ Middelburg (juli 2001, lit. 1.1).
2. Studie onder regie van Royal Haskoning waarbij naast stormomstandigheden ook dagelijkse omstandigheden onderzocht zijn. Deze studie is gepresenteerd in Rilland in april 2002 (lit. 1.2).
3. Haalbaarheidsonderzoek samen met Royal Haskoning voor AWZ, afdeling Zeeschelde naar het maatschappelijk draagvlak en de technische mogelijkheden van de Overschelde (mei 2003, lit. 1.3).

In de huidige studie wordt kort ingegaan op de eerste twee studies en uitgebreider op de derde studie die gedaan is voor AWZ.

In alle voorgaande studies is alleen de oostelijke variant van de Overschelde (bij Bath) bekeken. In deze studie zijn ook berekeningen uitgevoerd voor de westelijke variant, bij Kruiningen. De resultaten van deze variant zijn vergeleken met de resultaten voor de oostelijke variant zoals die zijn uitgevoerd in het onderzoek voor AWZ.

De voorliggende studie had de volgende afkadering:

Randvoorwaarden:

- Drietrapsstorm met overschrijdingskans van 1:4000 jr.
- Gemiddelde rivierafvoer van de Schelde.
- Zodanige sluitstrategie Oosterscheldekering dat waterstand op Oosterschelde na sluiting rond NAP ligt.

Geometrie:

- Afsluitmiddel in het Overschelde kanaal ligt aan Westerschelde zijde.
- Debiet door het Overschelde kanaal wordt bepaald door het afsluitmiddel. De afmetingen van het kanaal zullen groot genoeg zijn om geen belemmerende factor te zijn (vervallen over kanaal zijn klein)
- Door de schorren en slikken in de Oosterschelde wordt een geul gemaakt met voldoende afvoercapaciteit.

Resultaten:

- Waterstandsverlaging op traject tussen de Overschelde en Antwerpen moet tussen de 50 en 90 cm liggen.

2.2 Deel A Oostelijke variant

Voor de oostelijke variant zijn de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

- A1 Beschrijving van de berekeningen en resultaten van de eerder uitgevoerde berekeningen (zie paragraaf 2.1). Hierbij is extra aandacht geschonken aan een eenduidige omschrijving van de gebruikte randvoorwaarden en de geometrie van het kanaal en de overlaat (hoofdstuk 3).
Tevens is gekeken worden naar de effecten van de afmetingen van het afsluitmiddel op de waterstandsverlaging (op de Westerschelde), debieten en stroomsnelheden in het kanaal (hoofdstuk 4).
- A2 Bepalen van de minimale afmetingen van het benodigde kanaal. Bij geringe afmetingen wordt het kanaal een beperking voor de benodigde afvoer om de aangegeven waterstandsverlaging bij Antwerpen te bereiken. Zowel de diepte als de breedte van het kanaal zijn gevarieerd. Hierbij werden ook de minimale afmetingen van geul door de slikken in de Oosterschelde bepaald.

2.3 Deel B Westelijke variant

Voor de westelijke variant zijn berekeningen uitgevoerd om de effecten van dit kanaal in kaart te brengen. Hierbij is uitgegaan van dezelfde afkadering als bij de oostelijke variant (zie paragraaf 2.1). De berekeningen hebben tot doel om de vraag te beantwoorden bij welk debiet dezelfde verlaging bereikt wordt als bij de oostelijke variant (hoofdstuk 5). Hiertoe zijn de afmetingen van het kanaal en het afsluitmiddel gevarieerd.

Om deze vragen te kunnen beantwoorden zijn de volgende activiteiten uitgevoerd:

- B1 Inbouwen van het kanaal in het 1D model van de Zeeuwse delta (Delta-model) inclusief het (eventueel) aanpassen van de aantakende geulen in de Oosterschelde
- B2 Het uitvoeren van berekeningen met het Delta-model. De berekeningen zijn op een zelfde manier uitgevoerd als eerdere berekeningen voor de oostelijke variant. Hierbij is het doel dat de relatie tussen waterstandsverlaging, stroomsnelheden, debiet en doorstroomopening van het afsluitmiddel te bepalen.
- B3 Evenals bij A2 werden ook voor de westelijke variant de minimale afmetingen van het benodigde kanaal bepaald. Bij geringe afmetingen wordt het kanaal een beperking voor de benodigde afvoer om de aangegeven waterstandsverlaging bij Antwerpen te bereiken. Zowel de diepte als de breedte van het kanaal zijn gevarieerd. Hierbij zijn ook de minimale afmetingen van de geul door de slikken in de Oosterschelde bepaald.

2.4 Deel C Vergelijking tussen beide varianten

Voor beide varianten zijn de relaties tussen de volgende parameters bepaald (hoofdstuk 6):

- Waterstandsverlaging in Hansweert, Bath en Antwerpen
- Waterstandsverhoging in Stavenisse
- Debieten in het kanaal
- Stroomsnelheden in het kanaal

3 BESCHRIJVING MODELLEN IN VOORGAANDE PROJECTEN

3.1 Modelschematisatie

3.1.1 Bouw model

Het Delta 4 model is een ééndimensionaal ZWENDL model en omvat de Oosterschelde, Westerschelde, het Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen (bijlage 3.1) en is opgebouwd uit het model Oostzwen (Oosterschelde, Grevelingen en Volkerak) en de IMPLIC-schematisatie van de Westerschelde.

Het ééndimensionale IMPLIC model van de Oosterschelde en Volkerak (lit. 2.1) is in eerste instantie opgezet voor de operationele begeleiding van de bouw van de Oosterschelde kering. Het is herzien, uitgebreid en opnieuw gecalibreerd in 1983 (lit. 2.2) voor de laatste fasen van de bouw van de Oosterschelde kering en de aanleg van de Compartimenterings Werken. Na afronding van de bouw van de Oosterschelde werken is het model tot op heden toegepast door het Hydro Meteo Centrum in Middelburg voor de voorspelling van de hydraulica in het Oosterschelde bekken.

Voor een eerdere studie is het model geschikt gemaakt voor het programma ZWENDL (lit. 2.3). ZWENDL is in staat de zoutgradiënten gekoppeld met de waterbeweging te berekenen, dit in tegenstelling tot IMPLIC. Bovendien is de ZWENDL code geschikt gemaakt om met grotere modellen te rekenen.

In de voorgaande studies is met het Delta 2 model gerekend. Voor de studie voor ProSes is het model uitgebreid met de westelijke variant (Kruiningen) van het Overschelde kanaal. Dit nieuwe model is het Delta 4 model genoemd.

3.1.2 Bestaande kanalen

In het model zijn de bestaande verbindingseu len tussen de Westerschelde en Oosterschelde aangebracht : Bathse Spuikanaal, Schelde-Rijnkanaal en Kanaal door Zuid-Beveland. Voor elk van de kanalen zijn de huidige (gemiddelde) afmetingen gebruikt.

Het Bathse Spuikanaal en het Schelde-Rijnkanaal sluiten in het model aan op de achterzijde van de Oosterschelde en niet op het Volkerak-Zoommeer. Dit is om de mogelijkheid te onderzoeken om één van die kanalen te gebruiken als verbindingsskanaal tussen de Westerschelde en de Oosterschelde. Alleen in de studie voor het RIKZ in 2001 (lit. 1.1) zijn deze kanalen gebruikt. In de overige studies staan deze kanalen dicht.

De huidige kanalen bleken onvoldoende capaciteit te hebben zodat een nieuw kanaal noodzakelijk is.

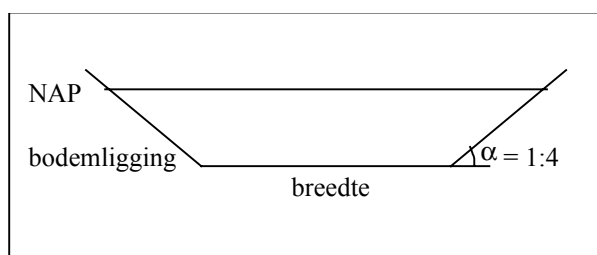
3.2 Overschelde-kanaal

In het Delta 4 model zijn ook nieuw aan te leggen kanalen bij Bath en Kruiningen opgenomen.

In de volgende paragrafen worden de afmetingen van het Overschelde-kanaal bij Bath beschreven:

3.2.1 Studie RIKZ 2001

In de studie voor het RIKZ (lit 1.1) is uitgegaan van een prismatisch profiel van het Overschelde-kanaal. Allereerst is bepaald wat de waterstandsverlaging op de Westerschelde zou zijn bij een permanent open kanaal (dus zonder overlaat). Hierbij is de ligging van de bodem gevarieerd tussen NAP-12 m en NAP+1,5 m en de bodembreedte is gevarieerd tussen 350 m en 3000 m. Het kanaal had aan beide zijden een talud van 1:4 (figuur 3.1).

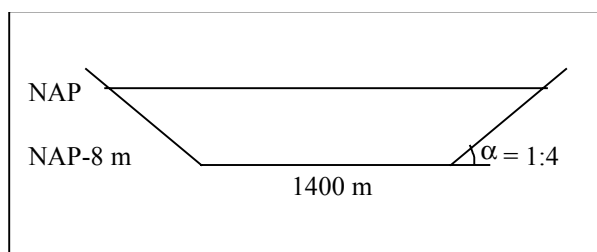


Figuur 3.1 Afmetingen Kreekrakkanaal, permanent open (studie 2001)

Uit de berekeningen bleek dat bij een permanent open kanaal de stroomsnelheden te hoog zouden worden en daarom is besloten om de effecten van een kanaal met een overlaat te onderzoeken.

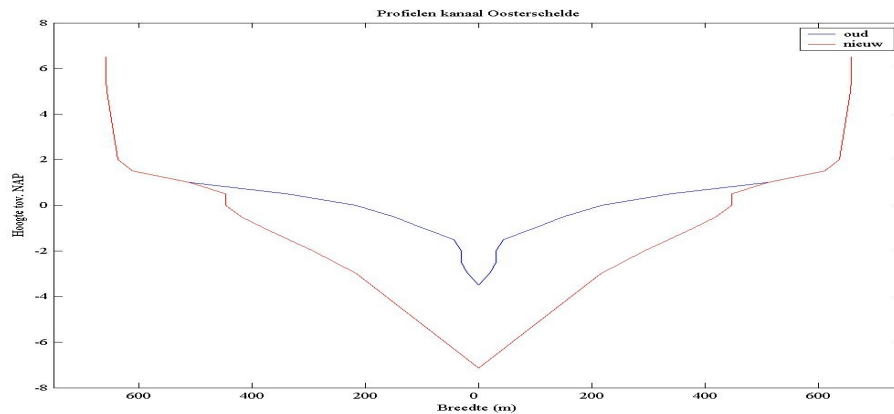
De overlaat is hierbij de beperkende factor. Dit betekent dat het doorlaatmiddel bepalend is voor de debieten in het kanaal en daarmee de waterstandsverlaging op de Westerschelde. De overlaat is geschematiseerd als een overlaat met een variërende breedte tussen 200 en 1000 m en een drempelhoogte tussen NAP-6m en NAP+2m.

Het kanaal is ruim gedimensioneerd zodat de capaciteit ruim voldoende is. Het kanaal heeft een bodembreedte van 1400 m en een bodempligging op NAP-8 m. Het talud van het kanaal is 1:4 (figuur 3.2).



Figuur 3.2 Afmetingen Kreekrak Kanaal in combinatie met doorlaatmiddel (studie 2001)

Het Overscheldekanaal takt in de Westerschelde aan op de diepe geul in het Nauw van Bath. In de Oosterschelde takt de Overschelde aan op de uitloper van het Marollengat. Deze geul moest voor de goede doorstroming verdiept worden. In figuur 3.3 is het oude en nieuwe profiel van deze geul getekend. De geul is vooral onder NAP verbreedt en verdiept.



Figuur 3.3 Doorsnede kanaal aan Oosterscheldezijde van Overschelde

3.2.2 Studie Royal Haskoning 2002

Naar aanleiding van de studie voor het RIKZ is door Royal Haskoning intern een studie gedaan naar het gebruik en de mogelijkheden van het Overscheldekanaal bij Bath (lit. 1.2). In deze studie is ook gekeken naar ecologische aspecten, de gevolgen voor landbouw en visserij en de kosten van de Overschelde.

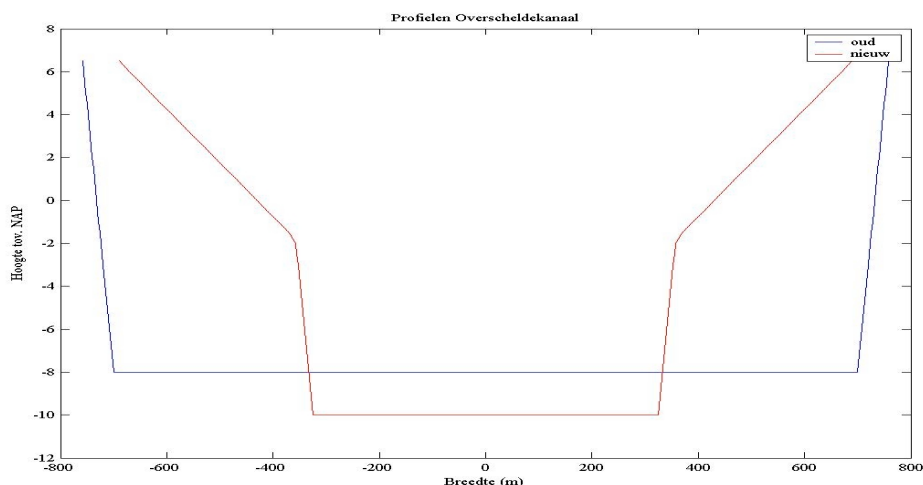
Ook is in deze studie de mogelijkheid van gebruik onder dagelijkse omstandigheden onderzocht. Het Overscheldekanaal zou dan gebruikt kunnen worden om tijdens laag water in omgekeerde richting te spuien richting Westerschelde.

In de berekeningen is gerekend met een vaste afmeting van de overlaat in de Overschelde. Uit de studie voor het RIKZ is een afmeting gekozen waarbij de verlaging tijdens de februaristorm 1990 bij Bath ongeveer 0,50 m zou worden. Dit wordt bereikt bij een drempel op NAP – 4 m en een breedte van de drempel van 500 m.

Onder stormomstandigheden is de overlaat open wanneer de waterstand op de Westerschelde hoger is dan op de Oosterschelde. Onder dagelijkse omstandigheden staat de overlaat open bij een hogere waterstand op de Oosterschelde.

Uit de berekeningen voor het RIKZ bleek dat het Overscheldekanaal erg overgedimensioneerd was en dat vanwege ruimtegebruik een kleiner kanaal met intergetijdengebied meer gewenst is.

Het Overschelde kanaal had daarom in de berekeningen voor Haskoning een bodemligging op NAP-10m met een bodembreedte van 700m. Het talud van het kanaal is 1:4 tot NAP-2 m. Boven NAP-2m wordt het talud 1:40. De overlaat blijft echter de bepalende factor voor de waterstandsverlaging op de Westerschelde.



Figuur 3.4 Doorsnede Overscheldekanaal

In figuur 3.4 is ook het profiel dat gebruikt is in de berekeningen voor het RIKZ gepresenteerd.

Uit de berekeningen voor het RIKZ bleek eveneens dat de stroomsnelheden in het kanaal aan Oosterscheldezijde nog hoog waren. Daarom is dit kanaal verder verbreed en is een tweede geul met dezelfde afmetingen ook aangesloten op het Overschelde-kanaal.

3.2.3 Studie voor AWZ

Na het interne project van Royal Haskoning en de presentatie ervan in Rilland-Bath op 23 april 2002, zijn er aanvullende vragen gekomen over de haalbaarheid en gevolgen van de Overschelde.

Door AWZ is aan Royal Haskoning de vraag gesteld om een haalbaarheidsstudie (lit. 1.3) uit te voeren naar het maatschappelijk draagvlak, gevolgen voor (mossel)visserij en scheepvaart.

Tevens is in dit onderzoek gerekend met andere, zwaardere randvoorwaarden (paragraaf 3.3).

In de berekeningen is gerekend met een vaste afmeting van de overlaat in de Overschelde. De dimensies zijn hetzelfde gebleven als bij de interne studie van Royal Haskoning. Hierbij ligt de drempel op NAP – 4 m en is de breedte van de drempel 500 m.

Er is in deze studie gevarieerd met de openings- en sluitingsstrategie van de overlaat. Zo is gekeken naar de effecten wanneer de overlaat op een laat tijdstip geopend wordt. Dit bleek een groter effect te hebben dan het openen in een vroeger stadium (paragraaf 4.2.3).

Onder dagelijkse omstandigheden staat de overlaat open bij een hogere waterstand op de Oosterschelde.

De dimensies van het Overschelde kanaal en het kanaal aan Oosterschelde zijde zijn niet gewijzigd ten opzichte van de afmetingen die gebruikt zijn voor het interne onderzoek van Royal Haskoning (par.3.2.2).

3.3 Randvoorwaarden

3.3.1 Zeezijde

In de voorgaande projecten zijn zowel dagelijkse als stormomstandigheden doorgerekend.

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de gebruikte randvoorwaarden

studie	omstandigheid	Periode/rvw	Opmerkingen	Afkomstig
RIKZ	storm	Feb 1990	Huidige sluitingsstrategie van OSK	RIKZ
	1:10000 jaar storm	Fictief	Rvw afkomstig van RIKZ	RIKZ
Royal Haskoning	Storm	Feb 1990	Huidige sluitingsstrategie van OSK	RIKZ
	Dagelijkse omstandigheden	Juni 1990	Huidige sluitingsstrategie van OSK	RIKZ
AWZ	Drietrapsstorm	Vier stormen met maximum waterstanden van TAW+8,43m, TAW+8,73m (overschrijdingsfrequentie naar schatting 1:4000 jr.), TAW+9,03m (overschrijdingsfrequentie 1:10000 jr.) en TAW+9,33m te Prosperpolder.	OSK wordt gesloten bij een waterstand van NAP op de Oosterschelde.	WLB
	Dagelijkse omstandigheden	Juni 1990	Huidige sluitingsstrategie van OSK	RIKZ
ProSes	Drietrapsstorm	1/4000 jaar met maximum van TAW+8,73 m bij Prosperpolder (bijlage 3.4)	OSK wordt gesloten bij een waterstand van NAP op de Oosterschelde.	WLB

Tabel 3.1 Gebruikte randvoorwaarden

De randvoorwaarden voor de berekeningen voor AWZ en ProSes zijn gepresenteerd in bijlage 3.4.

3.3.2 Rivierzijde

In alle berekeningen is gerekend met een gemiddelde rivierafvoer van de Schelde en andere rivieren.

Rivier	afvoer
Schelde (Gent)	56 m ³ /s
Zenne	18 m ³ /s
Dijle	40 m ³ /s
Nete	27 m ³ /s
Durme	19 m ³ /s
Dintel	9 m ³ /s
Steenbergse Vliet	3 m ³ /s

Tabel 3.2 Rivierafvoer

3.3.3 Windrandvoorwaarden

Als windrandvoorwaarden zijn voor de februari storm en de dagelijkse omstandigheden de gemeten wind bij Hansweert op het model gezet. Voor de 1/10000 storm zijn de windrandvoorwaarden van RIKZ gekregen.

Voor de berekeningen met de drietrapsstormen is geen wind op het model gezet. Zonder wind werden al de waterstanden bereikt die maatgevend zijn.

4 OOSTELIJKE VARIANT/BATH

4.1 Werkwijze/modelkeuze

In de studie voor AWZ zijn de volgende onderzoeksvragen uitgewerkt:

- A. De mate van reductie van waterstanden op de Westerschelde bij stormen met verschillende overschrijdingsfrequenties
- B. De gevoeligheid van de waterstandsdeling op de Westerschelde voor verschillende afmetingen (breedte, drempeldiepte) van de overlaat in de Overschelde (bijlagen 4.2.1 t/m 4.2.7)
- C. De gevoeligheid van de waterstandsdeling op de Westerschelde voor verschillende openingsstrategieën van de overlaat in de Overschelde.

Om een goed ruimtelijk beeld te krijgen van de waterstandsdeling zijn verschillende stations op de Westerschelde en Belgische Schelde bekeken (Hansweert, Bath, Prosperpolder en Antwerpen).

Bij alle scenario's is ook de waterstandsstijging op de Oosterschelde onderzocht. Hiervoor is het station Stavenisse gekozen omdat dit station de waterstandsstijging op de Oosterschelde goed weergeeft, terwijl er geen locale effecten van de Overschelde meer optreden.

In de studie voor ProSes zijn de volgende aanvullende vragen uitgewerkt:

- De mogelijke verbanden tussen de waterstandsverlaging (op de Westerschelde) en debieten en stroomsnelheden in het kanaal.
- Bepalen van de minimale afmetingen van het benodigde kanaal waarbij het kanaal geen invloed heeft op de waterstandsverlaging op de Westerschelde.

4.2 Resultaten studie AWZ (lit. 1.3)

4.2.1 Reductie waterstanden bij stormen met verschillende overschrijdingsfrequenties

Dit onderzoek is uitgevoerd met een drempelhoogte van de overlaat in de Overschelde op NAP -4 m en een breedte van 500 m. De bijbehorende openingsstrategie is dat de kering wordt geopend zodra de waterstand in de Westerschelde hoger is dan in de Oosterschelde. De Oosterschelde kering is gesloten op LW na het eerste HW en is dus tijdens de drie volgende HW dicht. Gedurende deze periode is er wel een lekdebet door de Oosterschelde kering.

LET OP: Dit is een andere strategie dan de huidige sluitingsstrategie van de Oosterschelde kering, waarbij de kering gesloten wordt op NAP + 1 m (TAW+3,33 m) tot NAP + 2m (TAW+4,33m).

Storm met waterstand Prosperpolder TAW + 8,43 meter			
Station	zonder Overschelde	Met Overschelde	verschil
Hansweert	7.92	7.61	-0.30
Bath	8.33	7.69	-0.65
Prosperpolder	8.43	7.78	-0.65
Antwerpen	8.71	8.05	-0.66
Stavenisse	3.56	5.08	1.52
Storm met waterstand Prosperpolder TAW + 8,74 m (ca. 1 : 4.000 jaar)			
station	zonder Overschelde	Met Overschelde	verschil
Hansweert	8.22	7.90	-0.32
Bath	8.63	7.97	-0.66
Prosperpolder	8.74	8.06	-0.68
Antwerpen	9.00	8.34	-0.66
Stavenisse	3.56	5.23	1.67
Storm met waterstand Prosperpolder TAW + 9,02 m (ca. 1 : 10.000 jaar)			
station	zonder Overschelde	Met Overschelde	verschil
Hansweert	8.50	8.18	-0.33
Bath	8.92	8.25	-0.67
Prosperpolder	9.02	8.34	-0.68
Antwerpen	9.32	8.63	-0.69
Stavenisse	3.70	5.51	1.82
Storm met waterstand Prosperpolder TAW + 9,34 m			
station	zonder Overschelde	Met Overschelde	Verschil
Hansweert	8.81	8.49	-0.32
Bath	9.24	8.57	-0.66
Prosperpolder	9.34	8.66	-0.68
Antwerpen	9.66	8.97	-0.69
Stavenisse	3.98	5.88	1.89

Tabel 4.1 Waterstandsverschillen bij verschillende stormen

In tabel 4.1 is te zien dat de waterstandsdeling bij Prosperpolder en bij Antwerpen tussen de 0,66 m en 0,69 m ligt voor verschillende stormen. De verschillen in waterstandsdeling voor de stormen met verschillende overschrijdingsfrequenties zijn klein.

De waterstand op de Oosterschelde stijgt aanzienlijk. Dit is het gevolg van het feit dat de kering in de Overschelde wordt geopend zodra de waterstand in de Westerschelde hoger is dan in de Oosterschelde. Omdat de Oosterscheldeking vroeg is gesloten, bij een peil van NAP, en dus de waterstand op de Oosterschelde laag is staat de kering in de Overschelde orde 60 % van de tijd open.

Optimalisatie van de afstemming van het beheer van de Oosterschelde kering en het beheer van de Overschelde kering moet verder onderzocht worden.

4.2.2 Gevoeligheid van de waterstand voor verschillende afmetingen overlaat

De storm met een overschrijdingsfrequentie van ca. 1: 4.000 jaar (maximum waterstand Prosperpolder van TAW+8,73 m) is genomen om de effecten van de afmetingen van de overlaat op de waterstandsdaling te berekenen.

Ook bij deze berekeningen staat de Overschelde kering open zodra de waterstand op de Westerschelde hoger is dan op de Oosterschelde (variant A, par. 4.2.3).

In bijlage 4.2.1 t/m 4.2.7 zijn de resultaten gepresenteerd.

De belangrijkste conclusies zijn:

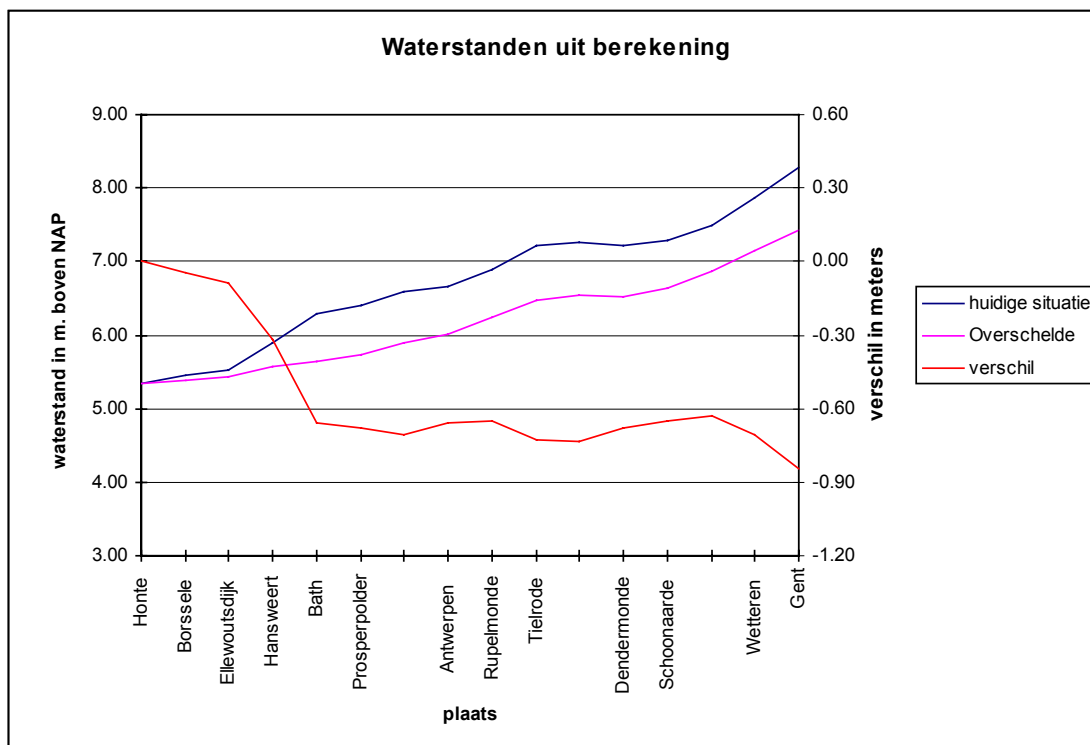
- In Antwerpen kan een waterstandsverlaging bereikt worden tot 0,85 meter (TAW+9,00 m wordt TAW+ 8,10 m). Hiervoor is een overlaat vereist van 1000 m breed.
- Een verlaging in Bath met 0,65 meter (TAW + 9,00 m wordt TAW + 8,35 m) kan bereikt worden met een doorlaatopening van 400 m. Het debiet dat via de Overschelde wordt afgevoerd is bij de gevolgde openingsstrategie van de kering de sturende parameter voor de effectiviteit van de verbindingseu.
- De effectiviteit van het verlagen van de drempel van de overlaat is kleiner dan de effectiviteit van het verbreden ervan. Dit komt omdat het totale doorstroomoppervlak (en dus het debiet) sneller toeneemt bij een bredere overlaat dan bij een diepere overlaat.

In tabel 4.2 is de waterstandsverlaging langs de Schelde gepresenteerd bij een 1:4000 storm met de oostelijke variant.

station	Zonder Overschelde	Met Overschelde	Vershil (m)
Honte	5.35	5.35	0.00
Borssele	5.45	5.4	-0.05
Ellewoutsdijk	5.53	5.44	-0.09
Hansweert	5.89	5.57	-0.32
Bath	6.3	5.64	-0.66
Prosperpolder	6.41	5.73	-0.68
Antwerpen	6.67	6.01	-0.66
Rupelmonde	6.89	6.24	-0.65
Tielrode	7.21	6.49	-0.73
Dendermonde	7.21	6.52	-0.68
Schoonaarde	7.29	6.63	-0.65
Wetteren	7.86	7.15	-0.71
Gent	8.27	7.43	-0.85

Tabel 4.2 Waterstandsverschillen langs Westerschelde en Beneden/Zeeschelde (waterstanden tov. NAP).

In figuur 4.1 is het verloop van de hoogwatergolf met en zonder gebruik van de Overschelde (oostelijke variant) gepresenteerd voor een 1:4000 storm. In de figuur is te zien dat de waterstandsverlaging bij Bath ongeveer 0,65 m is en dat deze oploopt tot 0,85 m bij Gent.



Figuur 4.1 Hoogwaterstanden langs de Westerschelde en de Beneden/Zeeschelde

4.2.3

Gevolgen waterstandsvaling voor verschillende openingsstrategieën

In bovenstaande modelberekeningen is gerekend met een openingsstrategie dat de overlaat in de Overschelde open staat wanneer de waterstand op de Westerschelde hoger is dan op de Oosterschelde. Dit betekent dat de Overschelde 60 % van de tijd geopend is. De waterstand op de Westerschelde loopt namelijk sterker op dan in de Oosterschelde.

Gevolg van de lange openingstijd is dat de waterstand op de Oosterschelde flink stijgt (tot 1,50 à 1,90 meter boven de situatie zonder Overschelde, afhankelijk van de zwaarte van de storm). Een dergelijke verhoging van de waterstand in de Oosterschelde is mogelijk aanvaardbaar wanneer bij de sluitstrategie van de Oosterscheldekering rekening is gehouden met deze stijging. Dit houdt dus in dat de sluitstrategie van de Oosterscheldekering aangepast zal moeten worden aan de nieuwe situatie met de Overschelde. Dit biedt eveneens ruimte voor mogelijke berging van extreem hoge rivierafvoeren van Rijn en Maas op de Oosterschelde.

In deze paragraaf wordt beschreven hoe de waterstand beïnvloed wordt bij andere openingsstrategieën.

Bij alle strategieën wordt de overlaat alleen geopend wanneer de waterstanden op de Westerschelde hoger zijn dan op de Oosterschelde. De scenario's die berekend zijn, zijn de volgende:

- A. Geen ander criterium (strategie uit eerdere paragrafen);
- B. Openen zodra de waterstand bij Prosperpolder boven TAW+4 m uitkomt;
- C. Openen zodra de waterstand bij Prosperpolder boven TAW+6 m uitkomt;
- D. Geleidelijk openen zodra de waterstand bij Prosperpolder boven TAW+6 m uitkomt;
- E. Openen op LW van het laatste (en hoogste) getij van de stormreeks.

In tabellen 4.3 zijn de resultaten gepresenteerd.

station	zonder Overschelde (geval T0)	open bij WS>OS (geval A)	open op TAW+4 (geval B)	Verschil T0 - A	Verschil T0 - B
Hansweert	8.22	7.90	7.89	-0.32	-0.32
Bath	8.63	7.97	7.97	-0.66	-0.66
Prosperpolder	8.74	8.06	8.06	-0.68	-0.68
Antwerpen	9.00	8.34	8.34	-0.66	-0.66
Stavenisse	3.56	5.23	5.16	1.67	1.60

station	zonder Overschelde (geval T0)	Open bij WS>OS (geval A)	open op TAW+6 (geval C)	Verschil T0 - A	Verschil T0 - C
Hansweert	8.22	7.90	7.85	-0.32	-0.37
Bath	8.63	7.97	7.91	-0.66	-0.72
Prosperpolder	8.74	8.06	8.01	-0.68	-0.72
Antwerpen	9.00	8.34	8.27	-0.66	-0.73
Stavenisse	3.56	5.23	4.61	1.67	1.06

station	Zonder Overschelde (geval T0)	Open bij WS>OS (geval A)	geleidelijk open TAW +6 (geval D)	Verschil T0 - A	Verschil T0 - D
Hansweert	8.22	7.90	7.84	-0.32	-0.37
Bath	8.63	7.97	7.92	-0.66	-0.71
Prosperpolder	8.74	8.06	8.03	-0.68	-0.71
Antwerpen	9.00	8.34	8.30	-0.66	-0.71
Stavenisse	3.56	5.23	4.51	1.67	0.95

station	zonder Overschelde (geval T0)	Open bij WS>OS (geval A)	open vanaf LW laatste getij (geval E)	Verschil T0 - A	Verschil T0 - E
Hansweert	8.22	7.90	7.89	-0.32	-0.33
Bath	8.63	7.97	7.95	-0.66	-0.68
Prosperpolder	8.74	8.06	8.04	-0.68	-0.69
Antwerpen	9.00	8.34	8.31	-0.66	-0.69
Stavenisse	3.56	5.23	4.45	1.67	0.89

Tabel 4.3 Waterstandsverschillen bij verschillende openingsstrategieën

Uit de tabellen blijkt dat het openen van de overlaat bij een hoge waterstand bij Prosperpolder het meest effectief is. Het geleidelijk openen reduceert het effect weer enigszins. Wel neemt dan de waterstandsstijging op de Oosterschelde minder toe. Het openen bij alleen het laatste hoogwater is ook effectief.

De toename op de Oosterschelde is fors, zoals ook al eerder gemeld is. Dit komt deels door het verschil in waterstanden tussen de Oosterschelde en Westerschelde, de duur van openen en het feit dat tijdens laagwater niet gespuid kan worden richting Noordzee (in tegenstelling tot eerdere berekeningen). De waterstand van TAW + 5 m (NAP + 2,67 m) bij Stavenisse is echter nog altijd ruim onder de maatgevende waterstand op de Oosterschelde. Deze verandering in waterstanden moeten echter nog wel onderzocht worden op het effect op veiligheid van de Oosterscheldedijken. Een andere waterstand op de Oosterschelde leidt tot andere maatgevende condities voor het ontwerp van Oosterschelde dijken.

4.3 Minimale afmetingen kanaal

In paragraaf 3.2.1 en 3.2.2 is vermeld dat in eerdere berekeningen van het Overschelde-kanaal de overlaat maatgevend is voor het debiet en daarmee de waterstandsdeling op de Westerschelde. Het kanaal zelf is ruim gedimensioneerd zodat de stroomsnelheden in het kanaal laag blijven. De lengte van het Overschelde kanaal is 4000 m.

Voor het ruimtegebruik is het kanaal echter maatgevend. Daarom is het van belang te weten bij welke afmetingen de dimensies van het kanaal een rol gaat spelen.

In de berekeningen is de bodembreedte van het kanaal gevarieerd tussen 200 m en 3000 m en de bodemligging tussen NAP – 12 m en NAP-2 m. Het talud van het kanaal is 1:4 en er is geen intergetijdenzone in het model gebracht.

De reden om geen intergetijdengebied aan te brengen is dat hier gezocht wordt naar de *minimale* afmetingen van het kanaal en een extra intergetijdengebied zou ook een groter ruimtebeslag vergen.

Het kanaal door het intergetijdengebied heeft dezelfde afmetingen als het Overschelde-kanaal. De lengte is 2300 meter. In dit kanaal is vanaf NAP-2m het intergetijdengebied wel gemodelleerd (talud is dan 1:40) omdat dit in werkelijkheid ook aanwezig is.

Als uitgangspunt hierbij is genomen dat de afmetingen van de overlaat niet veranderen. De drempel ligt op NAP-4 m en de breedte is 500 m.

Als randvoorwaarde is de drietrapsstorm met een voorkomen van 1:4000 jaar gebruikt en scenario A (zie paragraaf 4.2.3).

In bijlage 4.4.1 t/m 4.4.6 zijn de resultaten van de berekeningen gepresenteerd. Hierbij is de waterstandsverandering gegeven als functie van de bodembreedte en ligging van het Overschelde kanaal. De lijnen in de figuren zijn met een gelijk interval getekend.

In bijlage 4.4.2 is de waterstandsverlaging bij Bath gepresenteerd als functie van de afmetingen van het kanaal. In eerdere berekeningen is een waarde voor de daling van de waterstand bij Bath gevonden van 0,66 m (studie AWZ). Hierbij was de bodembreedte van het kanaal 700 m met een bodemligging op NAP-10m.

In bijlage 4.4.2 is te zien dat de waterstandsdeling vrijwel niet wijzigt bij variërende grote afmetingen van het kanaal. Bij kleine afmetingen van het kanaal is de waterstandsdeling wel afhankelijk van de afmetingen van het kanaal.

Het overgangsgebied ligt bij een waterstandsdeling van 0,5 a 0,6 m. Als maatgevende combinatie van afmetingen, is gekozen dat deze horen bij een waterstandsdeling bij Bath van 0,60 m. Het oppervlak van het kanaal onder NAP is hierbij ongeveer 5300 m². Dit geldt voor de range waarbij de bodem tussen de NAP-5m en NAP-12 m ligt en de breedte tussen de 400 m en 1100 m ligt.

Dit is het minimale doorstroomoppervlak van het kanaal waarbij het kanaal weinig invloed heeft op de waterstandsdeling.

Boven deze afmeting neemt het debiet door het kanaal nauwelijks toe (bijlage. 4.4.5) en neemt ook de waterstandsstijging in Stavenisse nauwelijks toe (bijlage 4.4.4). In dit geval wordt het debiet dus alleen bepaald door de afmetingen van de overlaat.

De stroomsnelheden in het kanaal met minimale afmetingen liggen tussen de 2 m/s (bij bodem op NAP-5m) en 2.5 m/s (bij bodem op NAP-12 m).

Deze hoge stroomsnelheden hoeven niet te leiden tot beschermende maatregelen zoals extra oever en bodembescherming. De stroomsnelheden treden alleen op bij zeer extreme stormen en dan zullen de hoge stroomsnelheden gedurende een korte periode optreden. Extra beschermende maatregelen zijn wel noodzakelijk nabij de overlaat (woelbak) en indien het Overschelde kanaal tegen één van de dijken gesitueerd is.

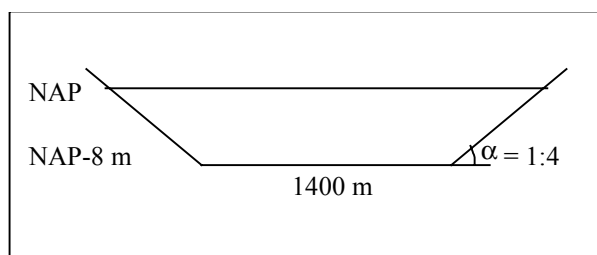
5 WESTELIJKE VARIANT/KRUININGEN

5.1 Werkwijze/Aanpassing model

In het Delta 2 model zijn de volgende aanpassingen gedaan om de westelijke variant in te brengen:

5.1.1 Afmetingen Overscheldekanaal

Op de lokatie van de westelijke variant is een kanaal in het model gebracht. Op basis van de resultaten voor het Kreekrakkanaal (zie paragraaf 3.2.1) is dit kanaal ruim genomen. Hierdoor is de afmeting van de overlaat bepalend voor de debieten in het kanaal en daarmee de waterstandsverlaging op de Westerschelde. De bodembreedte is 1400 m genomen met een bodemligging op NAP-8m en een talud van 1:4 (zie figuur 5.1). Het kanaal heeft een lengte van 4250 m.



Figuur 5.1 Afmetingen Overscheldekanaal bij Kruiningen

5.1.2 Afmetingen overlaat

De overlaat in het Overschelde kanaal bij Kruiningen is evenals in de studie naar de oostelijke variant (lit. 1.3) gesitueerd aan Westerscheldezijde van het kanaal. Dit is de meest waarschijnlijk lokatie aangezien dan de aanzanding in het kanaal beperkt blijft. De afmetingen van de overlaat zijn gevarieerd: de drempelhoogte ligt tussen NAP – 6 m en NAP +2 m en de breedte tussen 200 m en 1000 m.

5.1.3 Overige aanpassingen

Het Overschelde kanaal moet in de Oosterschelde aantakken aan een diepe geul. Hiertoe is een extra knooppunt gemaakt in de schematisatie van de Oosterschelde en is een extra kanaal door het intergetijdengebied gemaakt met dezelfde afmetingen als het Overscheldekanaal (figuur 5.1). Dit kanaal heeft een lengte van 2000 m.

5.1.4 Randvoorwaarden

Als randvoorwaarden voor de berekeningen met het Overscheldekanaal bij Kruiningen is de drietrapsstroom met een voorkomen van 1:4000 jaar gebruikt (zie paragraaf 3.3). Rivierrandvoorwaarden en windrandvoorwaarden zijn eveneens beschreven in paragraaf 3.3.

5.1.5 Openingsstrategie Oosterscheldekering en overlaat Overschelde

In de berekeningen voor de westelijke variant is sluitstrategie van de Oosterscheldekering dusdanig gekozen dat na sluiting de waterstand op de Oosterschelde rond NAP ligt. Dit is overeenkomstig de strategie die in de berekeningen van de oostelijke variant is gebruikt.

De overlaat in de Overschelde in de Overschelde wordt geopend als de waterstand op de Westerschelde hoger is dan op de Oosterschelde (scenario A uit paragraaf 4.2.3).

5.2 Resultaten

5.2.1 Waterstandsverlaging als functie van de afmeting van de overlaat

Zoals in paragraaf 5.1.2 al is genoemd, zijn de afmetingen van de overlaat gevarieerd. Bij verschillende afmetingen zijn de volgende parameters bepaald:

- waterstandsverlaging op de Westerschelde bij Hansweert, Bath en Antwerpen (bijlage 5.2.1 t/m 5.2.3)
- waterstandsverhoging op de Oosterschelde bij Stavenisse (bijlage 5.2.4)
- debieten door de Overschelde (paragraaf 5.2.2 en bijlage 5.2.5)
- stroomsnelheden in het Overschelde kanaal en door de overlaat (paragraaf 5.2.6 en bijlage 5.2.7)

In bijlage 5.2.2 is de waterstandsverlaging bij Bath gepresenteerd als functie van de drempelhoogte en breedte van de overlaat in het Overschelde kanaal. De lijnen in de figuren zijn met een gelijk interval getekend.

In deze figuur is bijvoorbeeld te zien dat bij een drempelhoogte op NAP-4m en een breedte van 500 m de waterstandsverlaging bij Bath ongeveer 0,47 m is. De waterstandsverhoging bij Stavenisse is dan ongeveer 1,90 m.

NB: Bij dezelfde afmetingen in de oostelijke variant van het Overschelde-kanaal werd een waterstandsverlaging bij Bath bereikt van 0,66 m en was de verhoging bij Stavenisse 1,67 m (zie paragraaf 4.2.1). Een verdere vergelijking tussen beide variant volgt in hoofdstuk 6.

5.2.2 Debieten

In bijlage 5.2.5 zijn de maximale debieten door het kanaal bij Kruiningen gegeven als functie van de drempelhoogte en breedte van de overlaat in het Overschelde kanaal.

In deze figuur is te zien dat bijvoorbeeld bij een drempelhoogte op NAP-4m en een breedte van 500 m het maximale debiet door het kanaal ongeveer 25000 m³/s is.

5.2.3 Stroomsnelheden

In bijlage 5.2.6 zijn de maximale stroomsnelheden door het kanaal bij Kruiningen gegeven als functie van de drempelhoogte en breedte van de overlaat in het Overschelde kanaal.

Deze zijn laag omdat de afmetingen van het kanaal ruim zijn genomen (zie paragraaf 5.1).

Ten slotte zijn de stroomsnelheden door de overlaat ook als functie van de afmetingen van de overlaat gepresenteerd in bijlage 5.2.7. De knik in de grafieken wordt veroorzaakt door de overgang van volkomen naar onvolkomen overlaat.

5.3 Minimale afmetingen kanaal

In paragraaf 5.1.1 is vermeld dat gekozen is voor afmetingen waarbij de overlaat in de Overschelde maatgevend is voor het debiet en daarmee de waterstandsval op de Westerschelde. Het kanaal zelf is ruim gedimensioneerd zodat de stroomsnelheden in het kanaal laag blijven.

Voor het ruimtegebruik is het kanaal echter wel maatgevend. Daarom is het van belang te weten bij welke afmetingen de dimensies van het kanaal een rol gaan spelen.

In analogie met de berekeningen voor de oostelijke variant (paragraaf 4.4) is in de berekeningen de bodembreedte van het kanaal gevarieerd tussen 200 m en 3000 m en de bodemligging tussen NAP – 12 m en NAP-2 m. Het talud van het kanaal is 1:4 en er is geen intergetijdenzone in het model gebracht.

Het kanaal door het intergetijdengebied heeft dezelfde afmetingen als het Overschelde-kanaal. Alleen is in dit kanaal boven NAP-2m het intergetijdengebied wel gemodelleerd (talud is dan 1:40).

Uitgangspunt hierbij is dat de afmetingen van de overlaat niet veranderen. De afmetingen van de overlaat zijn dusdanig gekozen dat de waterstandsverlaging in Bath op 0,66 m ligt. De drempel ligt hierbij op NAP-5 m en de breedte is 740 m. Let op: deze overlaat is dus breder en dieper dan bij de oostelijke variant.

Als randvoorwaarde is de drietrapsstorm met een voorkomen van 1:4000 jaar gebruikt en scenario A (zie paragraaf 4.2.3).

In bijlage 5.3.1 t/m 5.3.6 zijn de resultaten van de berekeningen gepresenteerd. Hierin is de waterstandsverandering gegeven als functie van de bodembreedte en ligging van het Overschelde kanaal. De lijnen in de figuren zijn met een gelijk interval getekend.

In bijlage 5.3.2 is de waterstandsverlaging bij Bath gepresenteerd als functie van de afmetingen van het kanaal. Het uitgangspunt voor de berekeningen was een waterstandsverlaging van 0,66 m bij Bath.

In bijlage 5.3.2 is te zien dat de waterstandsaling vrijwel niet wijzigt bij variërende grote afmetingen van het kanaal. Bij kleine afmetingen van het kanaal is de waterstandsaling wel afhankelijk van de afmetingen van het kanaal.

Het overgangsgebied ligt bij een waterstandsaling van 0,5 a 0,6 m. Als maatgevende combinatie van afmetingen, is gekozen dat deze horen bij een waterstandsaling bij Bath van 0,60 m. Het oppervlak van het kanaal onder NAP is hierbij ongeveer 7500 m². Dit geldt voor de range waarbij de bodem tussen de NAP-7m en NAP-12 m ligt en de breedte tussen de 600 m en 1100 m ligt.

Boven deze afmeting neemt het debiet door het kanaal nauwelijks toe (bijlage. 5.3.5) en neemt ook de waterstandsstijging in Stavenisse nauwelijks toe (bijlage 5.3.4). In dit geval wordt het debiet dus alleen bepaald door de afmetingen van de overlaat.

De stroomsnelheden in het kanaal met minimale afmetingen liggen tussen de 2.4 m/s (bij bodem op NAP-7m) en 2.7 m/s (bij bodem op NAP-12 m).

Deze hoge stroomsnelheden hoeven niet te leiden tot beschermende maatregelen zoals extra oever en bodembescherming. De stroomsnelheden treden alleen op bij zeer extreme stormen en dan zullen de hoge stroomsnelheden gedurende een korte periode optreden. Extra beschermende maatregelen zijn wel noodzakelijk nabij de overlaat (woelbak) en indien het Overschelde kanaal tegen één van de dijken gesitueerd is.

6 VERGELIJKING OOSTELIJKE EN WESTELIJKE VARIANT

6.1 Methodiek

Om de resultaten van beide varianten (oostelijk/Bath en westelijk/Kruiningen) met elkaar te vergelijken is in bijlage 6.1 t/m 6.6 een aantal parameters tegen elkaar uitgezet. Hiervoor zijn de resultaten van de berekeningen met verschillende afmetingen van de overlaat gebruikt.

In de figuren zijn ook de resultaten van de studie voor het RIKZ (lit. 1.1) opgenomen als referentie.

De verschillende varianten zijn met verschillende kleuren aangegeven (tabel 6.1).

Berekening	kleur	beschrijving	Variant Overschelde
Februari 1990	Blauw	Berekening voor RIKZ, par 3.2.1	Oost/Bath
1:10000 storm	Rood	Berekening voor RIKZ, par 3.2.1	Oost
1:4000 Bath	Groen	Berekening voor ProSes	Oost
1:4000 Kruiningen	l.blauw	Berekening voor ProSes	West/Kruiningen

Tabel 6.1 Kleurgebruik voor verschillende varianten

Op basis van de figuren uit bijlagen 6.1 t/m 6.6 kan de afhankelijkheid van verschillende parameters ten opzichte van elkaar bepaald worden, evenals de verschillen tussen de varianten.

6.2 Resultaten

In bijlage 6.1 is de maximale waterstandsverlaging bij Bath uitgezet tegen het maximale debiet door het Overschelde kanaal.

Uit de figuur kan afgelezen worden dat bijvoorbeeld voor een verlaging van 0,5 m bij Bath door het Overschelde kanaal bij Bath (oostelijke variant) een maximaal debiet van 17000 m³/s nodig is en door het Overschelde kanaal bij Kruiningen (westelijke variant) 26000 m³/s. Voor de beide varianten geldt de volgende relatie tussen het maximale debiet en de maximale waterstandsverlaging:

$$\Delta h = 2.877 \cdot 10^{-5} Q \quad : \text{ voor 1:4000 storm bij oostelijke variant}$$

$$\Delta h = 2.105 \cdot 10^{-5} Q \quad : \text{ voor 1:4000 storm bij westelijke variant}$$

waarin;

Δh : maximale waterstandsverlaging bij Bath (m)

Q : maximale debiet door verbindingsskanaal (m³/s)

Wanneer het maximaal debiet door het kanaal vastgelegd wordt op 20000 m³/s zal de verlaging bij Bath 0,6 m bij de oostelijke variant bedragen en bij de westelijke variant de verlaging bij Bath 0,38 m bedragen.

Uit bijlage 6.1 kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- De relatie tussen de maximale waterstandsverlaging bij Bath en het maximale debiet door de Overschelde is bijna lineair.
- Om bij Bath dezelfde verlaging van de waterstand te krijgen moet het maximale debiet bij de westelijke variant ongeveer 50% groter zijn dan nodig is bij de oostelijke variant.
- Bij een zelfde maximaal debiet door de Overschelde zal de waterstandsverlaging bij Bath bij de westelijke variant dus 33% kleiner zijn dan bij de oostelijke variant.

In bijlage 6.2 is op een zelfde wijze de maximale waterstandsverlaging bij Hansweert uitgezet tegen het debiet door het Overschelde kanaal. In de figuur is te zien dat de verhouding van de verlaging van de waterstand bij Hansweert en het maximale debiet voor beide varianten gelijk is.

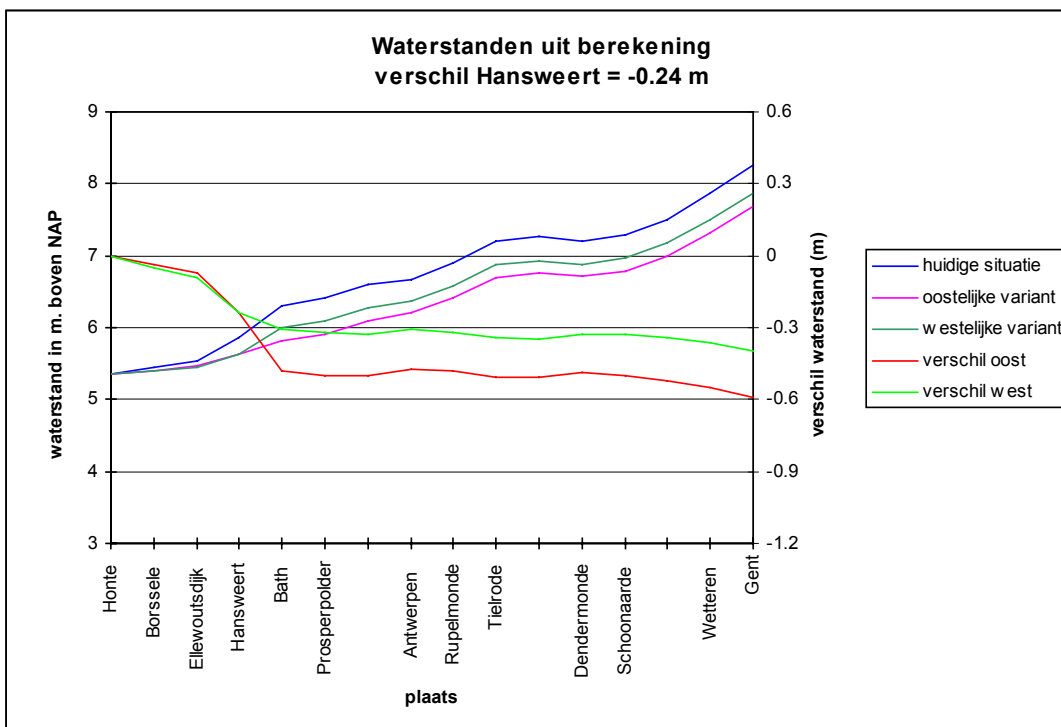
Met andere woorden: voor een zelfde verlaging bij Hansweert is bij beide varianten hetzelfde debiet nodig. De waterstandsval bij Bath is bij de oostelijke variant dan wel 50 % groter dan bij de westelijke variant (zie bijlage 6.1).

In bijlage 6.3 is de maximale waterstandsverlaging bij Bath en bij Hansweert tegen elkaar uitgezet.

Uit de figuren kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- De relatie tussen de verlaging bij Bath en de verlaging bij Hansweert is in alle gevallen nagenoeg lineair.
- Bij de oostelijke variant is de verlaging bij Hansweert ongeveer 50% van de verlaging bij Bath
- Bij de westelijke variant is de verlaging bij Hansweert ongeveer 75 % van de verlaging bij Bath.
- Bij eenzelfde verlaging bij Bath is bij de westelijke variant de verlaging bij Hansweert 50 % groter dan bij de oostelijke variant. Dit betekent dus ook een groter debiet door het Overscheldekanal bij de westelijke variant.

Als voorbeeld is in figuur 6.1 aangegeven hoe de verhanglijn en op de Westerschelde verlopen bij een arbitraire verlaging van de waterstand bij Hansweert met 0,24 m. In de figuur zijn de huidige situatie (zonder Overschelde) en de twee varianten weergegeven. Op de rechteras zijn de verschillen tussen de situatie zonder en met Overschelde weergegeven.



Figuur 6.1 Waterstandsverlaging Westerschelde Hansweert vast

In figuur 6.1 is te zien dat de verlaging westelijk van Hansweert voor beide varianten gelijk is maar dat stroomopwaarts van Hansweert de oostelijke variant een grotere waterstandsvaling laat zien dan de westelijke variant.

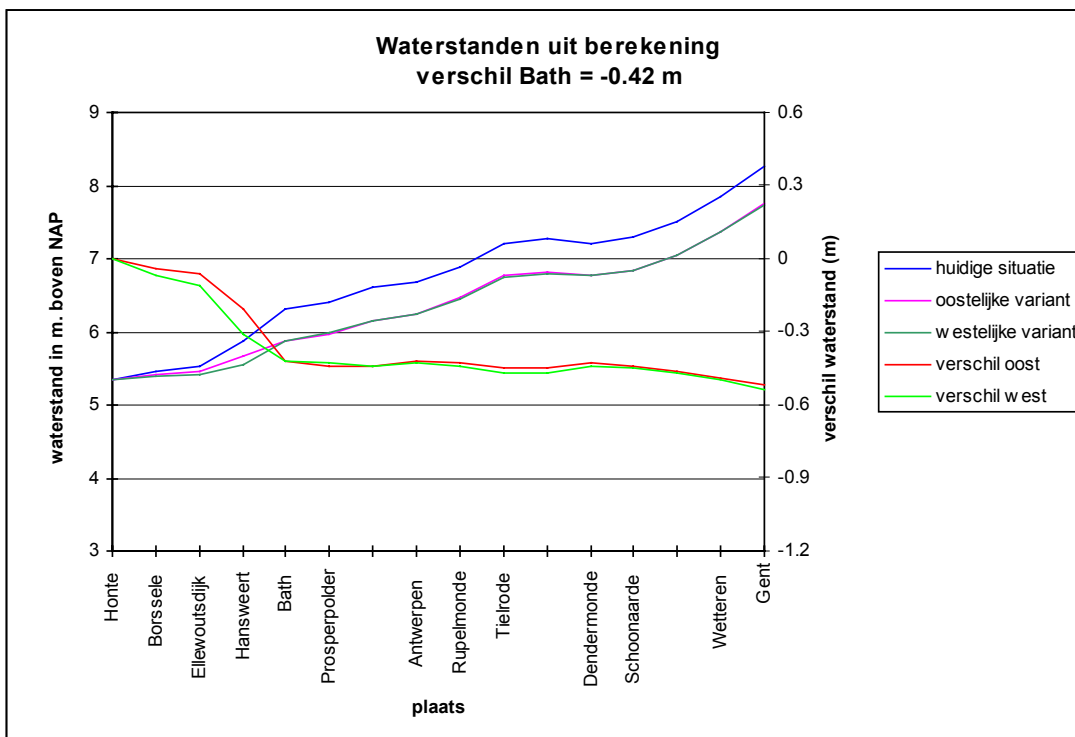
In tabel 6.2 zijn de resultaten uit figuur 6.1 kwantitatief gepresenteerd.

station	huidige situatie	oostelijke variant	westelijke variant	verschil oost	verschil west
Vlissingen	5.35	5.35	5.35	0	0
Borssele	5.45	5.41	5.4	-0.04	-0.05
Ellewoutsdijk	5.53	5.46	5.44	-0.07	-0.09
Hansweert	5.87	5.63	5.63	-0.24	-0.24
Bath	6.3	5.82	5.99	-0.48	-0.31
Prosperpolder	6.41	5.91	6.09	-0.5	-0.32
Antwerpen	6.67	6.2	6.36	-0.47	-0.31
Rupelmonde	6.89	6.41	6.57	-0.48	-0.32
Tielrode	7.21	6.7	6.87	-0.51	-0.34
Dendermonde	7.21	6.72	6.88	-0.49	-0.33
Schoonaarde	7.29	6.79	6.96	-0.5	-0.33
Wetteren	7.86	7.31	7.5	-0.55	-0.36
Gent	8.27	7.68	7.87	-0.59	-0.4

Tabel 6.2 Waterstandsverlaging Westerschelde Hansweert vast

Op het traject Vlissingen-Hansweert zijn de verschillen klein tussen beide varianten. Bovenstrooms van Hansweert is de verlaging bij de oostelijke variant 50 % groter dan bij de westelijke variant (bv. Antwerpen 0.47 m en 0.31 m).

In figuur 6.2 is hetzelfde gedaan maar nu is een arbitraire verlaging van 0,42 m bij Bath als uitgangspunt genomen. In de figuur zijn de huidige situatie (zonder Overschelde) en de twee varianten weergegeven. Op de rechteras zijn de verschillen tussen de situatie zonder en met Overschelde weergegeven.



Figuur 6.2 Waterstandsverlaging Westerschelde Bath vast

In tabel 6.3 zijn de resultaten uit figuur 6.1 kwantitatief gepresenteerd.

station	huidige situatie	oostelijke variant	westelijke variant	verschil oost	verschil west
Vlissingen	5.35	5.35	5.35	0	0
Borssele	5.45	5.41	5.38	-0.04	-0.07
Ellewoutsdijk	5.53	5.47	5.42	-0.06	-0.11
Hansweert	5.87	5.66	5.56	-0.21	-0.31
Bath	6.3	5.88	5.88	-0.42	-0.42
Prosperpolder	6.41	5.97	5.98	-0.44	-0.43
Antwerpen	6.67	6.25	6.24	-0.42	-0.43
Rupelmonde	6.89	6.46	6.45	-0.43	-0.44
Tielrode	7.21	6.76	6.74	-0.45	-0.47
Dendermonde	7.21	6.78	6.77	-0.43	-0.44
Schoonaarde	7.29	6.85	6.84	-0.44	-0.45
Wetteren	7.86	7.37	7.36	-0.49	-0.5
Gent	8.27	7.75	7.73	-0.52	-0.54

Tabel 6.3 Waterstandsverlaging Westerschelde Bath vast

In tabel 6.3 is te zien dat de waterstandsverlaging benedenstrooms van Bath bij de westelijke variant groter is dan bij de oostelijke variant. Bij Hansweert is de verlaging 50 % groter en bij Ellewoutsdijk ongeveer 100 % groter. Dit verschil is slechts relatief omdat bij de westelijke variant het benodigd debiet ongeveer 50 % groter is dan bij de oostelijke variant. Stroomopwaarts van Bath hebben de beide varianten ongeveer dezelfde verlaging.

In de bijlagen 6.4 en 6.5 zijn de waterstandsverlaging bij Bath en Hansweert uitgezet tegen de stroomsnelheden in het Overschelde kanaal. Deze figuren zijn minder relevant omdat de stroomsnelheden in sterke mate afhankelijk zijn van de debieten en afmetingen van het kanaal. Omdat in beide varianten het kanaal ruim is gedimensioneerd (paragraaf 4.4 en 5.3), worden de debieten niet of nauwelijks beïnvloed door de afmetingen van het kanaal. Daarom zijn de stroomsnelheden slechts indicatief en kunnen niet goed met elkaar vergeleken worden.

Uit de figuren is wel op te maken dat de relatie tussen de waterstandsverlaging en de maximale stroomsnelheid niet lineair is. Dit komt omdat de waterstand in de Oosterschelde en dus in het Overscheldes kanaal, stijgt bij een groter debiet waardoor niet alleen het debiet stijgt maar ook het doorstroomoppervlak.

In bijlage 6.6 zijn de waterstandsverlagingen bij Bath en Antwerpen tegen elkaar uitgezet. In alle gevallen blijkt dat de verlaging bij Antwerpen ongeveer gelijk is aan de verlaging bij Bath.

Voor een storm met voorkomen van 1:4000 jaar met als uitgangspunt een verlaging van de maximale waterstanden bij Bath met 0,66 m gelden de volgende kerngetallen:

Uitgangspunt dh Bath= -0.66 m	Oostelijke variant (Bath)	Westelijke variant (Kruiningen)
storm	1:4000 jaar	1:4000 jaar
Grootte overlaat	NAP-4m en 500 m breed	NAP-5m en 740 m breed
Verlaging Hansweert	-0.32 m	-0.50 m
Uitgangspunt dh Bath	-0.66 m	-0.66 m
Verlaging Antwerpen	-0.66 m	-0.68 m
Verhoging Stavenisse	+1.67 m	+2.30 m
Maximaal debiet kanaal	21500 m ³ /s	32000 m ³ /s
Minimale afmeting kanaal (onder NAP)	5300 m ²	7500 m ²
Maximale snelheid Kanaal bij min afmetingen	2 m/s tot 2.5 m/s	2.3 m/s tot 2.7 m/s

Tabel 6.4 Kengetallen bij een verlaging bij Bath van 0,66 m

Uit tabel 6.4 komt naar voren dat bij eenzelfde verlaging in Bath de waterstandsverlaging in Hansweert 50 % groter is bij de westelijke variant ten opzichte van de oostelijke variant maar dat ook de waterstandsverhoging in Stavenisse 30% groter is en tevens een 50% groter debiet nodig is door de Overschelde. Bovendien nemen de stroomsnelheden in het kanaal bij gebruik van het minimale profiel ook toe.

Wanneer dezelfde storm wordt doorgerekend met als uitgangspunt een maximaal debiet van 22000 m³/s gelden de volgende kerngetallen:

Uitgangspunt max debiet= 22000 m ³ /s	Oostelijke variant (Bath)	Westelijke variant (Kruiningen)
storm	1:4000 jaar	1:4000 jaar
Grootte overlaat	NAP-4m en 532 m breed	NAP-5m en 448 m breed
Verlaging Hansweert	-0.34 m	-0.32 m
Verlaging Bath	-0.68 m	-0.41 m
Verlaging Antwerpen	-0.68 m	-0.42 m
Verhoging Stavenisse	+1.73 m	+1.78 m
Uitgangspunt maximaal debiet kanaal	22053 m ³ /s	22081 m ³ /s

Tabel 6.5 Kengetallen bij een maximaal debiet van 22000 m³/s

Uit tabel 6.5 komt naar voren dat bij eenzelfde debiet door de Overschelde de waterstandsverlaging in Hansweert ongeveer gelijk is bij beide varianten evenals de waterstandsverhoging bij Stavenisse. De waterstandsverlaging bij Bath en Antwerpen is bij de westelijke variant echter wel 40% kleiner dan bij de oostelijke variant.

7

CONCLUSIES

Uit het vergelijkend onderzoek van een oostelijke variant (bij Bath) en een westelijke variant (bij Kruiningen) van het Overschelde kanaal kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Om bij Bath en Antwerpen dezelfde verlaging van de waterstand te krijgen moet in de Overschelde het maximale debiet bij de westelijke variant ongeveer 50% groter zijn dan nodig is bij de oostelijke variant (tabel 7.1).
- Bij een zelfde maximaal debiet door de Overschelde zal de waterstandsverlaging bij Bath bij de westelijke variant dus 33% kleiner zijn dan bij de oostelijke variant (tabel 7.2).

Voor een storm met voorkomen van 1:4000 jaar met als uitgangspunt een verlaging van de maximale waterstanden bij Bath met 0,66 m gelden de volgende kerngetallen:

Uitgangspunt dh Bath= -0.66 m	Oostelijke variant (Bath)	Westelijke variant (Kruiningen)
storm	1:4000 jaar	1:4000 jaar
Grootte overlaat	NAP-4m en 500 m breed	NAP-5m en 740 m breed
Verlaging Hansweert	-0.32 m	-0.50 m
Uitgangspunt dh Bath	-0.66 m	-0.66 m
Verlaging Antwerpen	-0.66 m	-0.68 m
Verhoging Stavenisse	+1.67 m	+2.30 m
Maximaal debiet kanaal	21500 m ³ /s	32000 m ³ /s
Minimale afmeting kanaal (onder NAP)	5300 m ²	7500 m ²
Maximale snelheid Kanaal bij min afmetingen	2 m/s tot 2.5 m/s	2.3 m/s tot 2.7 m/s

Tabel 7.1 Kengetallen bij een verlaging bij Bath van 0,66 m

Uit tabel 7.1 komt naar voren dat bij eenzelfde verlaging in Bath de waterstandsverlaging in Hansweert 50 % groter is bij de westelijke variant ten opzichte van de oostelijke variant maar dat ook de waterstandsverhoging in Stavenisse 30% groter is en tevens een 50% groter debiet nodig is door de Overschelde. Bovendien nemen de stroomsnelheden in het kanaal bij gebruik van het minimale profiel ook toe.

Wanneer dezelfde storm wordt doorgerekend met als uitgangspunt een maximaal debiet van 22000 m³/s gelden de volgende kerngetallen:

Uitgangspunt max debiet= 22000 m ³ /s	Oostelijke variant (Bath)	Westelijke variant (Kruiningen)
storm	1:4000 jaar	1:4000 jaar
Grootte overlaat	NAP-4m en 532 m breed	NAP-5m en 448 m breed
Verlaging Hansweert	-0.34 m	-0.32 m
Verlaging Bath	-0.68 m	-0.41 m
Verlaging Antwerpen	-0.68 m	-0.42 m
Verhoging Stavenisse	+1.73 m	+1.78 m
Uitgangspunt maximaal debiet kanaal	22053 m ³ /s	22081 m ³ /s

Tabel 7.2 Kengetallen bij een maximaal debiet van 22000 m³/s

Uit tabel 7.2 komt naar voren dat bij eenzelfde debiet door de Overschelde de waterstandsverlaging in Hansweert ongeveer gelijk is bij beide varianten evenals de waterstandsverhoging bij Stavenisse. De waterstandsverlaging bij Bath en Antwerpen is bij de westelijke variant echter wel 40% kleiner dan bij de oostelijke variant.

- Het gewenste doorstroomoppervlak onder NAP van het Overschelde kanaal bedraagt bij een 1: 4000 storm voor de oostelijke variant ca. 5300 m² en voor de westelijke variant ca. 7500 m². Hierbij is uitgegaan van verschillende afmetingen van de overlaat in de Overschelde waarbij de verlaging van de waterstand in Bath ongeveer 0,66 m is (bij een ruim kanaal). De minimale afmetingen van het kanaal zijn de afmetingen waarbij de verlaging bij Bath nog maar 0,60 m is.
- Bij een kleiner doorstroomoppervlak van het kanaal wordt het kanaal (mede) maatgevend voor de waterstandsval, bij een groter oppervlak is de overlaat maatgevend. Dit laatste is vanuit morfologisch en veiligheidsoogpunt te prefereren.
- De relatie tussen de maximale waterstandsverlaging bij Bath, bij Hansweert en bij Antwerpen en het maximale debiet door de Overschelde is vrijwel lineair.
- Bij de oostelijke variant is de waterstandsverlaging bij Hansweert ongeveer 50% van de verlaging bij Bath
- Bij de westelijke variant is de waterstandsverlaging bij Hansweert ongeveer 75 % van de verlaging bij Bath.

De oostelijke variant (kanaal bij Bath) is effectiever dan de westelijke variant (kanaal bij Kruiningen). De redenen hiervoor zijn:

- Een gelijke waterstandsverlaging op het traject Bath tot Antwerpen vraagt bij de westelijke variant ca. 50 % meer debiet door de Overschelde dan bij de oostelijke variant. De afmetingen van het Overschelde kanaal en de belasting op de Oosterschelde neemt evenredig toe.
- Op het traject westelijk van Bath geeft de westelijke variant weliswaar een grotere waterstandsverlaging (Hansweert ± 50 % groter, Ellewoutsdijk ± 100 % groter), maar deze meerwaarde is slechts beperkt in verhouding tot het extra debiet (± 50 % groter) dat de westelijke variant vraagt.

LITERATUUR

- 1.1 Berekeningen Kreekrak met het Delta 2 model, *in opdracht van RIKZ*, Ingenieursbureau Svašek BV, 01350/1195, juli 2001
- 1.2 Brochure De Overschelde, veiligheid in een stroomversnelling, Royal Haskoning, april 2002
- 1.3 Haalbaarheidsstudie Overschelde, Veiligheidsdenken in een stroomversnelling!, *in opdracht van Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap; Administratie Waterwegen en Zeewezen (AWZ), Afdeling Zeeschelde*, Royal Haskoning, 9M4249.A0/R00001/CVH/Nijm, mei 2003
- 1.4 Steekkaart Overschelde, Beschrijving te onderzoeken maatregelen en projecten, Projectorganisatie ProSes, versie 09-05-2003
- 1.5 Herstel Kreekrak, Pilot-onderzoek naar een overloop tussen de Wester- en Oosterschelde deel 1, RIKZ Middelburg, Notanummer RIKZ/AB/2001.837x
- 2.1 Bouw IMPLIC model Oosterschelde, Deltadienst, ca. 1980
- 2.2 Herziening Eendimensionaal Getijmodel Oosterschelde, RWS, DGW, Afdeling WTV, DDWT-84.024, november 1984
- 2.3 Gebruikersdocumentatie ZWENDL, RWS, RIZA, maart 1991

LIJST BIJLAGEN

- 1.1 Ligging Overscheldekanaal bij Kruiningen
- 1.2 Ligging Overscheldekanaal bij Bath

- 3.1 Delta 2 model, overzicht
- 3.2 Delta 2 model, detail Bath
- 3.3 Delta 2 model, detail Kruiningen
- 3.4 Randvoorwaarden 1:4000 storm

Variatie afmetingen overlaat

- 4.2.1 Oostelijke variant, waterstandsverlaging Hansweert
- 4.2.2 Oostelijke variant, waterstandsverlaging Bath
- 4.2.3 Oostelijke variant, waterstandsverlaging Antwerpen
- 4.2.4 Oostelijke variant, waterstandsverhoging Stavenisse
- 4.2.5 Oostelijke variant, maximaal debiet Overschelde kanaal
- 4.2.6 Oostelijke variant, maximale stroomsnelheden Overschelde kanaal
- 4.2.7 Westelijke variant, maximale stroomsnelheden overlaat

Variatie afmetingen kanaal

- 4.3.1 Oostelijke variant, waterstandsverlaging Hansweert
- 4.3.2 Oostelijke variant, waterstandsverlaging Bath
- 4.3.3 Oostelijke variant, waterstandsverlaging Antwerpen
- 4.3.4 Oostelijke variant, waterstandsverhoging Stavenisse
- 4.3.5 Oostelijke variant, maximaal debiet Overschelde kanaal
- 4.3.6 Oostelijke variant, maximale stroomsnelheden Overschelde kanaal

Variatie afmetingen overlaat

- 5.2.1 Westelijke variant, waterstandsverlaging Hansweert
- 5.2.2 Westelijke variant, waterstandsverlaging Bath
- 5.2.3 Westelijke variant, waterstandsverlaging Antwerpen
- 5.2.4 Westelijke variant, waterstandsverhoging Stavenisse
- 5.2.5 Westelijke variant, maximaal debiet Overschelde kanaal
- 5.2.6 Westelijke variant, maximale stroomsnelheden Overschelde kanaal
- 5.2.7 Westelijke variant, maximale stroomsnelheden overlaat

Variatie afmetingen kanaal

- 5.3.1 Westelijke variant, waterstandsverlaging Hansweert
- 5.3.2 Westelijke variant, waterstandsverlaging Bath
- 5.3.3 Westelijke variant, waterstandsverlaging Antwerpen
- 5.3.4 Westelijke variant, waterstandsverhoging Stavenisse
- 5.3.5 Westelijke variant, maximaal debiet Overschelde kanaal
- 5.3.6 Westelijke variant, maximale stroomsnelheden Overschelde kanaal

- 6.1 Waterstandsverlaging Bath vs. debiet Overschelde kanaal
- 6.2 Waterstandsverlaging Hansweert vs. debiet Overschelde kanaal
- 6.3 Waterstandsverlaging Bath vs. waterstandsverlaging Hansweert
- 6.4 Waterstandsverlaging Bath vs. maximale stroomsnelheden kanaal
- 6.5 Waterstandsverlaging Hansweert vs. maximale stroomsnelheden kanaal
- 6.6 Waterstandsverlaging Bath vs. waterstandsverlaging Antwerpen

BIJLAGEN

