

**Volkeraksluizen - effect
zoutdrempel op scheepvaart**



Volkeraksluizen - effect zoutdrempel op scheepvaart

ir. T.H.G. Jongeling

1205487-000

Titel

Volkeraksluizen - effect zoutdrempel op scheepvaart

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat

Project

1205487-000

Kenmerk

1205487-000-HYE-0004

Pagina's

69

Trefwoorden

Schutsluizen, zoutdrempel, varen door discontinuïteit, numerieke simulatie, waterbeweging door varende schepen, kielspeling, capaciteit schutsluizen.

Samenvatting

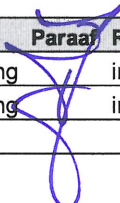
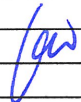
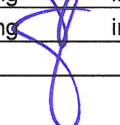
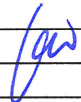

In de toekomst zal ter verbetering van de waterkwaliteit mogelijk zout water worden toegelaten op het Volkerak-Zoommeer. Hierdoor zal het meer verzilten. De Volkeraksluizen zullen dan weer, net als vroeger, op de scheiding van zout en zoet water komen te liggen. De zoutlast op het Hollandsch Diep ten gevolge van het schutten van schepen dient echter zeer beperkt te blijven. Om die reden worden zoutremmende maatregelen onderzocht en voorbereid. Tot het pakket van mogelijke maatregelen behoort de aanleg van een 'zoutdrempel' in elk van de drie scheepvaartsluizen van het Volkerak sluisencomplex.

In opdracht van Rijkswaterstaat is met behulp van het simulatieprogramma WAROS nagegaan of het aanbrengen van een zoutdrempel aan Hollandsch-Diepzijde van de sluisen tot vertraging bij in- en uitvaart van de schepen kan leiden.

Referenties

Offertebrief Deltares d.d. 11 oktober 2011 met kenmerk 1205487-000-HYE-0001

Opdrachtbrief RWS d.d. 18 oktober 2011, bestelnummer 4500186131

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
01	nov. 2011	ir. T.H.G. Jongeling		ir. O. Weiler		ir. K.J. Bos	
02	dec.2011	ir. T.H.G. Jongeling		ir. O. Weiler		ir. K.J. Bos	

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Vraagstelling en opdracht	1
1.3 Uitvoering	1
2 Berekeningen met het programma WAROS	3
2.1 Het rekenprogramma WAROS	3
2.2 Uitgangspunten voor de WAROS berekeningen	4
2.3 Lay-out van het sluisencomplex en schematisatie van de vaarweg in WAROS	4
2.4 Geselecteerde scheepstypen	8
2.5 Vaarscenario's bij invaren en uitvaren	9
2.6 Programma van WAROS-berekeningen	10
3 Resultaten WAROS-berekeningen en analyse	15
3.1 Uitvaren van de Volkeraksluizen	15
3.2 Uitvaren van de Volkeraksluizen – nadere beschouwing	21
3.3 Invaren van de Volkeraksluizen	25
3.4 Invaren van de Volkeraksluizen – nadere beschouwing	26
4 Samenvatting en conclusies	29
 Bijlage(n)	
A Resultaten WAROS-berekeningen in grafiekvorm	A-1
B Scheepvaartgegevens Volkeraksluizen, jaar 2008	B-1
C Selectie van berekeningsresultaten WAROS in tabelvorm	C-1

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Om de kwaliteit van het water in het Volkerak-Zoommeer te verbeteren wordt overwogen om een gedempte getijbeweging vanuit de Oosterschelde op het meer toe te laten. Hierdoor zal het meer verzilten. De Volkeraksluizen zullen dan weer, net als vroeger, op de scheiding van zout en zoet water (in het Hollandsch Diep) komen te liggen. De zoutlast op het Hollandsch Diep ten gevolge van het schutten van schepen dient echter zeer beperkt te blijven. Om die reden worden zoutremmende maatregelen onderzocht en voorbereid. Tot het pakket van mogelijke maatregelen behoort de aanleg van een 'zoutdrempel' in elk van de drie scheepvaartsluizen van het Volkerak sluisencomplex. De beoogde zoutdrempels zullen beweegbaar zijn, maar zullen bij voorkeur alleen worden neergelaten in situaties waarbij diep stekende schepen de sluis moeten passeren. De drempels zullen aan de zijde van het Hollandsch Diep worden aangelegd, waarschijnlijk in de sluiscolk direct vóór het sluishoofd aan Hollandsch-Diepzijde. Ze zullen dan op het niveau van de kolkvloer worden geplaatst.

1.2 Vraagstelling en opdracht

In het verleden heeft Deltares (toen nog WL | Delft Hydraulics) door middel van berekeningen met het programma WAROS onderzocht of er effecten van de zoutdrempels op de scheepvaart zijn te verwachten bij invaren en uitvaren van de kolk [WL | Delft Hydraulics (2007)]. Omdat de Volkerak schutsluizen intensief gebruikt worden was met name de vraag van belang of de zoutdrempels oorzaak kunnen zijn van vertraging in de afhandeling van de schepen.

Thans heeft Rijkswaterstaat - Dienst Verkeer en Scheepvaart aan Deltares gevraagd om het vroegere onderzoek te verbreden door meer, brede scheepstypen in beschouwing te nemen, en daarbij ook de waterstand en de drempelhoogte te variëren. Dit aanvullende onderzoek dient per beschouwd scheepstype inzicht te geven in de vraag bij welke waterstand, drempelhoogte en diepgang vertraging kan ontstaan.

Het gevraagde onderzoek is door Deltares aangeboden door middel van brief d.d. 11 oktober 2011 met kenmerk 1205487-000-HYE-0001, en is door de Waterdienst van Rijkswaterstaat opgedragen met brief d.d. 18 oktober 2011, bestelnummer 4500186131.

1.3 Uitvoering

Het werk is uitgevoerd in de maand november 2011. Op 31 oktober 2011 heeft een startoverleg plaats gevonden bij RWS-DVS te Delft; hierbij waren aanwezig de begeleiders namens RWS, Drs. O.C. Koedijk en Ir. J.W. Vreugdenhil, en de projectleider namens Deltares, Ir. T.H.G. Jongeling. Op dit overleg zijn nadere afspraken gemaakt over het eerste deel van het programma van WAROS-berekeningen. De resultaten van deze eerste serie berekeningen zijn besproken op het overleg van 21 november bij DVS, waarna in gezamenlijk overleg het resterende tweede deel van het programma is vastgesteld. De WAROS berekeningen zijn uitgevoerd door Ing. J. Crebas. De analyse en rapportage is verzorgd door Ir. T.H.G. Jongeling.

2 Berekeningen met het programma WAROS

2.1 Het rekenprogramma WAROS

WAROS is een rekenprogramma, waarmee de vaarsnelheidsverandering en de inzinking van een schip bij de passage van een vernauwing in een waterloop of bij het invaren in een sluis kan worden berekend, alsmede de door het schip opgewekte golven en stromingen. In de waterloop mag een stationaire stroming aanwezig zijn.

Het programma is één-dimensionaal van opzet. Alle dwarsprofielen van de vaarweg worden vertaald naar een 'natte' doorsnede als functie van de langskoördinaat x . Met de eventuele effecten als gevolg van asymmetrie in de vaarweg wordt geen rekening gehouden. Stroomsnelheid en retourstroomsnelheid zijn profielgemiddelde grootheden.

Het programma WAROS berekent in de tijd de scheepspositie en de waterbeweging rond het schip. De uitgangspunten van het rekenprogramma zijn:

- De waterbeweging wordt beschreven met één-dimensionale vergelijkingen voor lange golven. De vaarweg wordt gediscrètiseerd door middel van een aantal roosterpunten. In deze roosterpunten worden de impuls- en continuïteitsvergelijkingen opgesteld. In een roosterpunt kan zich gedurende enige tijd het varende schip bevinden. In de roosterpunten in de nabijheid van het schip wordt rekening gehouden met lokale invloeden zoals opstuwing, wrijving op de huid van het schip, vertragingverliezen achter het schip, en schroefkrachten.
- De beweging van het schip wordt beschreven met vergelijkingen voor translatie in langsrichting (schrikken), translatie in verticale richting (dompen) en rotatie in het verticale vlak (stampen). Hierbij wordt rekening gehouden met massa-traagheidskrachten van het schip en van het water, weerstandskrachten, schroefkrachten en waterstandsverloop rond het schip.
- De vaarweg bestaat uit een aaneenschakeling van secties met verschillende, op te geven dwarsprofielen (bijvoorbeeld een trapeziumvormig, prismatisch kanaal met aansluitend een schutsluis met rechthoekige dwarsdoorsnede). In de vaarweg mag een stationaire stroming aanwezig zijn.
- De vorm van het schip wordt beschreven met behulp van een aantal dwarsprofielen verdeeld over de lengte van het schip.
- Het door de schipper toegepaste vermogen van de schroef wordt als functie van de tijd of van de scheepspositie (langs de x -as) opgegeven.

Oplossing van het stelsel vergelijkingen levert een set data als functie van tijd en plaats, waaronder de positie van het hek van het schip in de vaarweg, de vaarsnelheid van het schip, de inzinking van boeg, hek en zwaartepunt van het schip, de vertrimming van het schip, de minimaal aanwezige kielspeling onder het schip, het toegepaste motorvermogen, en de waterspiegelbeweging en stroomsnelheid in een zestal op te geven locaties.

Het programma WAROS is gevalideerd aan de hand van metingen in schutsluizen. Ook zijn WAROS berekeningsresultaten vergeleken met metingen in een schaalmodel. In het betreffende gebied van randvoorwaarden waren de rekenresultaten bevredigend.

2.2 Uitgangspunten voor de WAROS berekeningen

WAROS-berekeningen voor de Volkeraksluizen zullen worden gemaakt voor de situatie dat schepen vanaf de Hollandsch-Diepzijde invaren of naar het Hollandsch Diep uitvaren. Het effect van de aan Hollandsch-Diepzijde aan te leggen zoutdrempel zal met deze berekeningen worden bepaald. De belangrijkste variabelen in de berekeningen zijn de waterstand aan de zijde van het Hollandsch Diep, het type schip, de diepgang, het vaarscenario bij invaren of uitvaren van de kolk, en de hoogte van de zoutdrempel. In het programma van berekeningen ligt de nadruk op het uitvaren van een schip, omdat een remmend effect van de zoutdrempel bij een uitvarend en versnellend schip tot grotere vertraging leidt dan bij een invarend schip dat al bezig is vaart te minderen.

De waterstand op het Hollandsch Diep varieert als regel tussen NAP+0,3 m en NAP+0,7 m. Om de berekeningen te laten aansluiten op de vroeger uitgevoerde berekeningen [WL | Delft Hydraulics (2007)] is een waterstand van NAP+0,4 m gekozen als basiswaterstand. Daarnaast is ook een lagere waterstand van NAP+0,16 m gehanteerd, zijnde de Overeengekomen Lage Waterstand (OLW) op locatie Rak Noord in het Benedenrivierengebied.

Het ontwerp van de beweegbare zoutdrempel ligt nog niet vast; mogelijk wordt voor een op de bodem scharnierende klep gekozen, die wordt ondersteund door een opblaasbare balg. Het is de bedoeling dat de zoutdrempel in de hoogste stand niet boven een niveau van NAP-4,95 m uitkomt (maat gebaseerd op een extreem lage waterstand van NAP-0,25 m, een vaardiepte van 4,0 m en een kielspeling van 0,7 m). Het niveau van NAP-4,95 m is in de berekeningen als kruinhoogte van de zoutdrempel aangehouden. De kruinhoogte is ook enigszins gevarieerd om inzicht te krijgen in de effecten van verandering van hoogte. Als referentie situatie is de huidige situatie, zonder beweegbare zoutdrempel, gehanteerd (0-variant).

Bij het invaren en uitvaren zijn verschillende scenario's voor wat betreft het ingezette motorvermogen als functie van de plaats van het schip gebruikt. Deze vaarscenario's, aangeduid met de letters A, B, C (allen uitvaren) en D (invaren), zijn overgenomen uit de vroegere studie [WL | Delft Hydraulics (2007)]. Tevens zijn twee extra scenario's, aangeduid met de letters L (uitvaren) en V (invaren), met lager ingezet motorvermogen gehanteerd.

De lay-out van de sluis en de voorhaven zijn eveneens hetzelfde gehouden als in de vroegere studie.

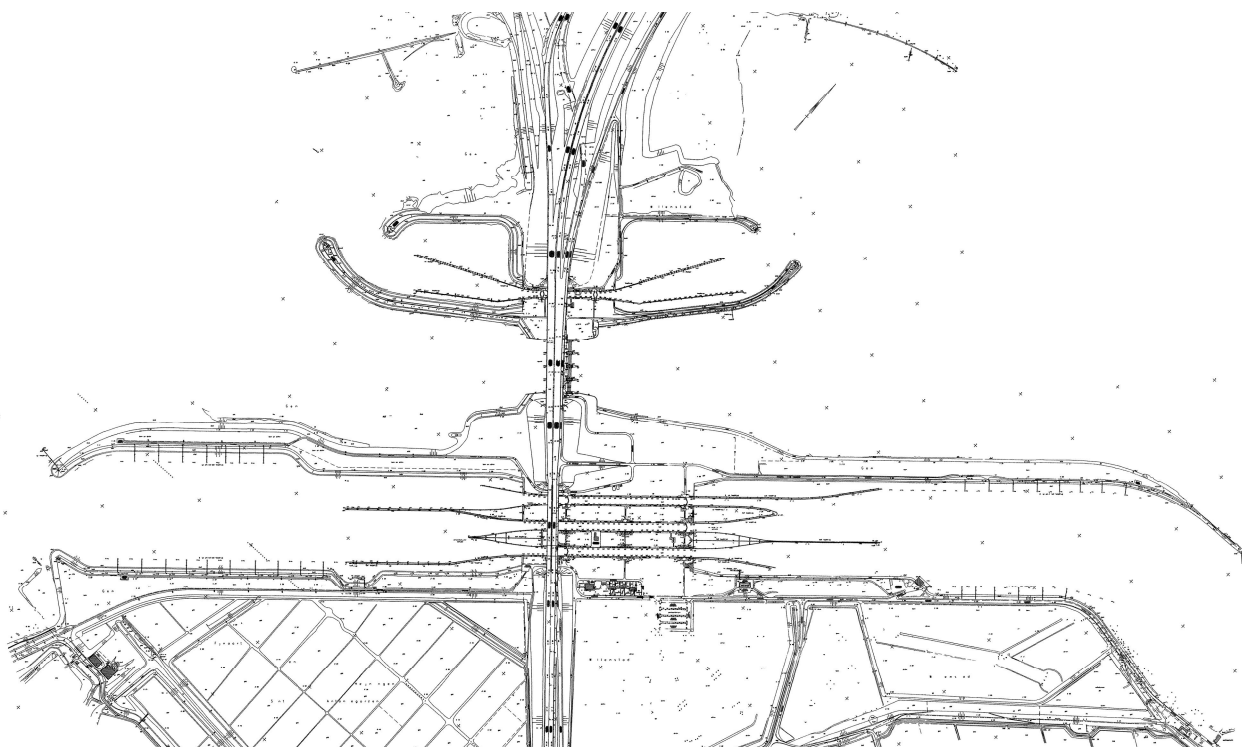
Hieronder worden de uitgangspunten nader toegelicht.

2.3 Lay-out van het sluisencomplex en schematisatie van de vaarweg in WAROS

Het Volkerak sluisencomplex bestaat uit drie sluisen voor de beroepsvaart, een jachtensluis en een spuisluis, zie Figuur 2.1. De drie beroepsvaartsluizen liggen zij aan zij naast elkaar, tegen de Brabantse oever, en worden aan de andere zijde afgeschermd door een strekdam. Op deze wijze worden relatief lange voorhavens gevormd met een lengte van ca. 1 km, zowel aan de zijde van het Hollandsch Diep als aan de zijde van het Volkerak, met een breedte van ca. 250 m. In de voorhaven aan de Hollandsch-Diepzijde is in het verlengde van het tusseneiland tussen oostsluis en middensluis een scherm aangebracht, in de voorhaven aan Volkerakzijde is een soortgelijk scherm in het verlengde van het tusseneiland tussen

westsluis en middensluis geplaatst. Regel is dat in alle drie sluisen afwisselend opwaarts en neerwaarts wordt geschut.

De kolk van elk van de drie beroepsvaartsluizen heeft een bruto lengte (hart op hart deuren) van 345 m en een breedte van 24,0 m; de vloer bevindt zich op NAP -7,5 m, de bovenkant van de drempels met aanslag voor de puntdeuren bevindt zich op NAP -6,25 m; het kolkvolume bij een waterstand van NAP bedraagt ca. 62.000 m³. Alle sluisen zijn voorzien van dubbele puntdeuren (voor keren positief en negatief verval). De oostsluis en middensluis hebben bovendien een tussenhoofd met dubbele puntdeuren, halverwege de kolk lengte. De deuren in het tussenhoofd kunnen bij weinig aanbod en kleine schepen worden gebruikt om het schutproces te verkorten en het waterverlies te beperken.

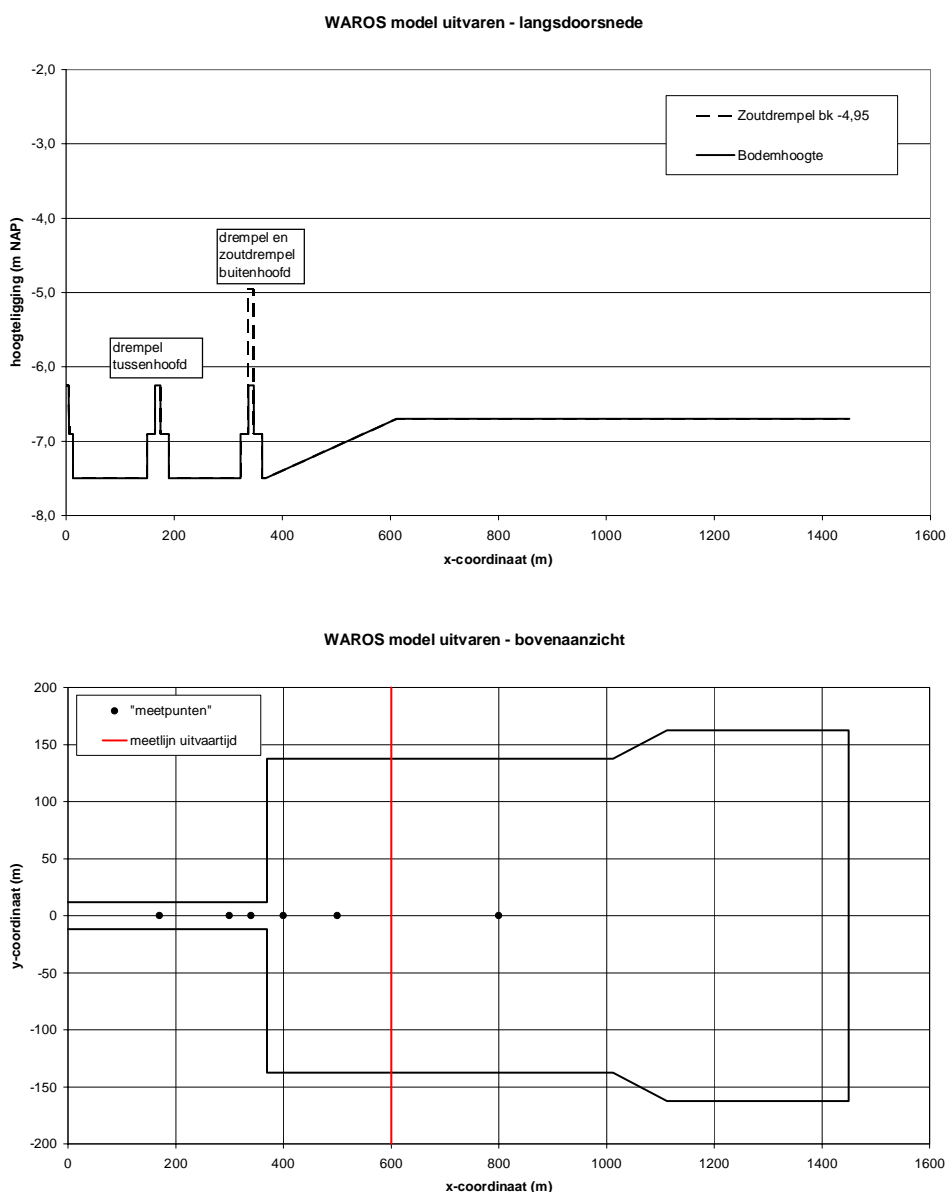


Figuur 2.1 Volkerak sluizencomplex

In de eerdere studie [WL | Delft Hydraulics (2007)] werd er vanuit gegaan dat zoutdrempels zouden worden aangebracht tussen de twee puntdeuren aan Hollandsch-Diepzijde. De opzet destijds was dat een vaste zoutdrempel met hoogte van 1,3 m op de bestaande drempel zou worden geplaatst (bovenkant zoutdrempel op NAP-4,95 m) en dat de zoutdrempel met behulp van een beweegbaar deel zou kunnen worden opgehoogd tot 2,6 m (bovenkant zoutdrempel op NAP-3,65 m). Zoals gezegd wordt in de huidige plannen gedacht aan een beweegbare zoutdrempel die op de kolkvloer wordt geplaatst, direct vóór het sluishoofd. De bovenkant bevindt zich in hoogste stand op NAP-4,95 m en kan, indien de diepgang van schepen dit vereist, worden neergelaten.

In de WAROS-berekeningen wordt uitgegaan van een enkele schutkolk, die aan de zijde van het Hollandsch Diep in open verbinding staat met de voorhaven. De toeleidingsschermen / remmingwerken bij de sluisen bestaan uit palenrijen met schotten; de schotten reiken tot een diepte van NAP-3,0 m, zo'n 4 à 5 m boven de lokale bodem. In de WAROS-berekeningen wordt er vanuit gegaan dat de schermen geheel open zijn, waardoor de volle breedte van de

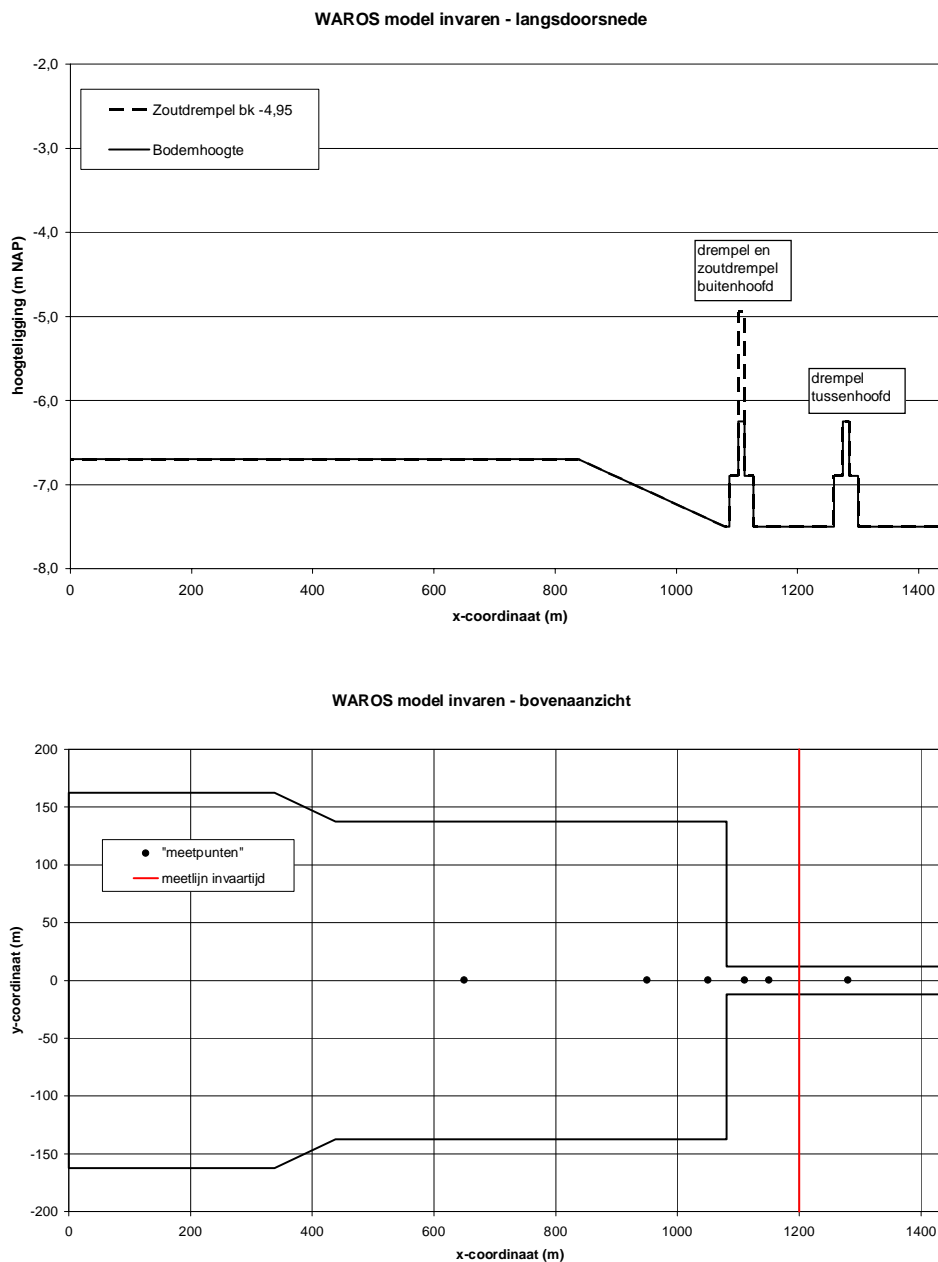
voorhaven meedoet in de berekening (ongunstig uitgangspunt omdat de sterke verandering van het dwarsprofiel bij invaren of uitvaren van de kolk in dat geval geheel wordt verdisconteerd). Omdat WAROS is gebaseerd op eendimensionale vergelijkingen, sluit een geometrie die symmetrisch is ten opzichte van de as van de vaarbaan, het beste aan bij de uitgangspunten van het programma. Dit leidt dan tot de keuze om de middelste kolk in het rekenmodel op te nemen. De ruimte in de voorhaven ter weerszijden van de buitenste kolken is evenwel zo groot dat effecten door asymmetrie waarschijnlijk gering zijn. Aangenomen mag daarom worden dat de WAROS resultaten ook van toepassing zijn op de buitenste twee kolken. De geometrie zoals die in de WAROS berekeningen is gehanteerd bij uitvaren is in Figuur 2.2 in bovenaanzicht en als langsdoorsnede weergegeven. De totale lengte van het model bedraagt 1450 m.



Figuur 2.2 Schematisatie Volkeraksluis en voorhaven t.b.v. WAROS berekeningen voor uitvaren van een schip uit de kolk; boven: langsdoorsnede, onder: bovenaanzicht (de kolk bevindt zich in het traject $0 < x < 370$ m)

De zoutdrempel wordt tussen de puntdeuren, op de drempel in het open sluishoofd geplaatst. Dit is niet conform de huidige plannen, maar deze geometrie sluit aan bij de voorgaande berekeningen [WL | Delft Hydraulics (2007)], en is acceptabel omdat het effect van verplaatsen van de zoutdrempel naar een locatie direct naast het sluishoofd gering is.

De toegepaste geometrie bij uitvaren is weergegeven in Figuur 2.3. De totale lengte van het model bedraagt 1450 m. De zoutdrempel bevindt zich tussen de puntdeuren, op de drempel in het open sluishoofd.



Figuur 2.3 Schematisatie Volkeraksluis en voorhaven t.b.v. WAROS berekeningen voor invaren van een schip in de kolk; boven: langsdoorsnede, onder: bovenaanzicht (kolk bevindt zich in het traject $1080 < x < 1450$ m)

De vaarbeweging wordt beschreven langs de x-as van een x-y assenstelsel. De oorsprong van het assenstelsel ligt bij uitvaarberekeningen in het vlak van de gesloten achterzijde van de sluis, bij invaarberekeningen aan het begin van de voorhaven. De positieve x-as wijst in de vaarrichting van het schip. De vaarsnelheid en de (retour)stroomsnelheid zijn positief bij varen respectievelijk stromen in de richting van de positieve x-as.

In de WAROS-berekeningen worden op zes verschillende locaties de doorsnede-gemiddelde stroomsnelheden en waterstanden bepaald. Deze locaties zijn in Figuur 2.2 en Figuur 2.3 aangegeven met "meetpunten". De locaties bij uitvaren zijn gekozen als $x = 170, 300, 340, 400, 500,$ en 800 m. Locaties $x = 340$ m en $x = 400$ m bevinden zich ter weerszijden van de zoutdrempel. De locaties bij invaren zijn gekozen als $x = 650, 950, 1050, 1110, 1150$ en 1280 m. In dit geval bevinden locaties $x = 1050$ m en $x = 1110$ m zich ter weerszijden van de zoutdrempel.

De lijn "meetlijn invaren / uitvaren" in Figuur 2.2 en Figuur 2.3 is de lijn die wordt gehanteerd voor het bepalen van de invaartijd, respectievelijk de uitvaartijd van het schip (zie Hoofdstuk 3 voor toelichting).

2.4 Geselecteerde scheepstypen

Door de beheerder van de Volkeraksluizen wordt nauwkeurig bijgehouden hoeveel schepen en welke typen schepen de sluisen passeren. Daarbij wordt ook de actuele diepgang van de schepen genoteerd. Uit deze boekhouding blijkt bijvoorbeeld dat een groot deel van de schepen een diepgang kleiner dan 3,0 m heeft, maar schepen met een diepgang tussen 4,5 m en 4,8 m maken ook gebruik van de sluisen.

In 2008 passeerde een totaal aantal van rond de 110.000 vrachtschepen de sluisen (ongeveer even veel schepen in noord-zuid richting als in zuid-noord richting, zie overzicht in Bijlage B, Tabel B-1). Het aandeel brede duwstelen en koppelverbanden was daarbij relatief klein, maar de prognose is dat beide categorieën zowel in absolute aantallen als relatief, ten opzichte van het totale scheepsaanbod, zullen groeien. In de huidige studie is de aandacht vooral op de brede schepen gericht.

De opdrachtgever heeft uit de sluisgegevens van de jaren 2006-2010 de schepen breder dan 19 m geselecteerd. Daaruit blijkt dat in het jaar 2008 een aantal van ca 3000 brede schepen passeerden, 2,5% van het totaal (zie Bijlage B, Tabel B-2). Aan de hand van deze selectie is de volgende keuze gemaakt voor in de WAROS-berekeningen te beschouwen scheepstypen: een 4-baks duwstel (2×2 , bakken Europa Ila met diepgang van 4,0 m), een 4-baks duwstel (2×2 , bakken Europa Ila met diepgang van 4,3 m), een breed 2-baks duwstel (2 bakken naast elkaar, bakken Europa Ila met diepgang van 4,5 m), en een koppelverband (brede configuratie, klasse Va schip met diepgang van 3,7 m + 3 bakken Europa Ila met diepgang van 4,0 m). Als bijzonder en groot schip is de tanker Vorstenbosch met diepgang van 4,75 m opgenomen in het programma.

In de vroegere studie [WL | Delft Hydraulics (2007)] zijn reeds de volgende scheepstypen beschouwd: Rijn-Hernekanaal schip, Groot Rijnschip, een lang 2-baks duwstel (2 bakken achter elkaar, bakken Europa Ila met diepgang van 4,0 m), en een breed 2-baks duwstel (2 bakken naast elkaar, bakken Europa Ila met diepgang van 4,0 m).

In de volgende tabel zijn de afmetingen en motorvermogens van de voor de berekeningen geselecteerde schepen bij elkaar geplaatst.

Scheepsklasse (CEMT / RWS)	Benaming	Totale lengte (m)	Breedte (m)	Diepgang in berekening (m)	Opgesteld motor- vermogen (kW)
IVa / M6	Rijn-Herne schip	79	9,5	3,2	515 (700 pk)
Va / M8	Groot Rijnschip	110	11,4	3,7	1363 (1855 pk)
Vb / BII-2I	2-baks duwstel lang	189	11,4	4,0	1544 (2100 pk)
Vla / BII-2b	2-baks duwstel breed	114	22,8	4,0	1544 (2100 pk)
Vla / BII-2b	2-baks duwstel breed	140	22,8	4,5	1838 (2500 pk)
Vlb / BII-4	4-baksduwstel	190	22,8	4,0	3676 (5000 pk)
Vlb / BII-4	4-baksduwstel	190	22,8	4,3	4044 (5500 pk)
Vlb / C4	Koppelverband	185	22,8	3,7 / 4,0	1470 (2000 pk)
	Tanker Vorstenbosch	147	22,8	4,75	4473 (6084 pk)

Tabel 2.1 Geselecteerde scheepstypen voor WAROS-berekeningen met afmetingen

In de WAROS-berekeningen wordt er vanuit gegaan dat de kielspeling boven de zoutdrempel minimaal 0,75 m dient te bedragen bij stilliggend schip. In het geval dat de kielspeling kleiner is dan 0,75 m wordt de kruin van de zoutdrempel precies zoveel verlaagd als nodig is om de gewenste kielspeling van 0,75 m te verkrijgen.

2.5 Vaarscenario's bij invaren en uitvaren

Om schade te voorkomen zullen schippers in het algemeen zeer beheerst de kolk invaren en uitvaren. Bij invaren wordt flink vertraagd, bij uitvaren wordt slechts een deel van het motorvermogen gebruikt.

In de WAROS-berekeningen wordt van verschillende vaarscenario's uitgegaan, zie Tabel 2.2. Bij uitvaren wordt steeds verondersteld dat het schip achter in de kolk ligt (met het hek van het schip op 30 m vanaf de gesloten deuren); eventuele andere schepen zijn reeds uitgevaren. Het schip kan daardoor in de kolk al vaart maken. Na passage van het open sluishoofd, met het hek van het schip op $x_{\text{hek}} = 350$ m, wordt overgeschakeld naar een hoger vermogen. In scenario A wordt beheerst uitgevaren; scenario B betreft een snelle uitvaart, scenario C een zeer snelle uitvaart, en scenario L een langzame uitvaart.

Bij invaren vanuit de voorhaven ligt het hek van het schip op 30 m vanaf de rand van het model, op ca. 1400 m vanaf de gesloten deuren van de sluis. In de kolk bevinden zich geen andere schepen. Scenario D betreft een relatief snel invaren van de kolk (mat name geldt dit voor grote schepen met groot vermogen); pas nadat de achtersteven de lijn $x = 1000$ m is gepasseerd wordt teruggeschakeld naar een lager vermogen. De voorsteven van de lange scheepscombinaties bevindt zich dan al in de kolk. In scenario V wordt langzamer opgevaren naar de sluis en wordt ook eerder teruggeschakeld naar een lager vermogen. Terugschakelen gebeurt bij passage van de achtersteven van de lijn $x = 800$ m; de scheepscombinatie bevindt zich dan nog geheel buiten de sluis. De berekeningen worden gestopt op het moment dat de voorsteven van het schip de gesloten deur nadert.

Zoals uit de berekeningsresultaten zal blijken resulteren invaarscenario's D en V nog in hoge vaarsnelheden op het moment van passeren van de zoutdrempel. Als regel zullen de vaarsnelheden lager zijn en daarmee ook de effecten als gevolg van de zoutdrempel kleiner.

Positie hek schip	Toegepast motorvermogen in % van opgesteld motorvermogen			
Uitvaren	<i>Scenario L</i>	<i>Scenario A</i>	<i>Scenario B</i>	<i>Scenario C</i>
start $x_{\text{hek}} = 30$ m	10%	20%	30%	50%
$x_{\text{hek}} = 350$ m	30%	40%	60%	80%
Invaren	<i>Scenario D</i>			
start $x_{\text{hek}} = 30$ m	40%			
$x_{\text{hek}} = 1000$ m	20%			
Invaren	<i>Scenario V</i>			
start $x_{\text{hek}} = 30$ m	30%			
$x_{\text{hek}} = 800$ m	10%			

Tabel 2.2 Vaarscenario's toegepast in WAROS berekeningen

2.6 Programma van WAROS-berekeningen

Het programma van WAROS-berekeningen is in overleg met de opdrachtgever opgesteld. Eerst is een programma van 22 berekeningen afgesproken. Aan de hand van de resultaten van deze eerste serie is het resterende deel van het programma ingevuld. In onderstaande tabellen wordt een overzicht gegeven van de uitgevoerde berekeningen bij uitvaren en invaren. De in de vroegere studie [WL | Delft Hydraulics (2007)] uitgevoerde berekeningen zijn eveneens, *in cursieve letter*, in de tabellen opgenomen.

Berekeningen uitvaren vroegere studie:

Berekening	Waterstand Hollands Diep (m NAP)	Kruinhoogte zoutdrempel (m NAP)	Breedte schip (m)	Vaarscenario
<i>Rijn-Herne schip, diepgang 3,2 m</i>				
<i>UitRHK1A</i>	<i>+0,40</i>	<i>geen drempel</i>	<i>9,5</i>	<i>A</i>
<i>UitRHK1B</i>	<i>+0,40</i>	<i>geen drempel</i>	<i>9,5</i>	<i>B</i>
<i>UitRHK1C</i>	<i>+0,40</i>	<i>geen drempel</i>	<i>9,5</i>	<i>C</i>
<i>UitRHK3A</i>	<i>+0,40</i>	<i>-3,65</i>	<i>9,5</i>	<i>A</i>
<i>UitRHK3B</i>	<i>+0,40</i>	<i>-3,65</i>	<i>9,5</i>	<i>B</i>
<i>UitRHK3C</i>	<i>+0,40</i>	<i>-3,65</i>	<i>9,5</i>	<i>C</i>
<i>Groot Rijnschip, diepgang 3,7 m</i>				
<i>UitGRS1A</i>	<i>+0,40</i>	<i>geen drempel</i>	<i>11,4</i>	<i>A</i>
<i>UitGRS1B</i>	<i>+0,40</i>	<i>geen drempel</i>	<i>11,4</i>	<i>B</i>
<i>UitGRS1C</i>	<i>+0,40</i>	<i>geen drempel</i>	<i>11,4</i>	<i>C</i>
<i>UitGRS2A</i>	<i>+0,40</i>	<i>-4,95</i>	<i>11,4</i>	<i>A</i>
<i>UitGRS2B</i>	<i>+0,40</i>	<i>-4,95</i>	<i>11,4</i>	<i>B</i>
<i>UitGRS2C</i>	<i>+0,40</i>	<i>-4,95</i>	<i>11,4</i>	<i>C</i>
<i>UitGRS3A</i>	<i>+0,40</i>	<i>-3,65</i>	<i>11,4</i>	<i>A</i>

<i>UitGRS3B</i>	+0,40	-3,65	11,4	B
<i>2-baks duwstel lang, diepgang 4,0 m</i>				
<i>UitDuw1B</i>	+0,40	<i>geen drempel</i>	11,4	B
<i>UitDuw1C</i>	+0,40	<i>geen drempel</i>	11,4	C
<i>UitDuw2B</i>	+0,40	-4,95	11,4	B
<i>2-baks duwstel breed, diepgang 4,0 m</i>				
<i>UitDub1B</i>	+0,40	<i>geen drempel</i>	22,8	B
<i>UitDub1C</i>	+0,40	<i>geen drempel</i>	22,8	C
<i>UitDub2B</i>	+0,40	-4,95	22,8	B
<i>UitDub2C</i>	+0,40	-4,95	22,8	C

Berekeningen uitvaren huidige studie:

Berekening	Waterstand Hollands Diep (m NAP)	Kruinhoogte zoutdrempel (m NAP)	Breedte schip (m)	Vaarscenario
<i>2-baks duwstel breed, diepgang 4,5 m</i>				
<i>Uit100L</i>	+0,40	<i>geen drempel</i>	22,8	L
<i>Uit100A</i>	+0,40	<i>geen drempel</i>	22,8	A
<i>Uit100B</i>	+0,40	<i>geen drempel</i>	22,8	B
<i>Uit110B</i>	+0,16	<i>geen drempel</i>	22,8	B
<i>Uit101L</i>	+0,40	-4,95	22,8	L
<i>Uit101A</i>	+0,40	-4,95	22,8	A
<i>Uit101B</i>	+0,40	-4,95	22,8	B
<i>Uit111B</i>	+0,16	-5,09	22,8	B
<i>4-baks duwstel, diepgang 4,0 m</i>				
<i>Uit200L</i>	+0,40	<i>geen drempel</i>	22,8	L
<i>Uit200A</i>	+0,40	<i>geen drempel</i>	22,8	A
<i>Uit200B</i>	+0,40	<i>geen drempel</i>	22,8	B
<i>Uit201L</i>	+0,40	-4,95	22,8	L
<i>Uit201A</i>	+0,40	-4,95	22,8	A
<i>Uit201B</i>	+0,40	-4,95	22,8	B

4-baks duwstel, diepgang 4,3 m				
Uit300L	+0,40	geen drempel	22,8	L
Uit300A	+0,40	geen drempel	22,8	A
Uit300B	+0,40	geen drempel	22,8	B
Uit310L	+0,16	geen drempel	22,8	L
Uit310A	+0,16	geen drempel	22,8	A
Uit301L	+0,40	-4,95	22,8	L
Uit301A	+0,40	-4,95	22,8	A
Uit301B	+0,40	-4,95	22,8	B
Uit311L	+0,16	-4,95	22,8	L
Uit311A	+0,16	-4,95	22,8	A
Uit312L	+0,16	-5,60	22,8	L
Uit312A	+0,16	-5,60	22,8	A
Koppelverband, diepgang 3,7 m / 4,0 m				
Uit400A	+0,40	geen drempel	22,8	A
Uit401A	+0,40	-4,95	22,8	A
Tanker Vorstenbosch, diepgang 4,75 m				
Uit500L	+0,40	geen drempel	22,8	L
Uit500A	+0,40	geen drempel	22,8	A
Uit510A	+0,16	geen drempel	22,8	A
Uit502L	+0,40	-5,10	22,8	L
Uit502A	+0,40	-5,10	22,8	A
Uit512A	+0,16	-5,34	22,8	A

Tabel 2.3 Overzicht van WAROS-berekeningen voor uitvaren

Berekeningen invaren vroegere studie:

Berekening	Waterstand Hollands Diep (m NAP)	Kruinhoogte zoutdrempel (m NAP)	Breedte schip (m)	Vaarscenario
<i>Groot Rijnschip</i>				
<i>InGRS1D</i>	<i>+0,40</i>	<i>geen drempel</i>	<i>11,4</i>	<i>D</i>
<i>InGRS2D</i>	<i>+0,40</i>	<i>-4,95</i>	<i>11,4</i>	<i>D</i>
<i>InGRS3D</i>	<i>+0,40</i>	<i>-3,65</i>	<i>11,4</i>	<i>D</i>

Berekeningen invaren huidige studie:

Berekening	Waterstand Hollands Diep (m NAP)	Kruinhoogte zoutdrempel (m NAP)	Breedte schip (m)	Vaarscenario
2-baks duwstel breed, diepgang 4,5 m				
In100V	+0,40	geen drempel	22,8	V
In100D	+0,40	geen drempel	22,8	D
In101V	+0,40	-4,95	22,8	V
In101D	+0,40	-4,95	22,8	D
4-baks duwstel, diepgang = 4,3 m				
In300V	+0,40	geen drempel	22,8	V
In300D	+0,40	geen drempel	22,8	D
In301V	+0,40	-4,95	22,8	V
In301D	+0,40	-4,95	22,8	D
Tanker Vorstenbosch, diepgang 4,75 m				
In500V	+0,40	geen drempel	22,8	V
In500D	+0,40	geen drempel	22,8	D
In502V	+0,40	-5,10	22,8	V
In502D	+0,40	-5,10	22,8	D

Tabel 2.4 Overzicht van WAROS-berekeningen voor invaren

3 Resultaten WAROS-berekeningen en analyse

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de WAROS-berekeningen gepresenteerd. Bij de interpretatie van de berekeningsresultaten wordt vooral gelet op de resterende kielspeling boven de beweegbare zoutdrempel en op eventuele vertragingen bij invaren en uitvaren. In deze studie wordt gekeken naar vertragingen die ontstaan bij varen over de zoutdrempel (in vergelijking tot de situatie zonder zoutdrempel) en vertragingen die het gevolg zijn van een lage waterstand op het Hollandsch Diep (in vergelijking tot de referentie-waterstand van NAP+0,40 m). Bij uitvaren wordt de vertraging gedefiniëerd op de lijn $x = 600$ m in de voorhaven, zie Figuur 2.2. Het is aannemelijk dat een wachtend schip pas kan gaan opvaren wanneer het uitvarende schip deze lijn is gepasseerd. Bij invaren wordt de vertraging gedefiniëerd op de lijn $x = 1200$ m in de kolk, zie Figuur 2.3; het invarende schip is dan in zijn geheel voorbij de zoutdrempel. In beide gevallen wordt gekeken naar het moment waarop het hek van het schip de meetlijn passeert.

Per scheepstype zijn grafieken gemaakt van de minimale kielspeling als functie van de positie x_{hek} van het schip (de kleinste kielspeling gezien langs de gehele lengte van het schip), de vaarsnelheid als functie van x_{hek} , en de vaarsnelheid als functie van de tijd. Uit de combinatie van de laatste twee soorten gegevens kan de vertraging worden afgeleid. De grafieken worden in Bijlage A getoond. Enkele geselecteerde berekeningsresultaten zijn in tabelvorm in Bijlage C opgenomen. Per scheepstype worden hieronder de resultaten besproken.

3.1 Uitvaren van de Volkeraksluizen

4-baks duwstel, $d = 4,3$ m

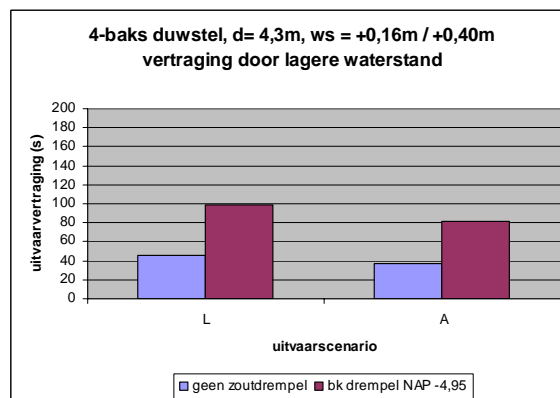
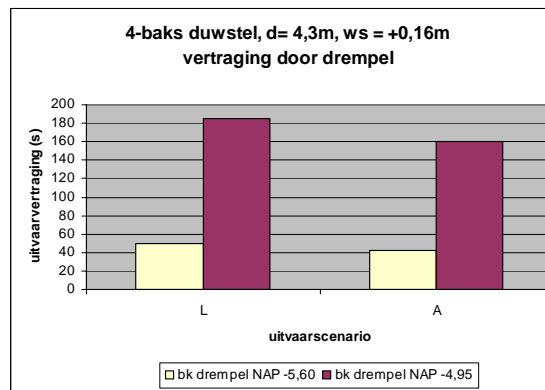
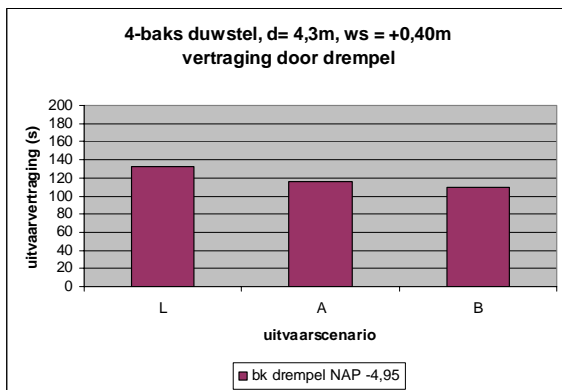
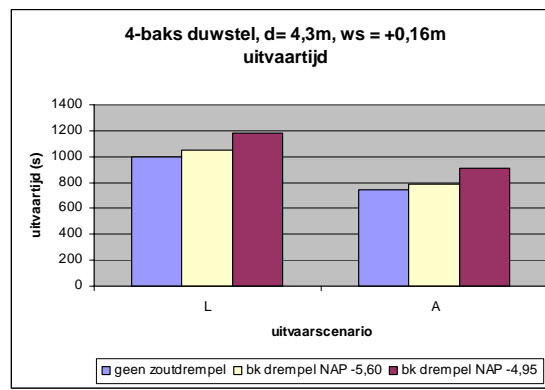
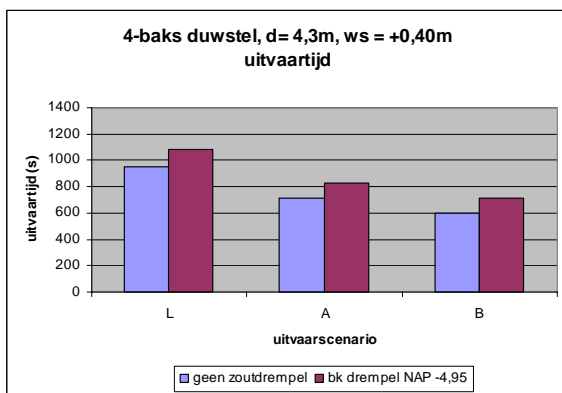
De meeste WAROS-berekeningen zijn gemaakt voor het 4-baks duwstel met diepgang van 4,3 m. Door zijn grote breedte van 22,8 m en grote diepgang neemt het 4-baks duwstel een groot deel van de natte doorsnede boven de zoutdrempel in beslag (de doorvaarbreedte in sluishoofd en kolk bedraagt 24,0 m). Het 4-baks duwstel ondervindt bij de overgang naar de veel wijdere voorhaven daardoor een sterke verandering in hydrodynamische condities. Er zijn twee zoutdrempelhoogtes doorgerekend: NAP-4,95 m en NAP-5,60 m.

Berekeningsresultaten in grafiekvorm zijn opgenomen in Bijlage A, pagina's A16-A17-A18. Zoals is te zien, pag. A16, blijft het 4-baks duwstel bij de doorgerekende situaties steeds vrij van de zoutdrempel (met bovenkant op NAP-4,95 m), maar bij een lage waterstand van NAP+0,16 m en in geval van vaarscenario's L en A resteert niet veel kielspeling meer (zie ook Tabel C-2 in Bijlage C). Dit geldt ook voor een waterstand van NAP+0,40 m en vaarscenario's A en B. Verlaging van de zoutdrempel tot NAP-5,60 m vergroot de kielspeling.

In onderstaande tabel zijn de uitvaartijd (tot $x = 600$ m) en de vertraging bij uitvaren aangegeven bij de verschillende doorgerekende vaarscenario's. Er is onderscheid gemaakt in de vertraging door de zoutdrempel (bij gelijke waterstand) en de vertraging door een lagere waterstand (bij gelijke kruinhoogte van de zoutdrempel).

scenario	w.s. (m NAP)	t op moment x_hek = 600m			vertraging door drempel		vertr. door lagere waterstand	
		geen zoutdrempel (s)	bk drempel NAP -5,60 (s)	bk drempel NAP -4,95 (s)	bk drempel NAP -5,60 (s)	bk drempel NAP -4,95 (s)	geen zoutdrempel (s)	bk drempel NAP -4,95 (s)
L	0.4	950	x	1082	x	132	x	x
A	0.4	710	x	826	x	116	x	x
B	0.4	599	x	709	x	110	x	x
L	0.16	996	1046	1181	50	185	46	99
A	0.16	747	789	907	42	160	37	81

De resultaten zijn hieronder weergegeven in staafgrafiekjes.



Uit het overzicht van resultaten blijkt het volgende:

- De uitvaartijd neemt toe naarmate minder vermogen wordt gebruikt (triviaal)
- De uitvaartijd neemt niet-lineair toe met de hoogte van de zoutdrempel
- De uitvaartijd is groter bij lagere waterstand
- De vertraging door de zoutdrempel neemt in relatieve zin (als percentage van de uitvaartijd) toe met een sneller uitvaarscenario (dus met de uitvaarsnelheid)
- De vertraging door de zoutdrempel neemt niet-lineair toe met de hoogte van de zoutdrempel
- De vertraging samenhangend met een lagere waterstand is groter wanneer ook een zoutdrempel aanwezig is

Het zal blijken dat deze conclusies meer algemeen geldig zijn.

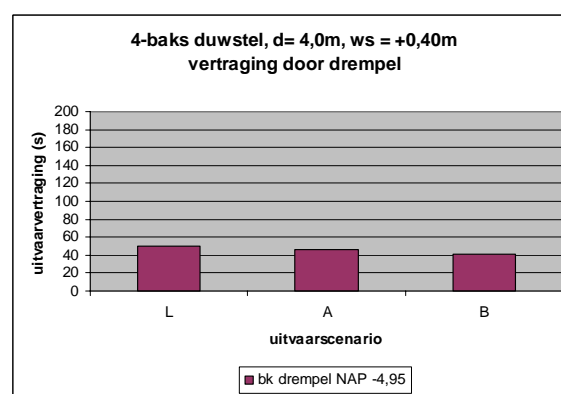
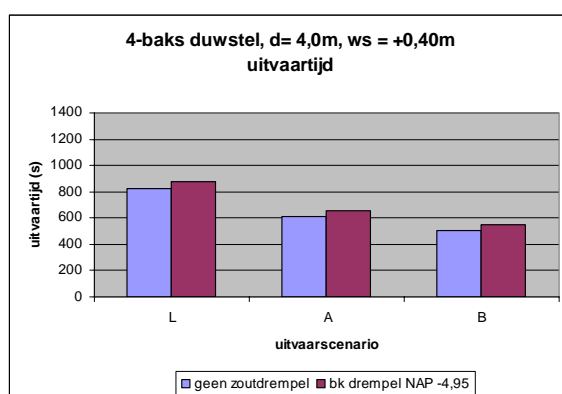
4-baks duwstel, $d = 4,0$ m

Met de extra berekeningen voor het 4-baks duwstel bij een diepgang van 4,0 m is het effect van een geringere diepgang nagegaan. Berekeningsresultaten in grafiekvorm zijn opgenomen in Bijlage A, pagina's A14 en A15. Bij alle doorgerekende situaties blijft het duwstel nu met ruime kielspeling vrij van de zoutdrempel.

In navolgende tabel zijn de uitvaartijd en de vertraging door de zoutdrempel bij de verschillende vaarscenario's opgenomen.

scenario	w.s. (m NAP)	t op moment x hek = 600m		vertr. drempel
		geen zoutdrempel (s)	bk drempel NAP -4,95 (s)	bk drempel NAP -4,95 (s)
L	0.4	824	874	50
A	0.4	609	655	46
B	0.4	507	548	41

Deze resultaten zijn hieronder ook weergegeven in staafgrafiekjes.



Bij een diepgang van het 4-baks duwstel van 4,0 m in plaats van 4,3 m blijkt de uitvaartijd, ondanks het wat geringere opgestelde motorvermogen, veel kleiner te zijn. Dit geldt ook voor de vertraging door de zoutdrempel. Als aanvullende conclusie geldt daarom:

- De vertraging door de zoutdrempel is kleiner bij geringere diepgang

Koppelverband, $d = 3,7 \text{ m} / 4,0 \text{ m}$

Het koppelverband is samengesteld uit een klasse Va schip met diepgang van 3,7 m en drie bakken Europa Ila met diepgang van 4,0 m. Qua lengte, breedte en diepgang is het koppelverband goed vergelijkbaar met het 4-baks duwstel met diepgang van 4,0 m. Het motorvermogen is echter aanzienlijk geringer, zie Tabel 2.1.

Berekeningsresultaten in grafiekvorm zijn opgenomen in Bijlage A, pagina's A19 en A20. In navolgende tabel zijn de uitvaartijd en de vertraging door de zoutdrempel weergegeven.

scenario	w.s. (m NAP)	t op moment x_hek = 600m		vertr. drempel
		geen zoutdrempel (s)	bk drempel NAP -4,95 (s)	bk drempel NAP -4,95 (s)
A	0.4	860	893	33

De uitvaartijd blijkt, bij een gelijk vaarscenario A, flink langer te zijn dan bij het 4-baks duwstel met diepgang van 4,0 m. Dit komt door het geringere geïnstalleerd motorvermogen (de uitvaarsnelheid bij passeren van de boeg van het schip over de zoutdrempel bedraagt 0,56 m/s tegen 0,75 m/s bij het 4-baks duwstel).

De vertraging door de zoutdrempel is in absolute zin kleiner dan bij het 4-baks duwstel met diepgang van 4,0 m. In relatieve zin (als percentage van de uitvaartijd) is dit eveneens het geval. Dit laatste komt overeen met de eerdere conclusie dat de vertraging in relatieve zin toeneemt met de uitvaarsnelheid.

Tanker Vorstenbosch, $d = 4,75 \text{ m}$

De tanker Vorstenbosch is een nieuw schip dat recent in de vaart is gekomen. Het schip is zeer breed (22,8 m) en heeft een grote diepgang. Het schip zal regelmatig, zij het met lage frequentie, de Volkeraksluizen passeren. De hoogte van de zoutdrempel is in de WAROS-berekeningen aan de grote diepgang aangepast.

Berekeningsresultaten in grafiekvorm zijn opgenomen in Bijlage A, pagina's A21 en A22. Het blijkt dat de vrije kielspeling bij vaarscenario's L en A kleiner dan 0,5 m kan worden.

In navolgende tabel zijn de uitvaartijd, de vertraging door de zoutdrempel, en de vertraging door de lagere waterstand van NAP+0,16 m opgenomen.

scenario	w.s. (m NAP)	t op moment x_hek = 600m			vertraging door drempel		vertr. door ws
		geen zoutdrempel (s)	bk drempel NAP -5,34 (s)	bk drempel NAP -5,10 (s)	bk drempel NAP -5,34 (s)	bk drempel NAP -5,10 (s)	geen zoutdrempel (s)
L	0.4	860	x	936	x	76	x
A	0.4	631	x	701	x	70	x
A	0.16	661	721	x	60	x	30

Het blijkt dat de tanker Vorstenbosch een vertraging van meer dan 1 minuut kan oplopen als gevolg van de zoutdrempel. Ook zorgt een lagere waterstand, zonder zoutdrempel, voor vertraging. Het cumulatieve effect van zoutdrempel en lagere waterstand kan ca. 1,5 minuut bedragen (zie ook Paragraaf 3.2).

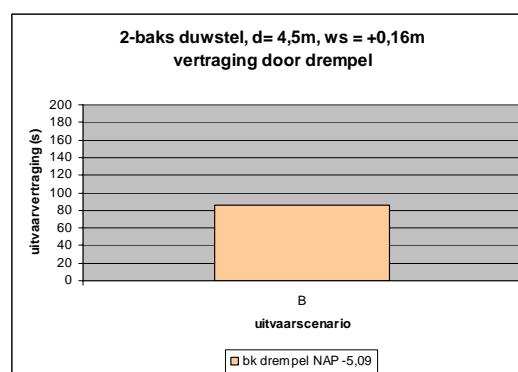
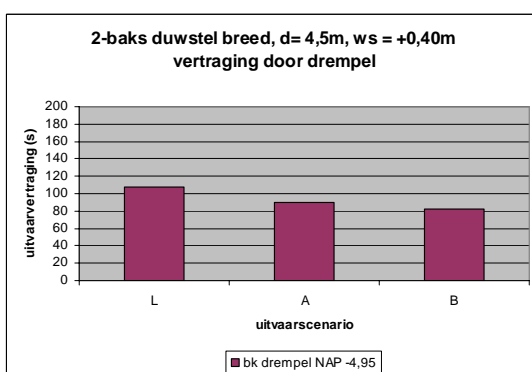
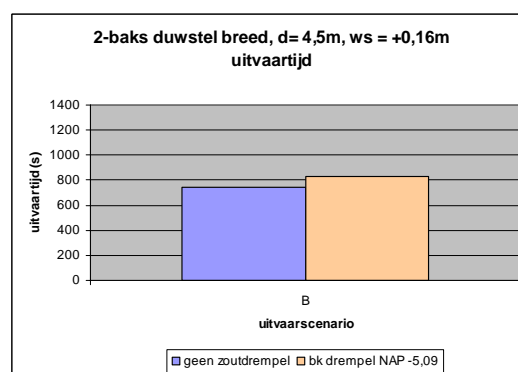
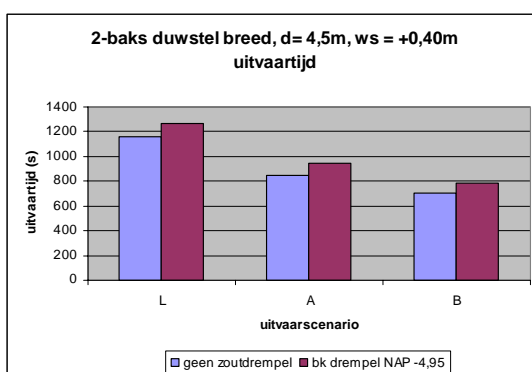
2-baks duwstel breed, $d = 4,5$ m

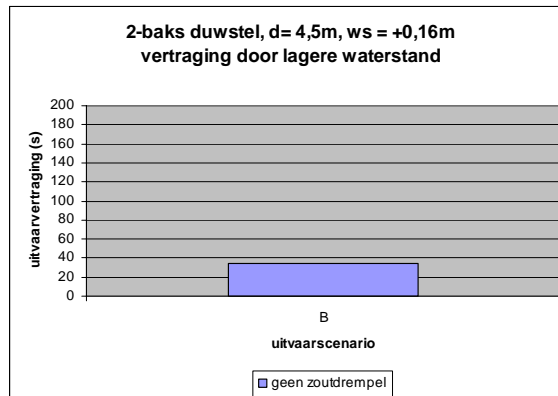
De berekeningen voor het 2-baks duwstel laten in vergelijking tot de berekeningen voor het 4-baks duwstel zien wat het effect is van de lengte en waterverplaatsing van het duwstel. In de berekeningen is de zoutdrempel bij een waterstand van NAP+0,16 m enigszins verlaagd, tot NAP-5,09 m, teneinde de minimaal vereiste kielspeling van 0,75 m te verkrijgen bij stilliggend schip.

Berekeningsresultaten in grafiekvorm zijn opgenomen in Bijlage A, pagina's A11, A12 en A13. In navolgende tabel zijn de uitvaartijd en de vertraging door de zoutdrempel en een lagere waterstand opgenomen.

scenario	w.s. (m NAP)	t op moment x_hek = 600m			vertraging door drempel		vertr. waterst. geen zoutdrempel (s)
		geen zoutdrempel (s)	bk drempel NAP -5,09 (s)	bk drempel NAP -4,95 (s)	bk drempel NAP -5,09 (s)	bk drempel NAP -4,95 (s)	
L	0.4	1157	x	1265	x	108	x
A	0.4	851	x	941	x	90	x
B	0.4	706	x	788	x	82	x
B	0.16	740	826	x	86	x	34

Deze resultaten zijn hieronder ook weergegeven in staafgrafiekjes.





In vergelijking tot het 4-baks duwstel met diepgang van 4,3 m lijkt te gelden dat de lengte van de combinatie niet van grote invloed is op uitvaartijd en vertraging. Wel blijkt dat de grote diepgang van 4,5 m van het 2-baks duwstel in combinatie met het geringere opgestelde motorvermogen tot langere uitvaartijden leidt. Op het cumulatieve effect van een zoutdrempel en een lagere waterstand op de uitvaartijd en vertraging wordt in Paragraaf 3.2 nader ingegaan.

Resultaten vroegere studie

De volgende WAROS-berekeningen zijn uitgevoerd in de eerdere studie voor de Volkeraksluizen [WL | Delft Hydraulics (2007)]; de berekeningsresultaten zijn aan dit rapport toegevoegd.

2-baks duwstel breed, d = 4,0 m

Berekeningsresultaten in grafiekvorm zijn opgenomen in Bijlage A, pagina's A9 en A10. In navolgende tabel zijn de uitvaartijd en de vertraging door de zoutdrempel opgenomen.

scenario	w.s. (m NAP)	t op moment x_hek = 600m		vertr. drempel
		geen zoutdrempel (s)	bk drempel NAP -4,95 (s)	bk drempel NAP -4,95 (s)
B	0.4	573	605	32
C	0.4	461	493	32

De vertraging door de zoutdrempel blijkt in absolute zin gelijk te zijn bij de twee uitvaarsnelheden. In relatieve zin, als percentage van de uitvaartijd, neemt de vertraging toe bij grotere uitvaarsnelheid.

In vergelijking tot het brede 2-baks duwstel met diepgang van 4,5 m is de uitvaartijd flink kleiner, ondanks het wat geringere opgestelde motorvermogen. De geringere diepgang leidt, zoals eveneens is geconcludeerd bij het 4-baks duwstel, tot minder vertraging door de zoutdrempel.

2-baks duwstel lang, d = 4,0 m

Berekeningsresultaten in grafiekvorm zijn opgenomen in Bijlage A, pagina's A7 en A8. In navolgende tabel zijn de uitvaartijd en de vertraging door de zoutdrempel opgenomen.

scenario	w.s. (m NAP)	t op moment $x_{\text{hek}} = 600\text{m}$		vertr. drempel
		geen zoutdrempel (s)	bk drempel NAP -4,95 (s)	bk drempel NAP -4,95 (s)
B	0.4	445	447	2
C	0.4	353	x	x

De berekeningen geven aan dat een lang 2-baks duwstel weinig tot geen effect ondervindt van de zoutdrempel.

Groot Rijnschip, $d = 3,7\text{ m}$ en Rijn-Herne schip, $d = 3,2\text{ m}$

WAROS-berekeningen zijn gemaakt voor vaarscenario's met relatief hoge vaarsnelheid. Zoals uit de grafieken in Bijlage A blijkt, zie pagina's A3 t/m A6, is er bij een drempelhoogte van NAP-3,65 m slechts een gering effect te verwachten van de zoutdrempel. Bij een lagere drempel op NAP-4,95 m, zoals nu wordt voorgesteld, is het effect van de drempel verwaarloosbaar voor beide typen schepen. E.e.a. blijkt ook uit het overzicht van berekeningsresultaten in onderstaande tabellen.

Groot Rijnschip, $d = 3,7\text{ m}$

scenario	w.s. (m NAP)	t op moment $x_{\text{hek}} = 600\text{m}$			vertraging door drempel	
		geen zoutdrempel (s)	bk drempel NAP -4,95 (s)	bk drempel NAP -3,65 (s)	bk drempel NAP -4,95 (s)	bk drempel NAP -3,65 (s)
A	0.4	444	445	451	1	7
B	0.4	366	367	371	1	5
C	0.4	292	293	x	1	x

Rijn-Herne schip, $d = 3,2\text{ m}$

scenario	w.s. (m NAP)	t op moment $x_{\text{hek}} = 600\text{m}$		vertr. drempel
		geen zoutdrempel (s)	bk drempel NAP -3,65 (s)	bk drempel NAP -3,65 (s)
A	0.4	513	516	3
B	0.4	422	424	2
C	0.4	335	337	2

3.2 Uitvaren van de Volkeraksluizen – nadere beschouwing

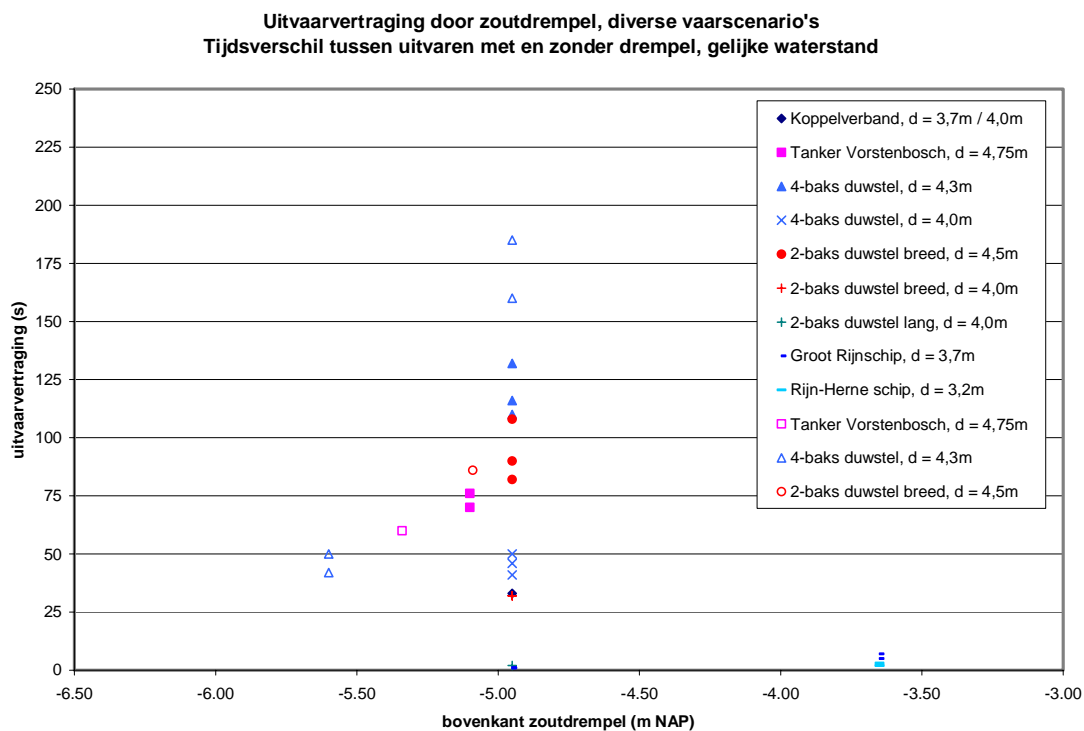
In Tabel 3.1 wordt een overzicht gegeven van de berekende vertraging bij uitvaren (met onderscheid in vertraging door de zoutdrempel en vertraging door een lagere waterstand dan de referentiewaterstand van NAP+0,40 m). Resultaten van de vroegere studie [WL | Delft Hydraulics (2007)] zijn ook opgenomen.

Scheepstype	scenario	waterstand Holl. Diep (m NAP)	bovenkant zoutdrempel (m NAP)	vertraging door drempel (s)	vertraging door lagere ws (s)
Koppelverband, d = 3,7m / 4,0m	A	0.40	-4.95	33	
Tanker Vorstenbosch, d = 4,75m	A	0.16	-5.34	60	30
	A	0.16	-6.25		
	L	0.40	-5.10	76	
	A	0.40	-5.10	70	
4-baks duwstel, d = 4,3m	L	0.16	-5.60	50	46 37 99 81
	A	0.16	-5.60	42	
	L	0.16	-4.95	185	
	A	0.16	-4.95	160	
	L	0.16	-6.25		
	A	0.16	-6.25		
	L	0.16	-4.95		
	A	0.16	-4.95		
	L	0.40	-4.95	132	
	A	0.40	-4.95	116	
B	0.40	-4.95	110		
4-baks duwstel, d = 4,0m	L	0.40	-4.95	50	
	A	0.40	-4.95	46	
	B	0.40	-4.95	41	
2-baks duwstel breed, d = 4,5m	B	0.16	-5.09	86	34
	B	0.16	-6.25		
	L	0.40	-4.95	108	
	A	0.40	-4.95	90	
	B	0.40	-4.95	82	
2-baks duwstel breed, d = 4,0m	B	0.40	-4.95	32	
	C	0.40	-4.95	32	
2-baks duwstel lang, d = 4,0m	B	0.40	-4.95	2	
Groot Rijnschip, d = 3,7m	A	0.40	-4.95	1	
	B	0.40	-4.95	1	
	C	0.40	-4.95	1	
	A	0.40	-3.65	7	
	B	0.40	-3.65	5	
Rijn-Herne schip, d = 3,2m	A	0.40	-3.65	3	
	B	0.40	-3.65	2	
	C	0.40	-3.65	2	

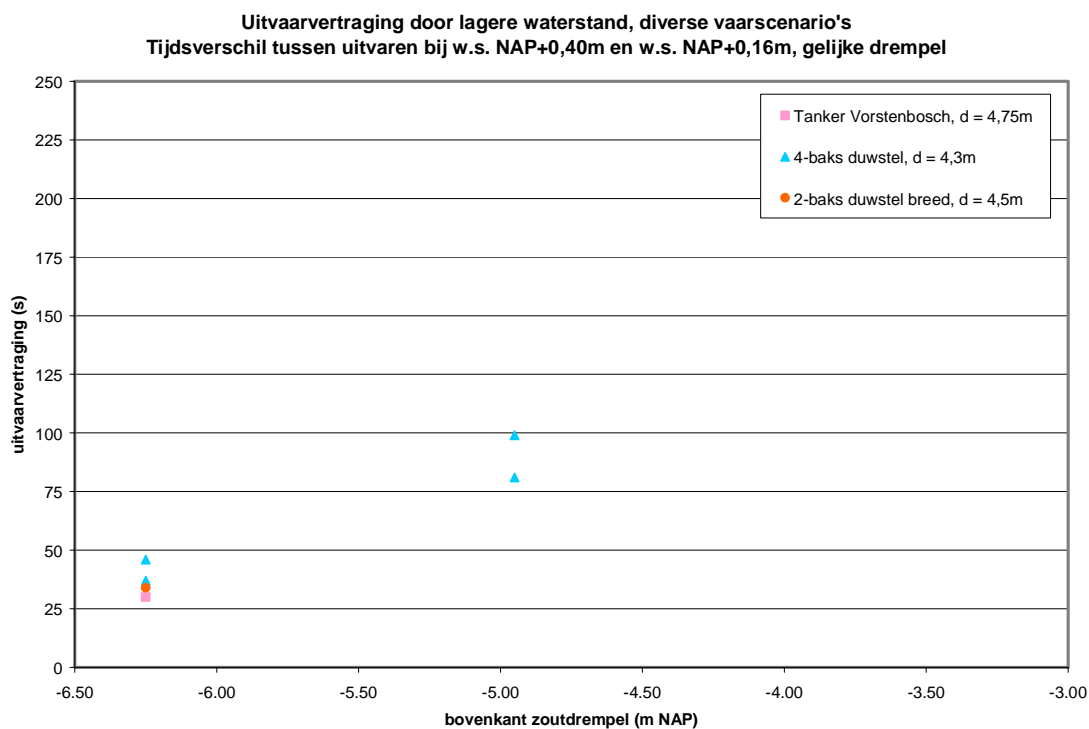
Tabel 3.1 Overzicht van berekende vertraging bij uitvaren

De berekende vertraging door de zoutdrempel is in onderstaande overzichtsgrafiek, Figuur 3.1, als functie van de drempelhoogte aanschouwelijk gemaakt. De vertraging is het verschil in uitvaartijd als gevolg van de zoutdrempel bij overigens gelijke andere omstandigheden (gelijk vaarscenario en gelijke waterstand). Het merendeel van de resultaten betreft een waterstand van NAP+0,40 m. De resultaten voor de lagere waterstand van NAP+0,16 m (onderste drie series in de legenda) zijn met een open symbool aangegeven.

De berekende vertraging door een lagere waterstand wordt in Figuur 3.2 getoond. De vertraging is hier het verschil in uitvaartijd als gevolg van de 0,24 m lagere waterstand van NAP+0,16 m bij overigens gelijke andere omstandigheden (gelijk vaarscenario en gelijke (zout)drempelhoogte).



Figuur 3.1 Vertraging bij uitvaren t.g.v. zoutdrempel als functie van zoutdrempelhoogte; open symbolen hebben betrekking op een lage waterstand van NAP+0,16 m, overige symbolen op de referentie-waterstand van NAP+0,40 m

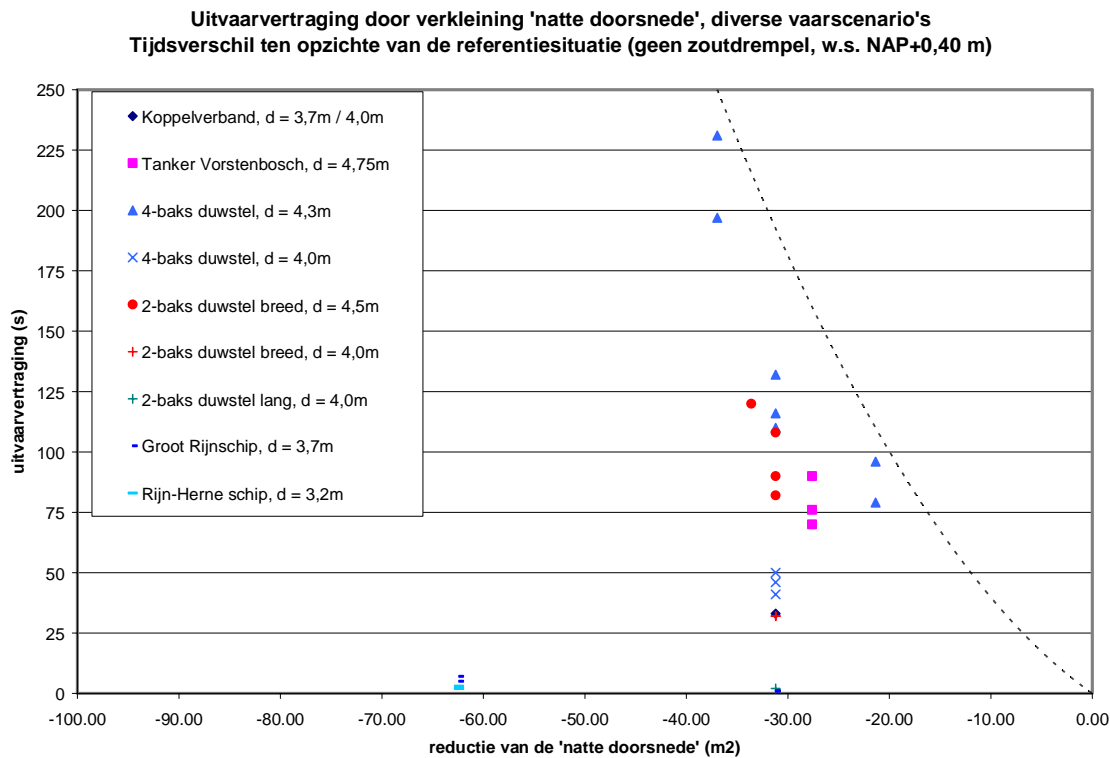


Figuur 3.2 Vertraging bij uitvaren t.g.v. lagere waterstand als functie van zoutdrempelhoogte

Uit de resultaten blijkt dat motorvrachtschepen tot en met CEMT-klasse VIa en 2-baks duwstellen met achter elkaar geplaatste bakken weinig tot geen vertraging ondervinden van de zoutdrempel. Brede duwstellen en koppilverbanden ondervinden wel vertraging. Deze vertraging kan bij een lage waterstand, en afhankelijk van het vaarscenario en dus de vaarsnelheid, oplopen tot orde 3 minuten.

Bij dezelfde groep van schepen kan, afhankelijk van het vaarscenario, de vrije kielspeling boven de zoutdrempel minder worden dan 0,5 m, tot ca. 0,2 m bij een 4-baks duwstel en een lage waterstand van NAP+0,16 m, zie Tabel C-2 in Bijlage C. Hiervoor is aandacht vereist.

De vertraging die een schip bij uitvaren ondervindt ten opzichte van de preferentiesituatie (geen zoutdrempel en waterstand van NAP+0,4 m) is uitgezet als functie van de verkleining van de 'natte doorsnede' rond het schip ter plaatse van de zoutdrempel (verkleining als gevolg van een lagere waterstand van NAP+0,16 m en de aanwezigheid van een zoutdrempel), zie Figuur 3.3.



Figuur 3.3 Vertraging bij uitvaren t.g.v. verkleining van de 'natte doorsnede' rond het schip ter plaatse van de zoutdrempel

In de grafiek komt het cumulatieve effect van de zoutdrempel en de lagere waterstand tot uiting. De maximale vertraging bij de beschouwde situaties bedraagt ca. 4 minuten. De gestippelde lijn in de grafiek is de omhullende van de berekende waarden en geeft een indicatie van de maximaal te verwachten vertraging. Op grond van het voorgaande kan worden gesteld:

De uitvaartijd en de vertraging nemen niet-lineair toe met een afname van de "natte doorsnede" rond het schip bij varen over de zoutdrempel.

Opgemerkt zij dat de uitvaartijd en de vertraging ook in sterke mate afhankelijk zijn van het vaarscenario, dus van de uitvaarsnelheid als functie van de tijd.

De uitvaarsnelheid op het moment van passage van de boeg van het schip over de (zout)drempel is in Tabellen C-1 en C-2 in Bijlage C voor alle uitgevoerde WAROS-berekeningen vermeld; ook de resultaten uit de vroegere studie [WL | Delft Hydraulics (2007)] zijn opgenomen. Bij de brede en diep stekende schepen en duwstellen blijft de vaarsnelheid steeds ruim onder 1 m/s.

In dezelfde tabellen is ook de grootste berekende retourstroomsnelheid opgenomen. De retourstroomsnelheid is berekend in het "meetpunt" in de kolk op 30 m afstand van de zoutdrempel (zie Figuur 2.2 voor meetpunten), en betreft de gemiddelde snelheid in de natte doorsnede rond het schip. De retourstroomsnelheid boven de (zout)drempel is groter vanwege de kleinere 'natte doorsnede' ter plaatse. De retourstroomsnelheid boven de (zout)drempel volgt ruwweg uit een vermenigvuldiging van de retourstroomsnelheid in het "meetpunt" met het quotiënt van natte doorsnede rond het schip in het "meetpunt" en natte doorsnede rond het schip boven de drempel.

3.3 Invaren van de Volkeraksluizen

Het programma van WAROS-berekeningen voor invaren (zie Tabel 2.4) is relatief beperkt gehouden, omdat effecten door de drempel – vanwege het in de praktijk voorzichtiger varen – kleiner zijn dan bij uitvaren. In de berekeningen is overigens, om zicht te krijgen op de effecten door de drempel, wel een relatief hoge invaarsnelheid gehanteerd.

De resultaten van de WAROS berekeningen zijn in tabelvorm opgenomen in Bijlage C, Tabellen C-3 en C-4, en in grafiekvorm in Bijlage A, pagina's A24 t/m A31. Uit de tabellen en grafieken blijkt dat de kielspeling bij passeren van de zoutdrempel bij de brede en dieper stekende schepen tot ca. 0,5 m kan afnemen, afhankelijk ook van het vaarscenario. Bij lagere waterstanden dan de doorgerekende waterstand van NAP+0,40 m verdient de kielspeling daarom aandacht.

In onderstaande tabellen zijn de invaartijd en de vertraging door de zoutdrempel per beschouwd scheepstype opgenomen. Vertragingen bij brede en diepstekende schepen kunnen tot orde 40 s bedragen in geval van een waterstand van NAP+0,40 m; bij lagere waterstanden zal de vertraging groter zijn.

Het Groot Rijnschip is in de eerdere studie voor de Volkerak-sluizen [WL | Delft Hydraulics (2007)] doorgerekend. Dit type schip ondervindt geen vertraging door de zoutdrempel.

2-baks duwstel breed, $d = 4,5$ m

scenario	w.s. (m NAP)	t op moment x_hek = 1200m		vertr. drempel
		geen zoutdrempel (s)	bk drempel NAP -4,95 (s)	bk drempel NAP -4,95 (s)
V	0.4	910	948	38
D	0.4	753	780	27

4-baks duwstel, d = 4,3 m

scenario	w.s. (m NAP)	t op moment x_hek = 1200m		vertr. drempel
		geen zoutdrempel (s)	bk drempel NAP -4,95 (s)	bk drempel NAP -4,95 (s)
V	0.4	706	733	27
D	0.4	590	602	12

Tanker Vorstenbosch, d = 4,75 m

scenario	w.s. (m NAP)	t op moment x_hek = 1200m		vertr. drempel
		geen zoutdrempel (s)	bk drempel NAP -5,10 (s)	bk drempel NAP -5,10 (s)
V	0.4	643	665	22
D	0.4	533	541	8

Groot Rijnschip, d = 3,7 m

scenario	w.s. (m NAP)	t op moment x_hek = 1200m			vertraging door drempel	
		geen zoutdrempel (s)	bk drempel NAP -4,95 (s)	bk drempel NAP -3,65 (s)	bk drempel NAP -4,95 (s)	bk drempel NAP -3,65 (s)
D	0.4	496	496	497	0	1

3.4 Invaren van de Volkeraksluizen – nadere beschouwing

In Tabel 3.2 wordt een overzicht gegeven van de met WAROS berekende vertraging bij invaren als gevolg van de zoutdrempel. Het blijkt dat brede en diep stekende schepen ook bij invaren de grootste vertraging ondervinden. Deze vertraging kan orde 0,5 minuut bedragen bij de referentie waterstand van NAP+0,40 m, maar zal bij een lagere waterstand groter zijn.

Scheepstype	scenario	waterstand Holl. Diep (m NAP)	bovenkant zoutdrempel (m NAP)	vertraging door drempel (s)
Tanker Vorstenbosch, d = 4,75m	V	0.4	-5.1	22
	D	0.4	-5.1	8
4-baks duwstel, d = 4,3m	V	0.4	-4.95	27
	D	0.4	-4.95	12
2-baks duwstel breed, d = 4,5m	V	0.4	-4.95	38
	D	0.4	-4.95	27
Groot Rijnschip, d = 3,7m	D	0.4	-4.95	0
	D	0.4	-3.65	1

Tabel 3.2 Overzicht van berekende vertraging bij invaren

De berekende vertraging bij invaren kan als een hoge waarde worden beschouwd omdat de schepen in de berekeningen, ondanks het relatief lage toegepaste motorvermogen, een vrij hoge invaarsnelheid hadden (tussen 1,7 m/s en 3,3 m/s, zie Tabellen C-3 en C-4 in Bijlage C). Waarschijnlijk varen brede en diep stekende schepen in werkelijkheid langzamer naar

binnen, waardoor de invaartijd groter maar de relatieve vertraging (als percentage van de invaartijd) kleiner zal zijn.

Ook bij invaren geldt voor de groep van brede en diep stekende schepen dat aandacht is vereist voor de vrije kielspeling boven de zoutdrempel, met name in geval van een lage waterstand (zie ook Tabel C-4 in Bijlage C).

De invaarsnelheid op het moment van passage van de boeg van het schip over de (zout)drempel is voor alle WAROS-berekeningen in Tabellen C-3 en C-4 in Bijlage C opgenomen. Ook de resultaten uit de vroegere studie [WL | Delft Hydraulics (2007)] zijn opgenomen. In dezelfde tabellen wordt tevens de grootste berekende retourstroomsnelheid vermeld. De retourstroomsnelheid is berekend in het "meetpunt" in de kolk op 30 m afstand van de zoutdrempel (zie Figuur 2.3 voor meetpunten), en betreft de gemiddelde snelheid in de natte doorsnede rond het schip. De retourstroomsnelheid boven de (zout)drempel is groter vanwege de kleinere 'natte doorsnede' ter plaatse. De retourstroomsnelheid boven de (zout)drempel volgt ruwweg uit een vermenigvuldiging van de retourstroomsnelheid in het "meetpunt" met het quotiënt van natte doorsnede rond het schip in het "meetpunt" en natte doorsnede rond het schip boven de drempel.

4 Samenvatting en conclusies

In de toekomst zal ter verbetering van de waterkwaliteit mogelijk zout water worden toegelaten op het Volkerak-Zoommeer. Hierdoor zal het meer verzilten. De Volkeraksluizen zullen dan weer, net als vroeger, op de scheiding van zout en zoet water komen te liggen. De zoutlast op het Hollandsch Diep ten gevolge van het schutten van schepen dient echter zeer beperkt te blijven. Om die reden worden zoutremmende maatregelen onderzocht en voorbereid. Tot het pakket van mogelijke maatregelen behoort de aanleg van een 'zoutdrempel' in elk van de drie scheepvaartsluizen van het Volkerak sluisencomplex. Het voorstel is om de kruinhoogte van de zoutdrempel te beperken tot NAP-4,95 m.

In opdracht van RWS is met behulp van het simulatieprogramma WAROS nagegaan of het aanbrengen van een zoutdrempel aan Hollandsch-Diepzijde van de sluizen tot vertraging bij in- en uitvaart van de schepen kan leiden. De vertraging van een enkel schip is gedefinieerd ten opzichte van de referentie-situatie zonder zoutdrempel en een waterstand van NAP+0,40 m. Er vanuit gaande dat vertraging van een enkel schip ook leidt tot vertraging van een volgend schip bij invaren of uitvaren, zal een opeenstapeling van vertragingen kunnen ontstaan in de dagelijkse afhandeling van schepen.

In overleg met de opdrachtgever is een programma van WAROS-berekeningen opgesteld met als belangrijkste variabelen het scheepstype, het vaarscenario, de waterstand en de hoogte van de zoutdrempel.

Uitvaren

Uit de berekeningen met WAROS blijkt dat de vertraging bij uitvaren relatief groot is in geval van brede en diepstekende schepen en duwstellen. Algemeen kan het volgende worden gesteld:

De uitvaartijd en de vertraging nemen niet-lineair toe met een afname van de "natte doorsnede" rond het schip bij varen over de zoutdrempel.

De "natte doorsnede" wordt daarbij bepaald door de waterdiepte boven de zoutdrempel (dus door waterstand en kruinhoogte van de zoutdrempel) en de breedte van de sluis, en door de dwarsdoorsnede van het schip. Opgemerkt zij dat de uitvaartijd en de vertraging ook in sterke mate afhankelijk zijn van het vaarscenario, en dus van de uitvaarsnelheid als functie van de tijd.

Motorvrachtschepen tot en met CEMT-klasse Vla en 2-baks duwstellen met achter elkaar geplaatste bakken zullen weinig tot geen vertraging ondervinden van de zoutdrempel. Brede duwstellen en koppilverbanden ondervinden wel vertraging. Deze vertraging kan bij een lage waterstand van NAP+0,16 m, en afhankelijk van het vaarscenario en dus de vaarsnelheid, oplopen tot orde 4 minuten (gezamenlijk effect van zoutdrempel en lagere waterstand). Bij dezelfde groep van schepen en dezelfde omstandigheden kan de vrije kielspeling boven de zoutdrempel minder worden dan 0,5 m. Hiervoor is aandacht vereist.

Invaren

Aangenomen kan worden dat ingaande schepen behoedzamer varen dan uitgaande schepen. De vertraging die schepen bij invaren ondervinden zal daarom in het algemeen kleiner zijn dan bij uitvaren. In de WAROS berekeningen is overigens, om inzicht te verkrijgen in de effecten door de zoutdrempel, wel van een hoge invaarsnelheid uitgegaan.

Het blijkt dan dat brede en diep stekende schepen ook bij invaren de grootste vertraging ondervinden. Deze vertraging kan orde 0,5 minuut bedragen bij de referentie waterstand van NAP+0,40 m, maar zal bij een lagere waterstand groter zijn.

De berekende vertraging bij invaren kan als een hoge waarde worden beschouwd omdat de schepen in de berekeningen, ondanks het relatief lage toegepaste motorvermogen, een vrij hoge invaarsnelheid hadden. Waarschijnlijk varen brede en diep stekende schepen in werkelijkheid langzamer naar binnen, waardoor de invaartijd groter maar de relatieve vertraging (als percentage van de invaartijd) kleiner zal zijn.

Ook bij invaren geldt voor de groep van brede en diep stekende schepen dat aandacht is vereist voor de vrije kielspeling boven de zoutdrempel.

Capaciteitsbeschouwing Volkeraksluizen

Een vertraging van een individueel schip bij invaren of uitvaren als gevolg van de zoutdrempel en / of een lagere waterstand dan de referentie-waterstand van NAP+0,40 m leidt er toe dat volgende schepen pas later de kolk kunnen invaren of uitvaren. Bij meerdere schepen per dag die tot vertraging aanleiding geven zal het totale aantal schepen per dag dat de sluis kan passeren daarom mogelijk kleiner zijn dan in de huidige situatie, zonder zoutdrempel.

Bij een analyse van de eventuele capaciteitsreductie dient gekeken te worden naar:

- Het aantal schepen per dag dat tot vertraging aanleiding kan geven, en het aandeel van deze schepen in het totale aantal passerende schepen.
- Het vaargedrag van deze schepen, d.w.z. de snelheid waarmee deze schepen naderen en invaren, of uitvaren en versnellen; en ook of schippers anticiperen op de aanwezigheid van een zoutdrempel.
- De waterstand bij invaren en uitvaren.
- De potentiële vertraging per schip als functie van het vaarscenario, de waterstand en de zoutdrempelhoogte.
- De verdeling van de schepen die vertraging ondervinden over de drie schutkolken.

Gezien het belang van het vaargedrag van brede en diep stekende schepen voor de capaciteitsbepaling van de Volkeraksluizen wordt aanbevolen om het vaargedrag van deze schepen door middel van observaties ter plaatse en interviews met schippers en sluispersoneel nader in kaart te brengen.

Op dit moment (cijfers van het jaar 2008) bedraagt het aantal brede en veelal diepstekende schepen en duwstellen dat de Volkeraksluizen passeert ca. 3000 op een totaal aantal passerende schepen van ca. 110.000 (overeenkomend met ca. 10 brede/diepstekende schepen op 370 schepen per dag). Wanneer deze schepen gelijk zijn verdeeld over de drie kolken zou per kolk, afhankelijk van vaargedrag en waterstand, een cumulatieve vertraging tot ruwweg orde 10 minuten kunnen ontstaan als gevolg van de zoutdrempel en een waterstand lager dan de referentie-waterstand van NAP+0,40 m. Met nadruk wordt opgemerkt dat dit een ruwe schatting is, die door een nadere verkeersafwikkelings- en capaciteitsstudie nader dient te worden onderbouwd.

Referenties

WL | Delft Hydraulics (2007)

'Volkerak-Zoommeer. Effectiviteit zoutbestrijdingsmaatregelen bij sluizen. Effect op capaciteit Volkeraksluizen', memo Q4493, oktober 2007

A Resultaten WAROS-berekeningen in grafiekvorm

In deze bijlage worden resultaten van de WAROS-berekeningen getoond. Per scheepstype zijn afzonderlijke grafieken gemaakt van de minimum kielspeling (kleinste waarde langs het gehele schip gezien) als functie van de positie x_{hek} van het schip, van de vaarsnelheid als functie van de positie x_{hek} van het schip, en van de vaarsnelheid als functie van de tijd.

Scheepstypen (zie ook Tabel 2.1):

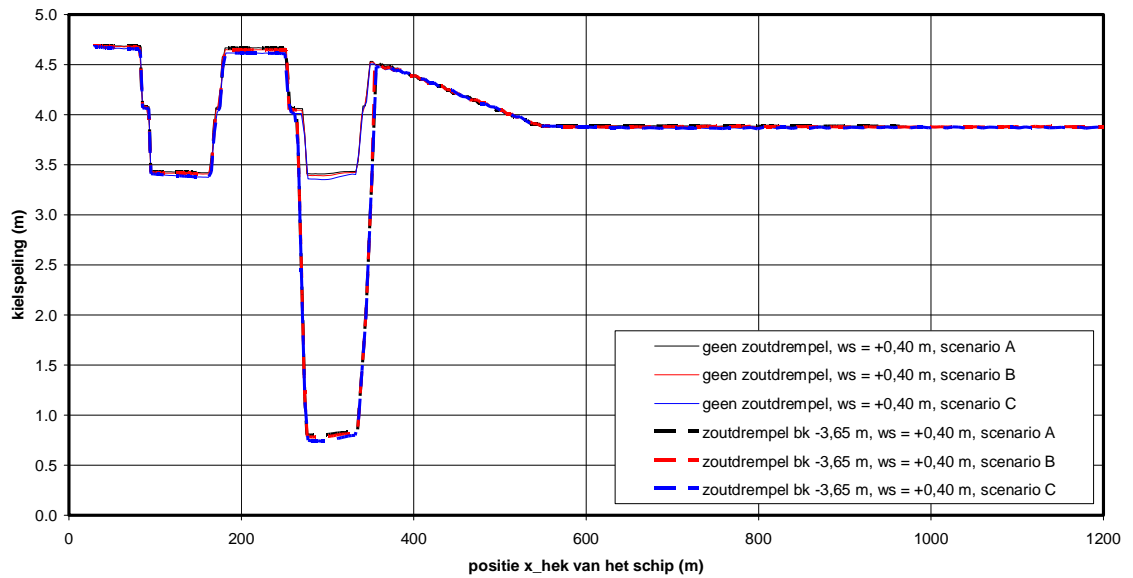
- *Rijn-Herne schip met diepgang van 3,2 m*
- *Groot Rijnschip met diepgang van 3,7 m*
- *2-baks duwstel lang, 2 bakken achter elkaar, Europa Ila) met diepgang van 4,0 m*
- *2-baks duwstel breed, 2 bakken naast elkaar, Europa Ila met diepgang van 4,0 m*
- *2-baks duwstel breed, 2 bakken naast elkaar, Europa Ila met diepgang van 4,5 m*
- *4-baks duwstel, 2 x 2, bakken Europa Ila met diepgang van 4,0 m*
- *4-baks duwstel, 2 x 2, bakken Europa Ila met diepgang van 4,3 m*
- *koppverband, brede configuratie, klasse Va schip met diepgang van 3,7 m + 3 bakken Europa Ila met diepgang van 4,0 m*
- *tanker Vorstenbosch met diepgang van 4,75 m*

De resultaten van de cursief aangeduide scheepstypen zijn overgenomen van de vroegere studie [WL | Delft Hydraulics (2007)].

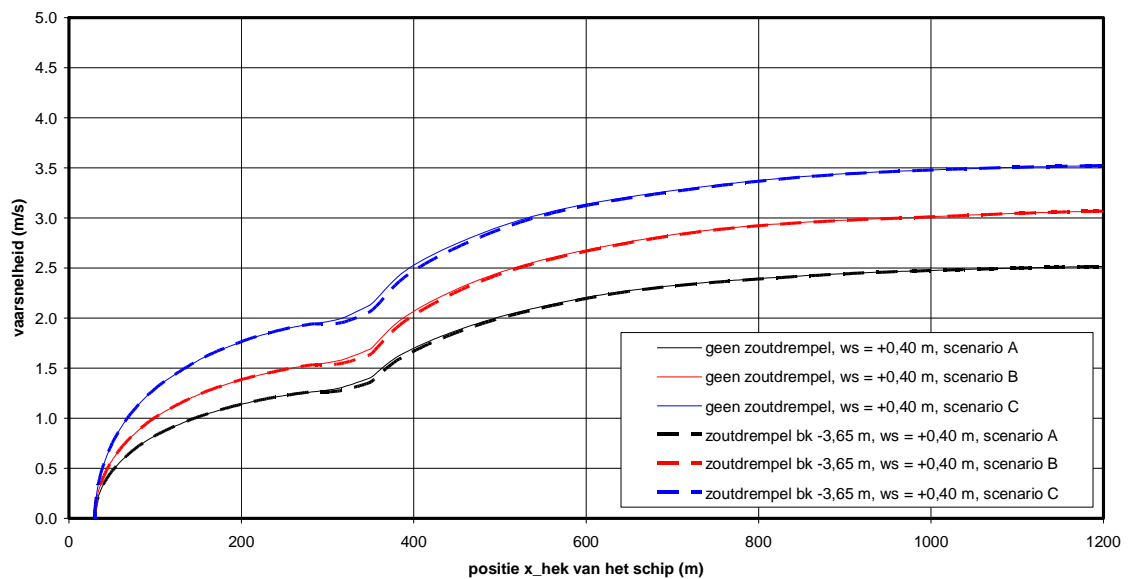
Uitvaren Volkeraksluis

Uitvaren, Rijn-Herne schip, diepgang 3,2 m

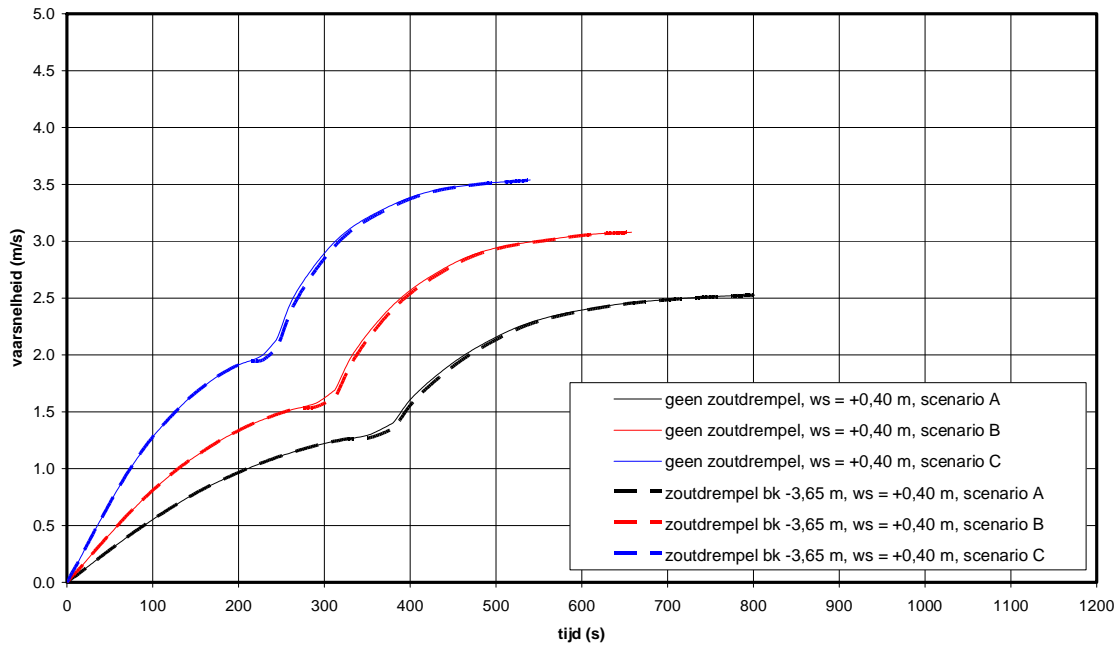
Minimum kielspeling Rijn-Herne schip, diepgang 3,2 m



Uitvaarsnelheid Rijn-Herne schip, diepgang 3,2 m

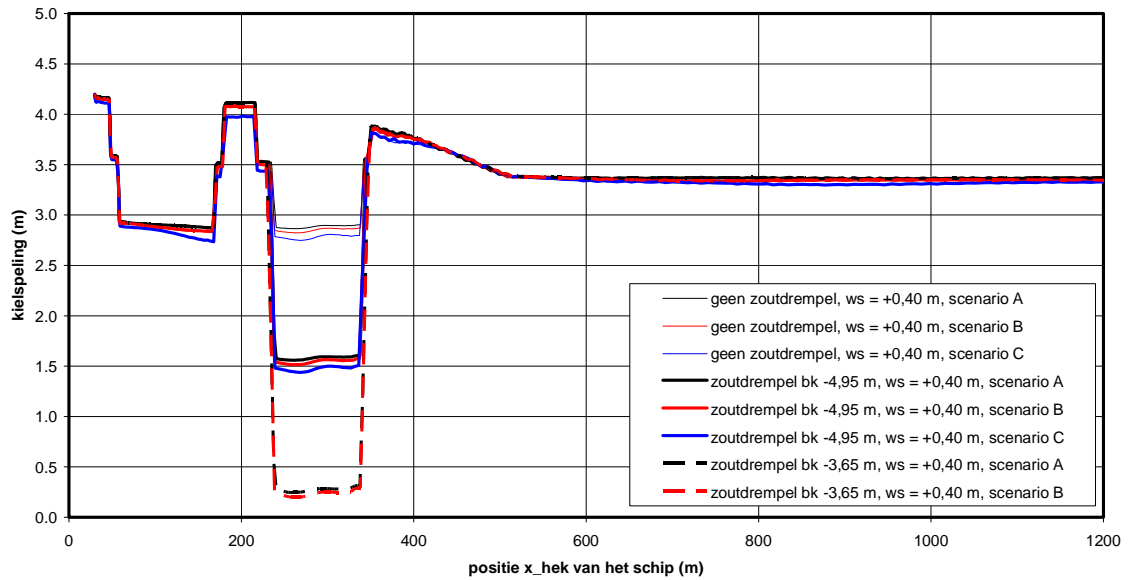


Uitvaarsnelheid Rijn-Herne schip, diepgang 3,2 m

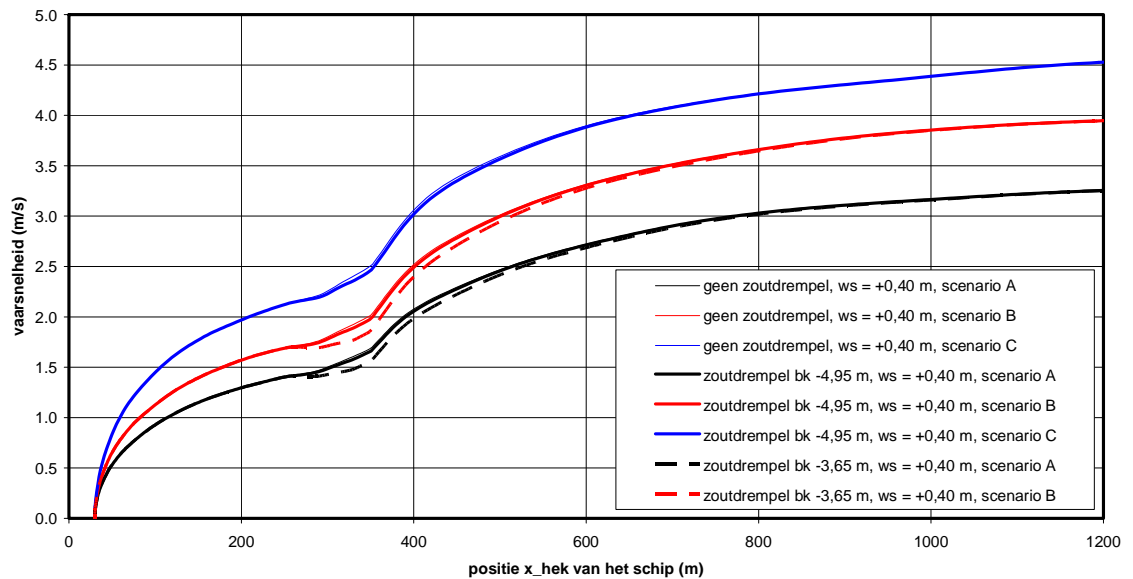


Uitvaren, Groot Rijnschip, diepgang 3,7 m

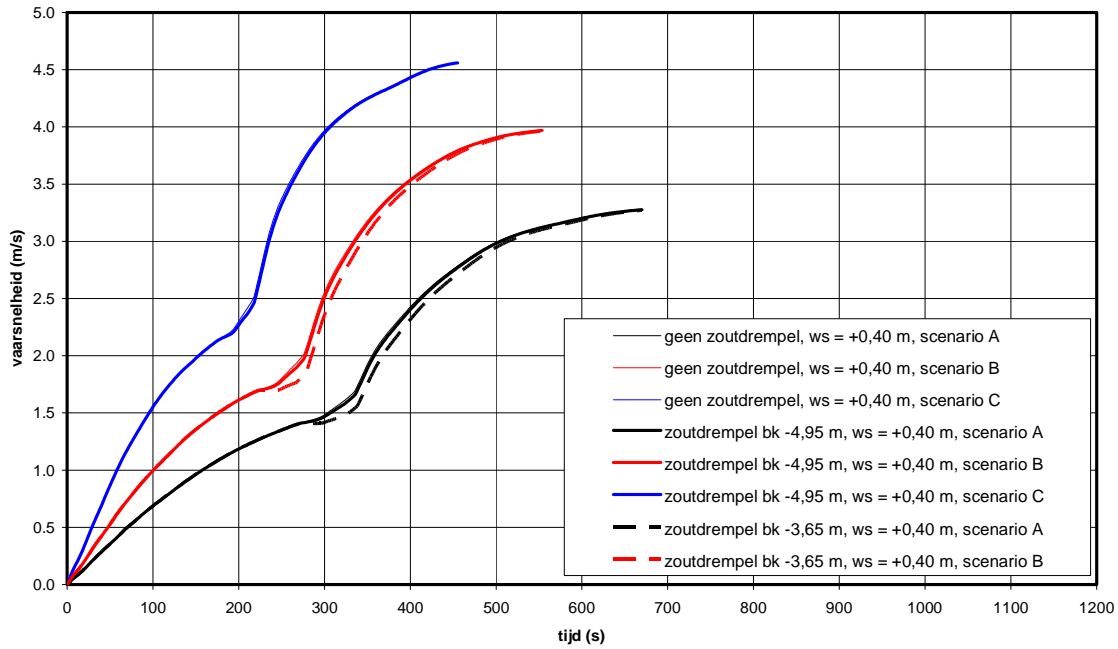
Minimum kielspeling Groot Rijnschip, diepgang 3,7 m



Uitvaarsnelheid Groot Rijnschip, diepgang 3,7 m

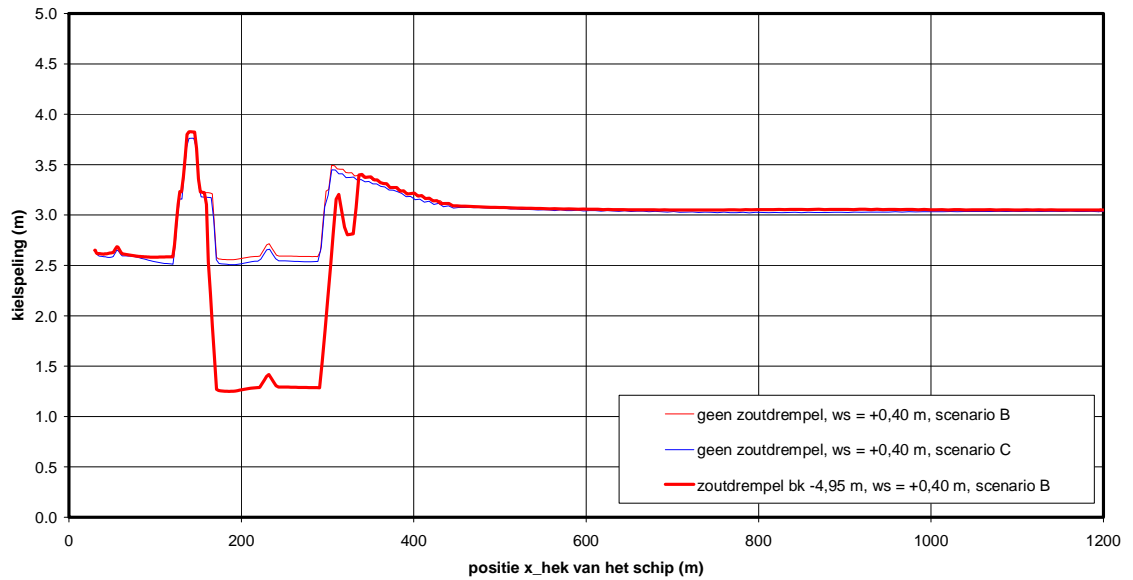


Uitvaarsnelheid Groot Rijnschip, diepgang 3,7 m

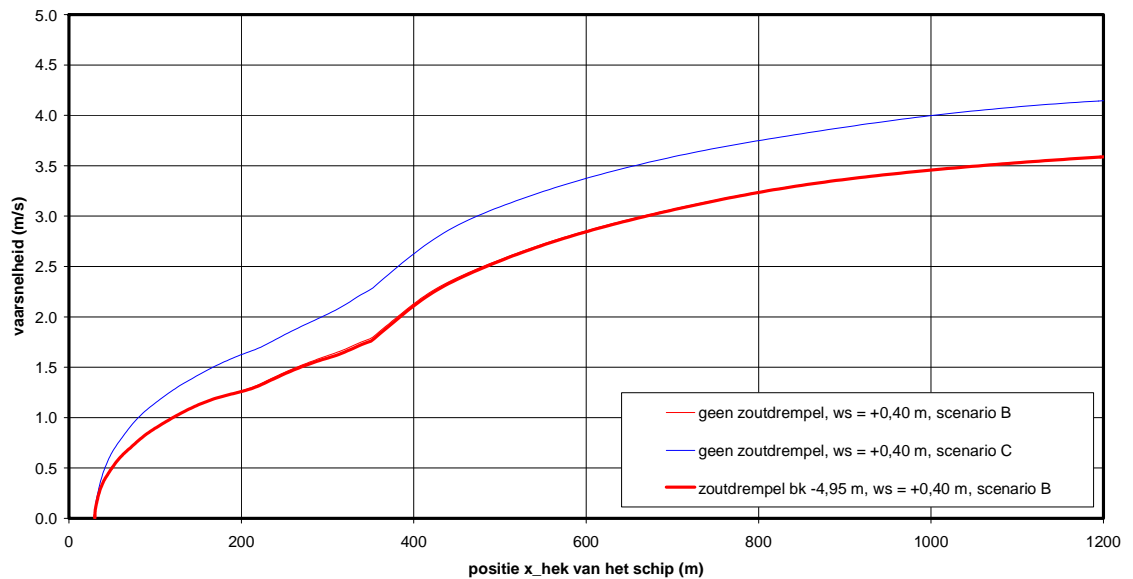


Uitvaren, 2-baks duwstel lang, diepgang 4,0 m

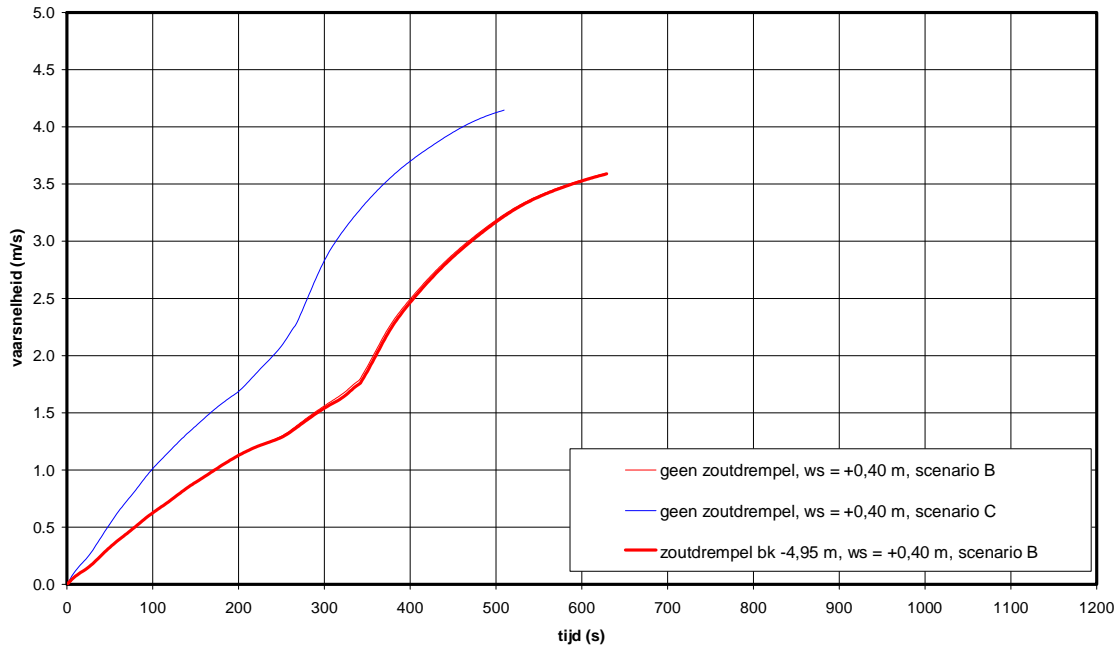
Minimum kielspeling 2-baks duwstel lang, diepgang 4,0 m



Uitvaarsnelheid 2-baks duwstel lang, diepgang 4,0 m

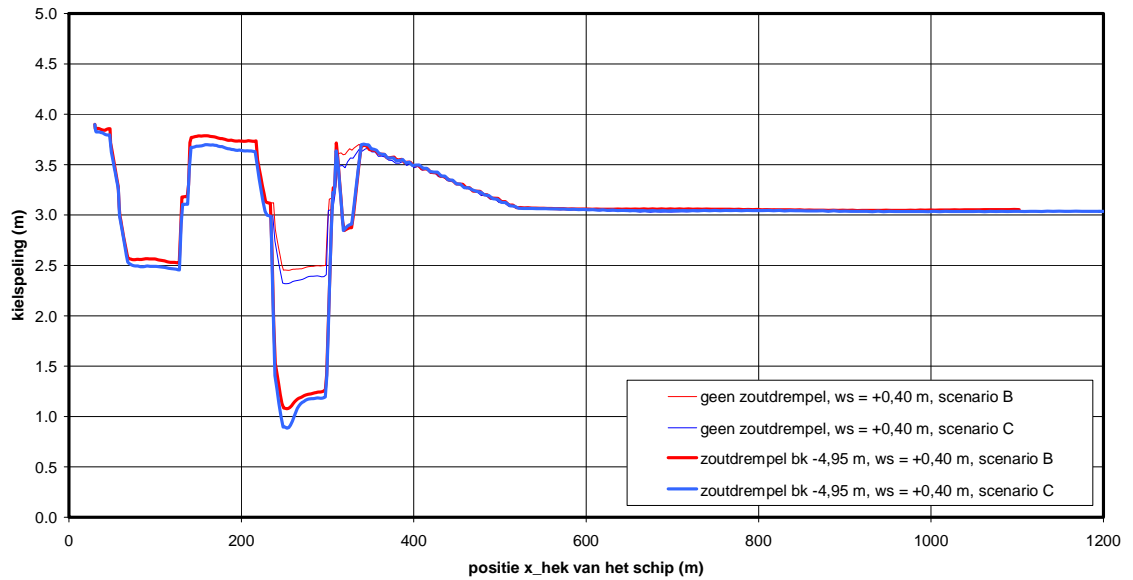


Uitvaarsnelheid 2-baks duwstel lang, diepgang 4,0 m

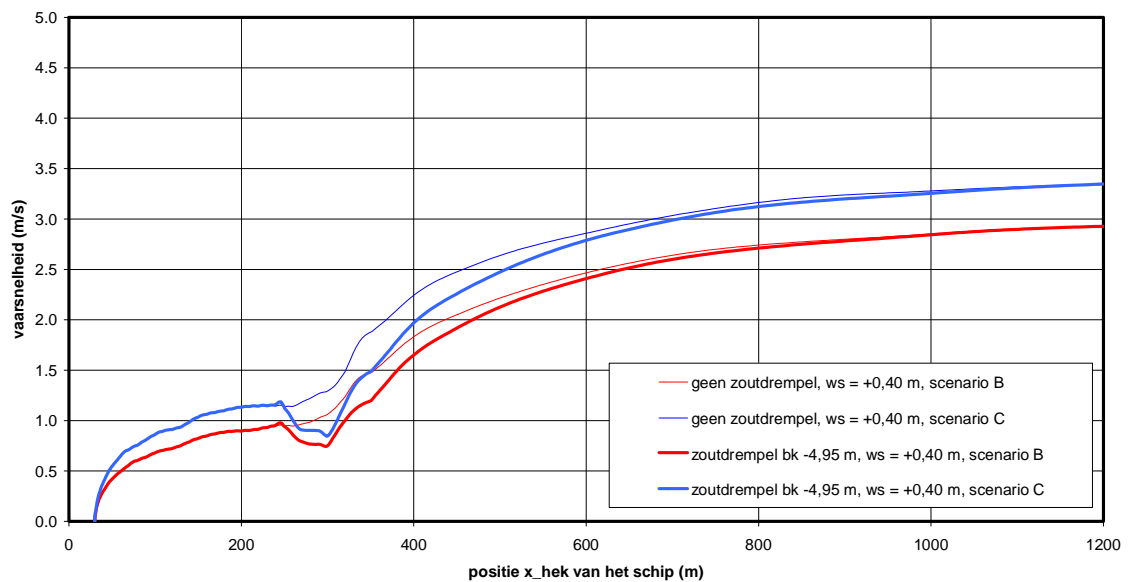


Uitvaren, 2-baks duwstel breed, diepgang 4,0 m

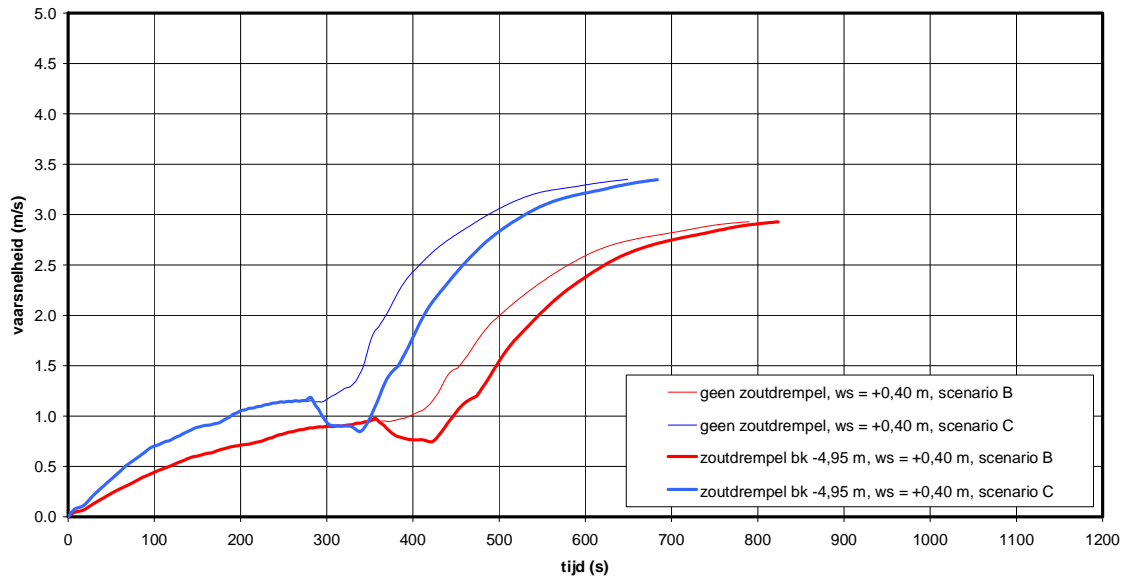
Minimum kielspeling 2-baks duwstel breed, diepgang 4,0 m



Uitvaarsnelheid 2-baks duwstel breed, diepgang 4,0 m

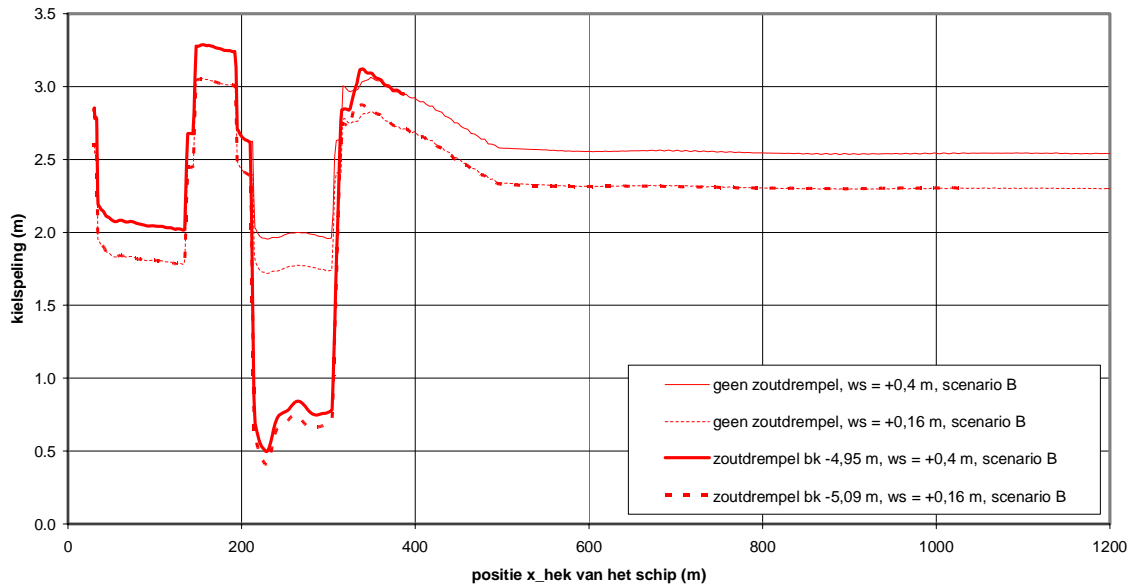


Uitvaarsnelheid 2-baks duwstel breed, diepgang 4,0 m

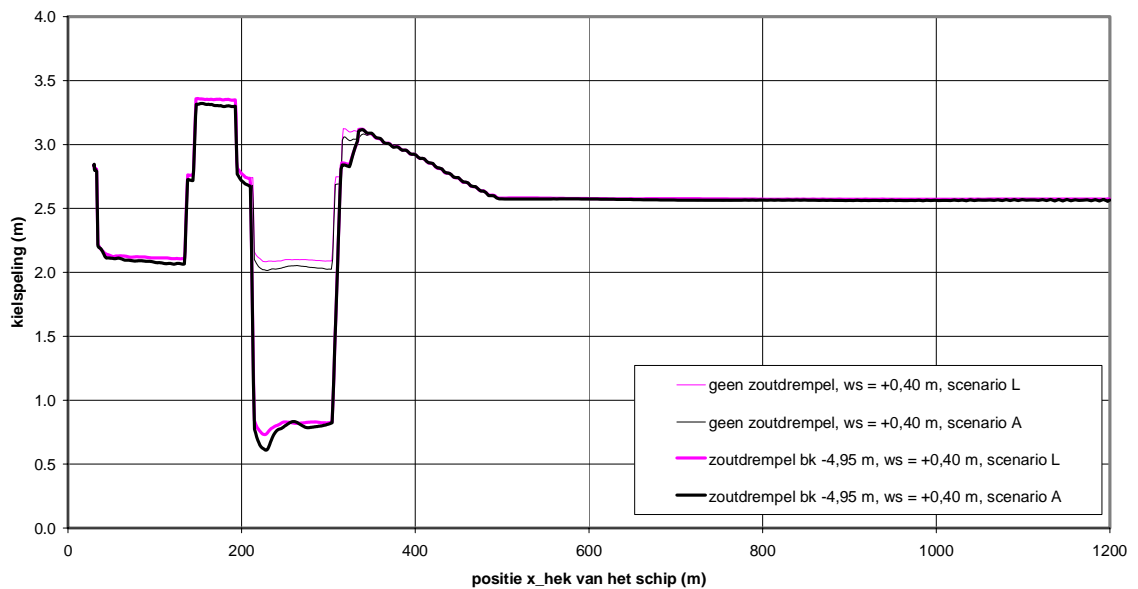


Uitvaren, 2-baks duwstel breed, diepgang 4,5 m

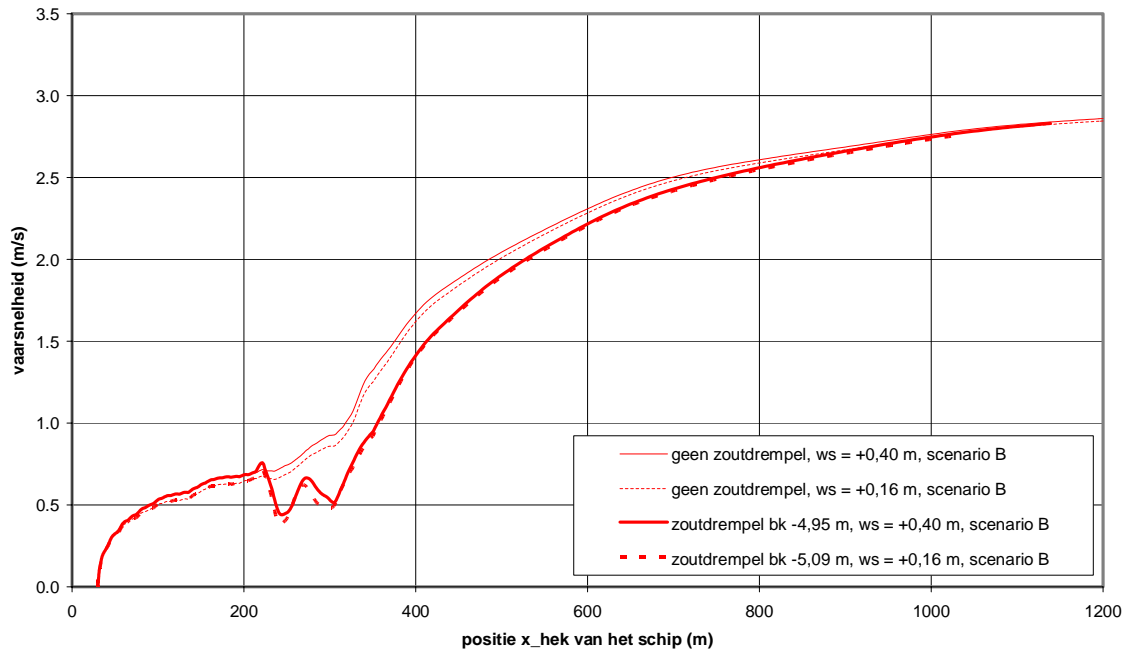
Minimum kielspeling 2-baks duwstel breed, diepgang 4,5 m



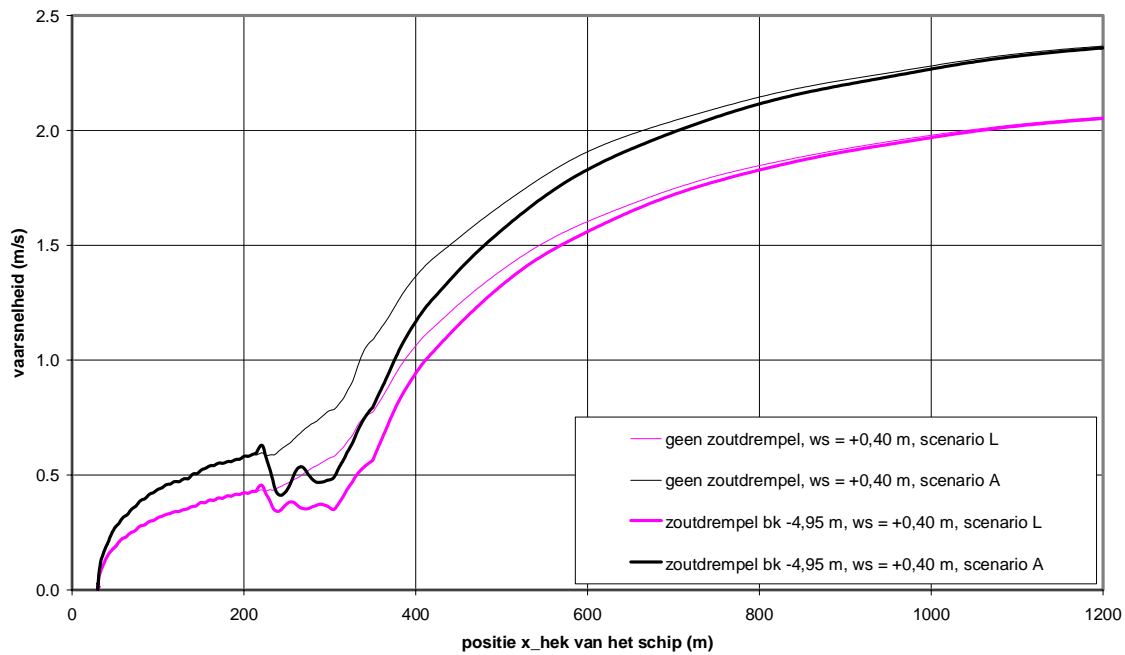
Minimum kielspeling 2-baks duwstel breed, diepgang 4,5 m



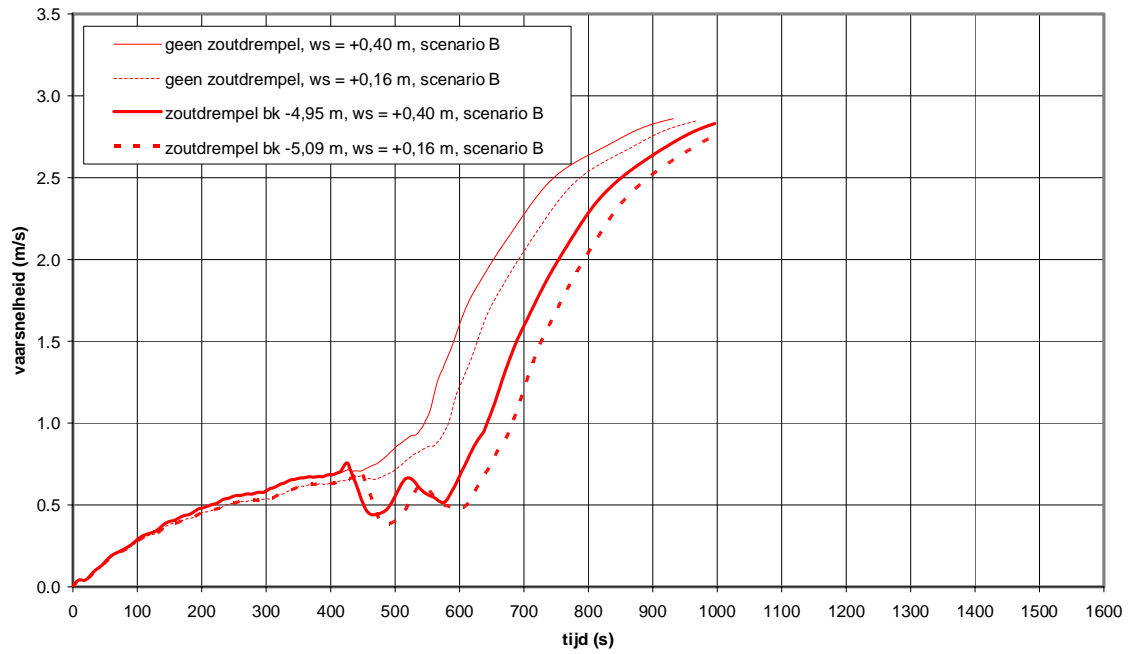
Uitvaarsnelheid 2-baks duwstel breed, diepgang 4,5 m



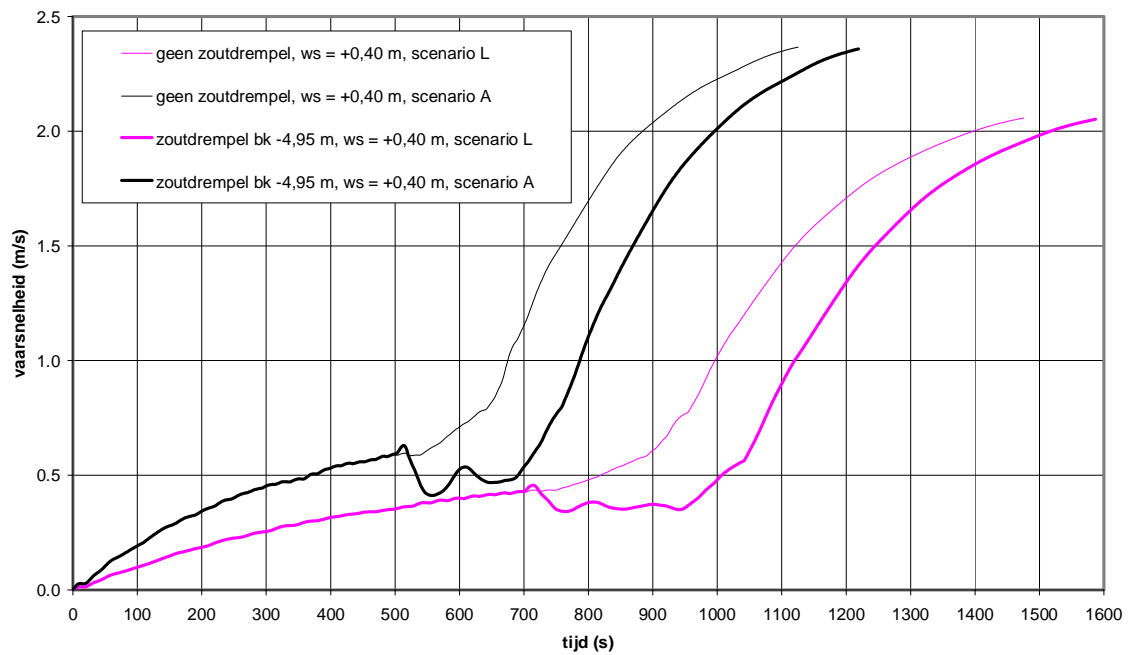
Uitvaarsnelheid 2-baks duwstel breed, diepgang 4,5 m



Uitvaarsnelheid 2-baks duwstel breed, diepgang 4,5 m

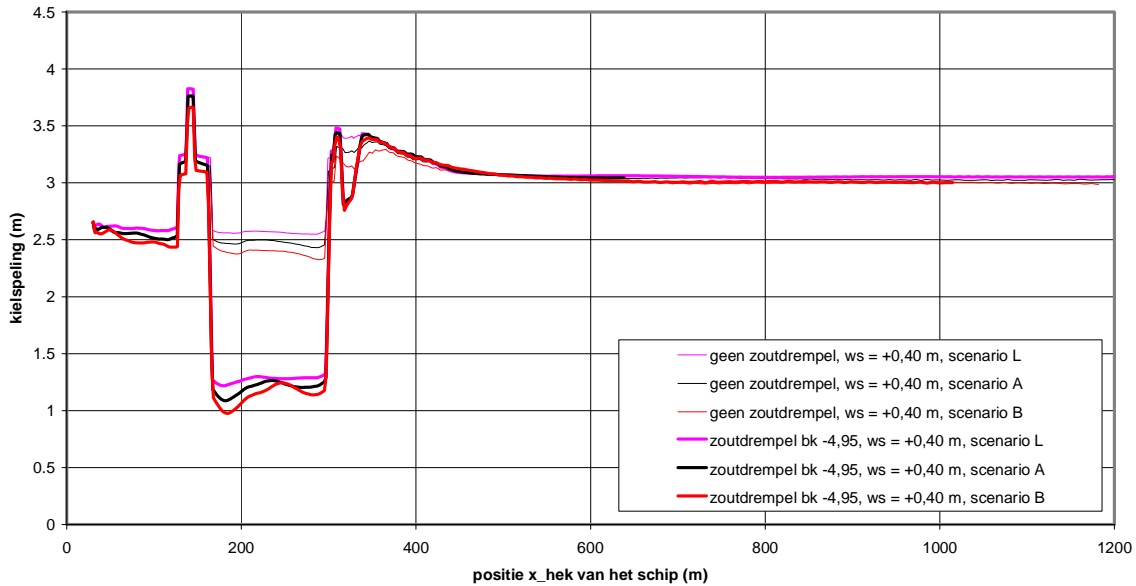


Uitvaarsnelheid 2-baks duwstel breed, diepgang 4,5 m

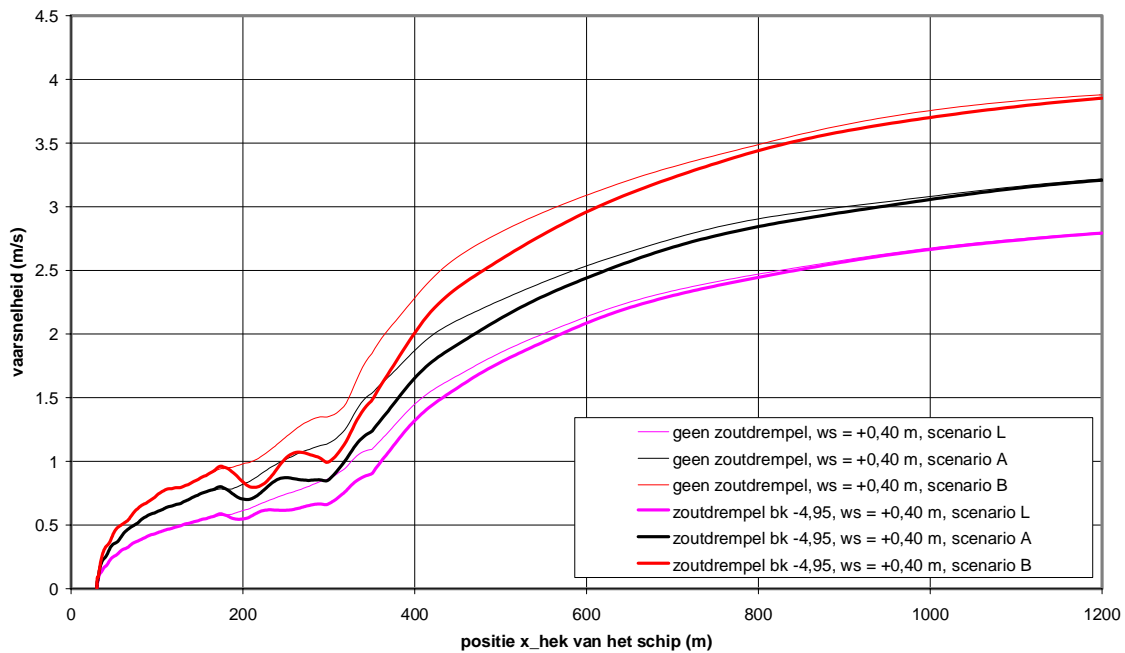


Uitvaren, 4-baks duwstel, diepgang 4,0 m

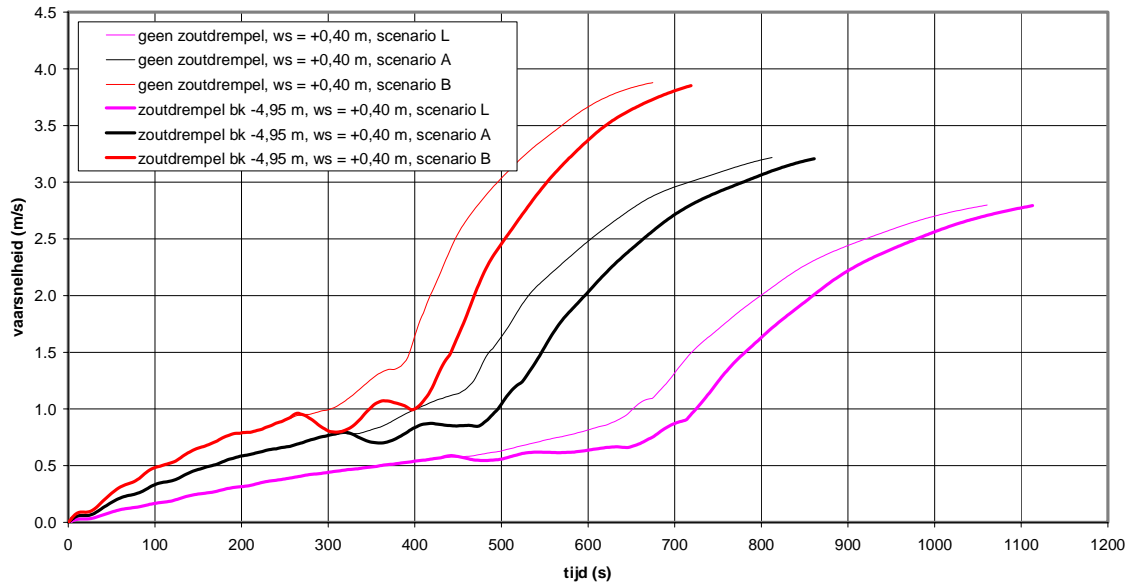
Minimum kielspeling 4-baks duwstel, diepgang 4,0 m



Uitvaarsnelheid 4-baks duwstel, diepgang 4,0 m

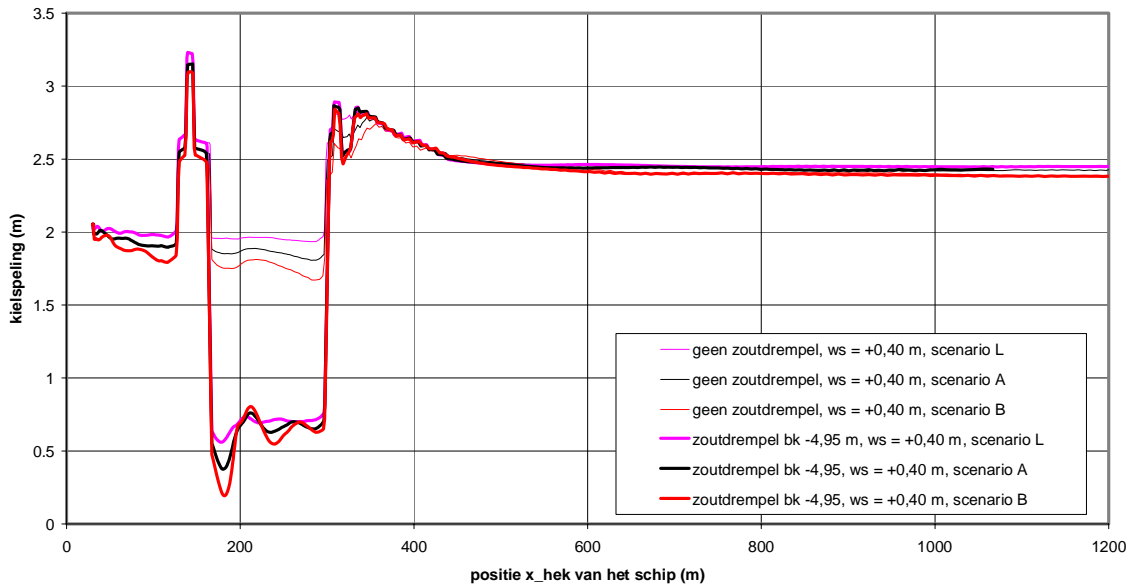


Uitvaarsnelheid 4-baks duwstel, diepgang 4,0 m

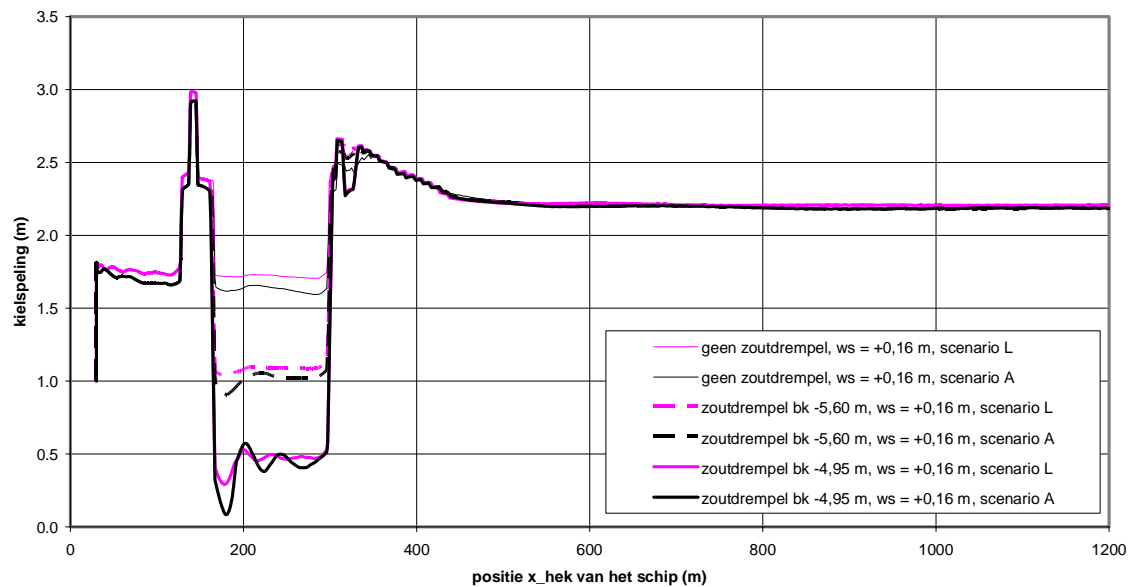


Uitvaren, 4-baks duwstel, diepgang 4,3 m

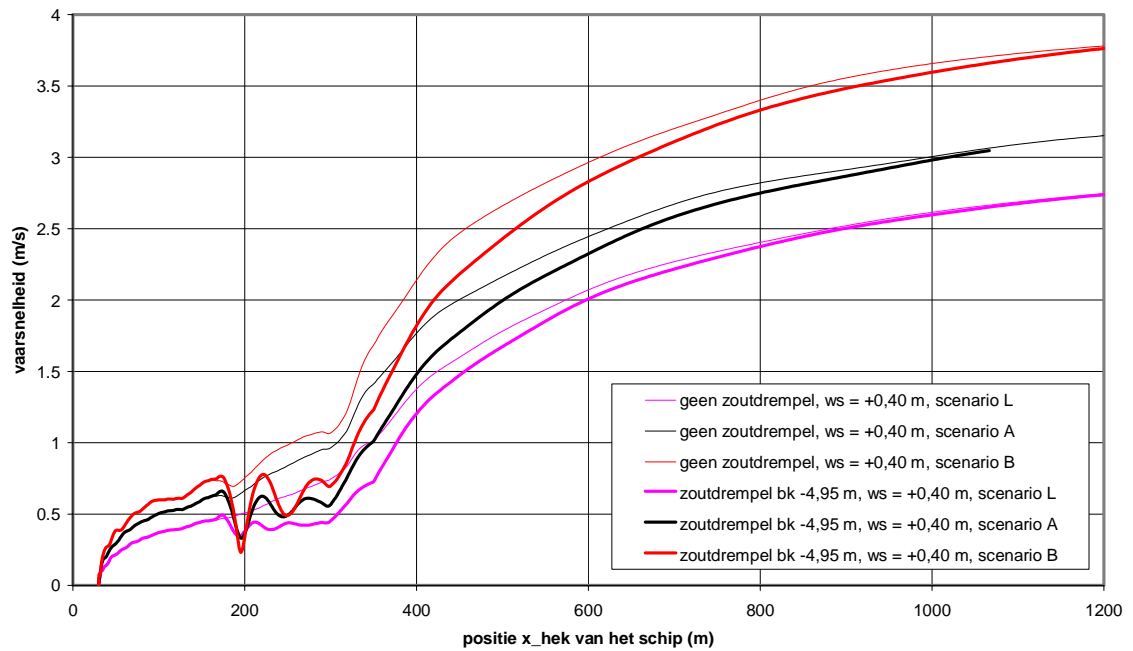
Minimum kielspeling 4-baks duwstel, diepgang 4,3 m



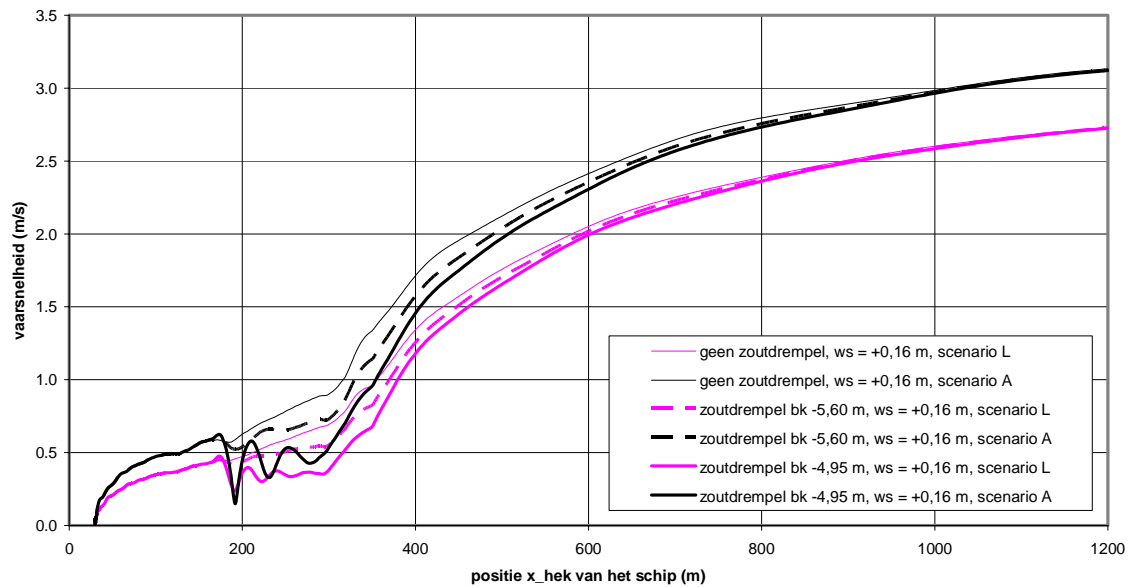
Minimum kielspeling 4-baks duwstel, diepgang 4,3 m



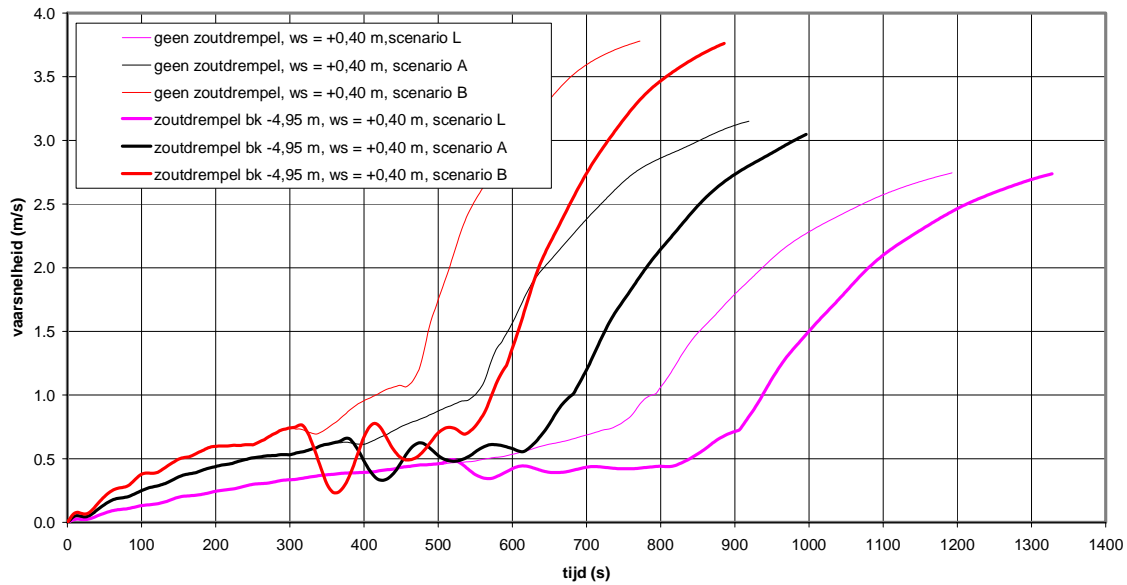
Uitvaarsnelheid 4-baks duwstel, diepgang 4,3 m



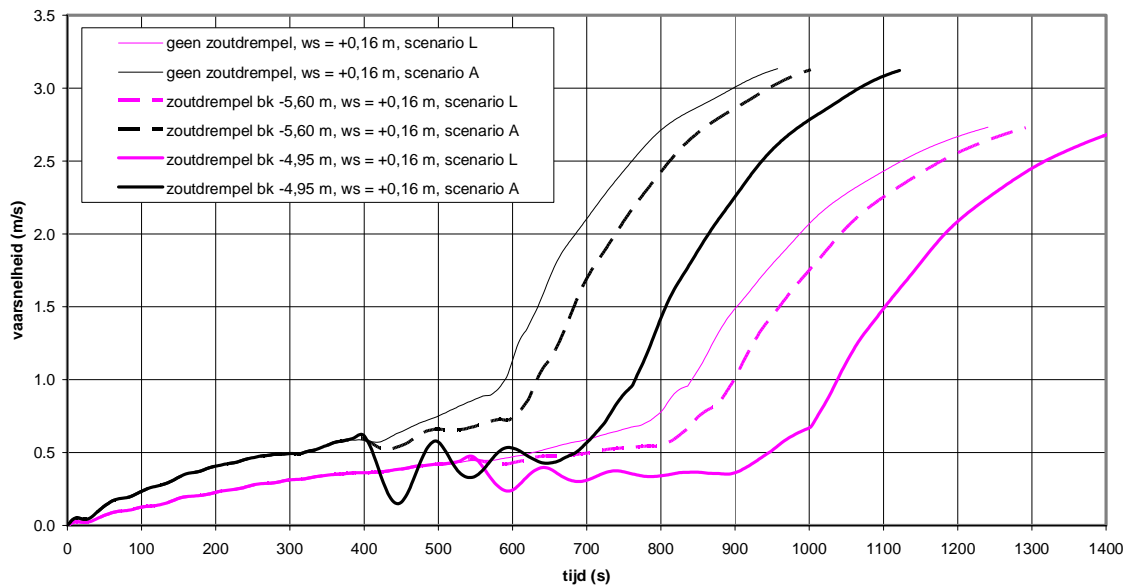
Uitvaarsnelheid 4-baks duwstel, diepgang 4,3 m



Uitvaarsnelheid 4-baks duwstel, diepgang 4,3 m

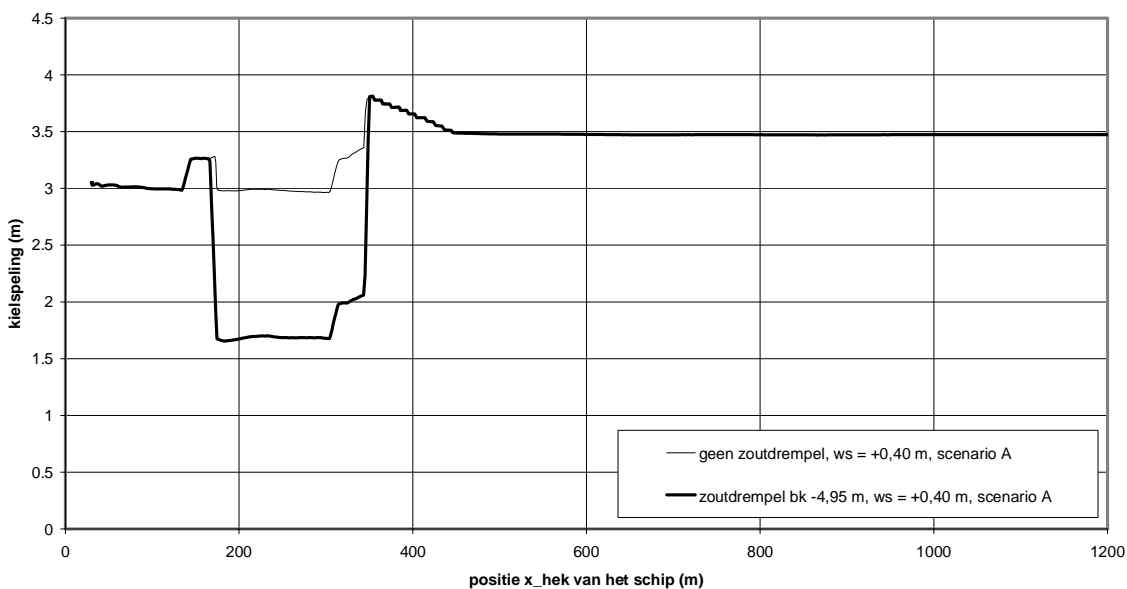


Uitvaarsnelheid 4-baks duwstel, diepgang 4,3 m

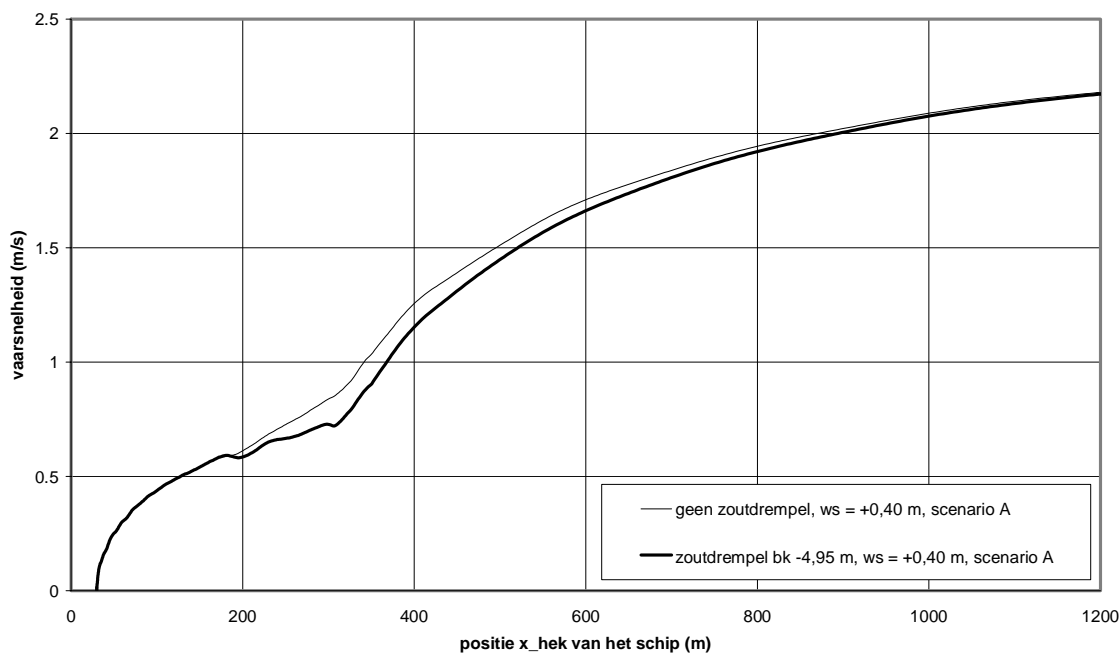


Uitvaren, Koppverband, diepgang 3,7 m / 4,0 m

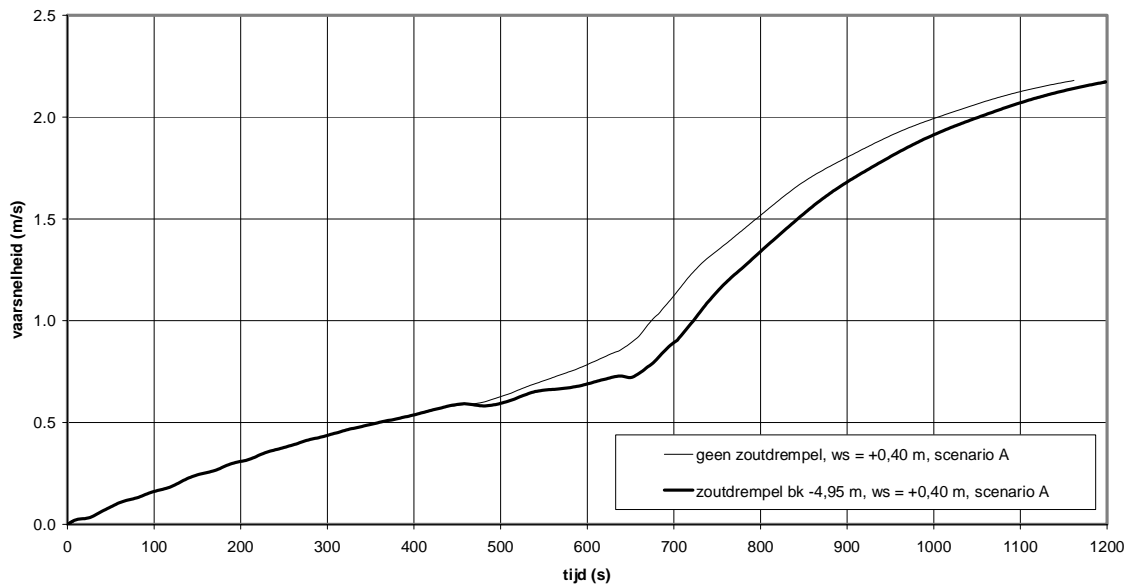
Minimum kielspeling Koppverband, diepgang 3,7 m / 4,0 m



Uitvaarsnelheid Koppverband, diepgang 3,7 m / 4,0 m

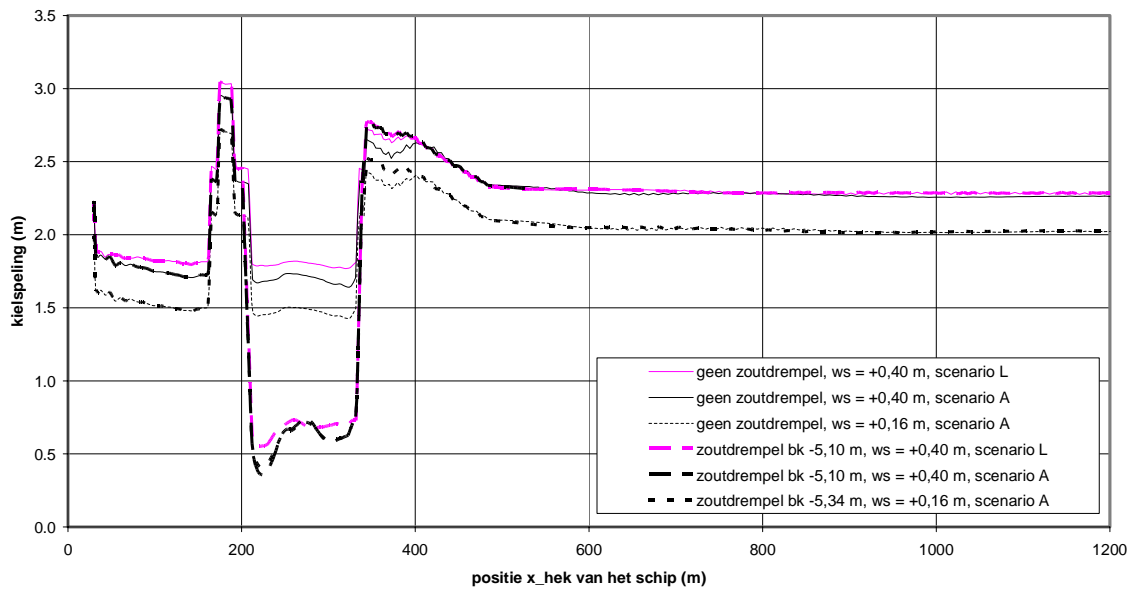


Uitvaarsnelheid Koppverband, diepgang 3,7 m / 4,0 m

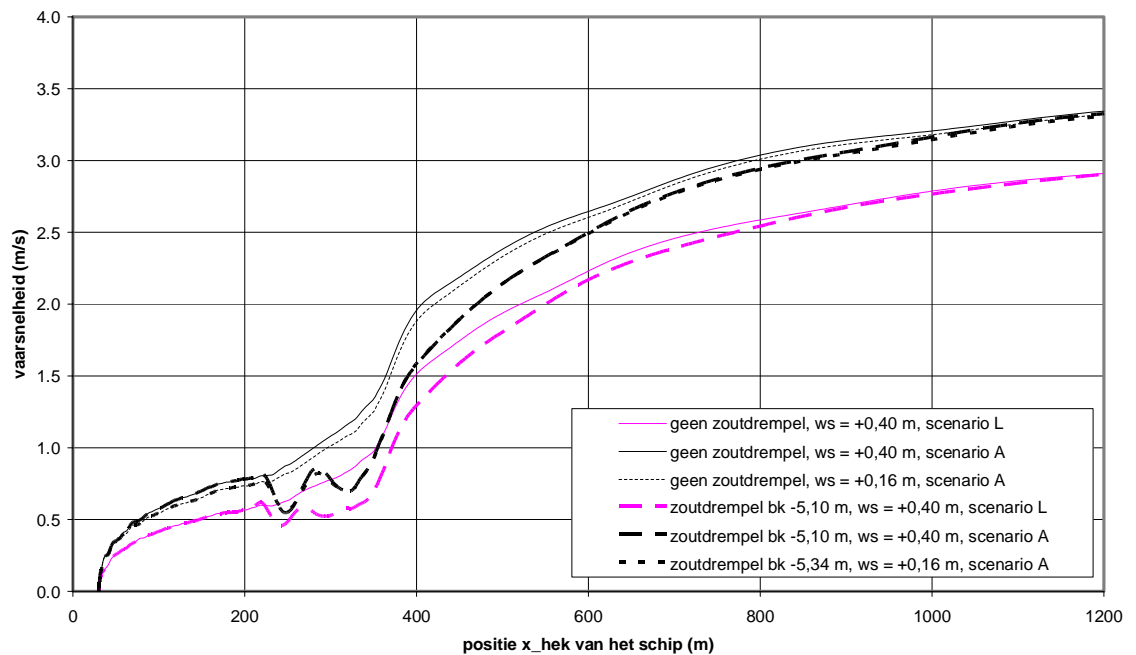


Uitvaren, tanker Vorstenbosch, diepgang 4,75 m

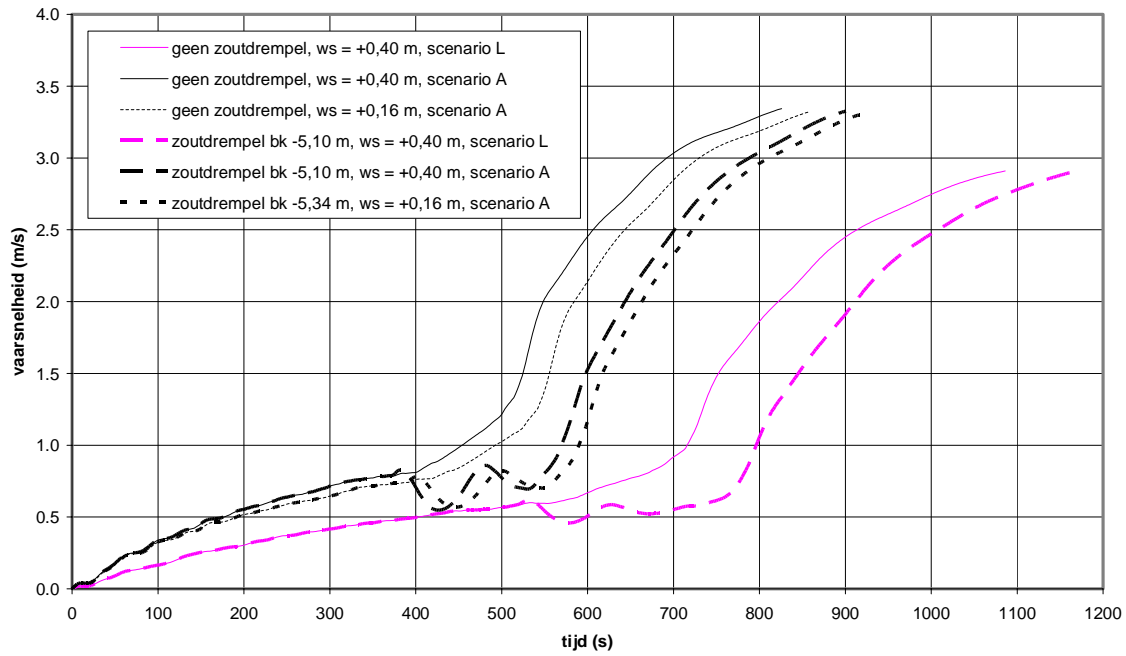
Minimum kielspeling Tanker Vorstenbosch, diepgang 4,75 m



Uitvaarsnelheid Tanker Vorstenbosch, diepgang 4,75 m



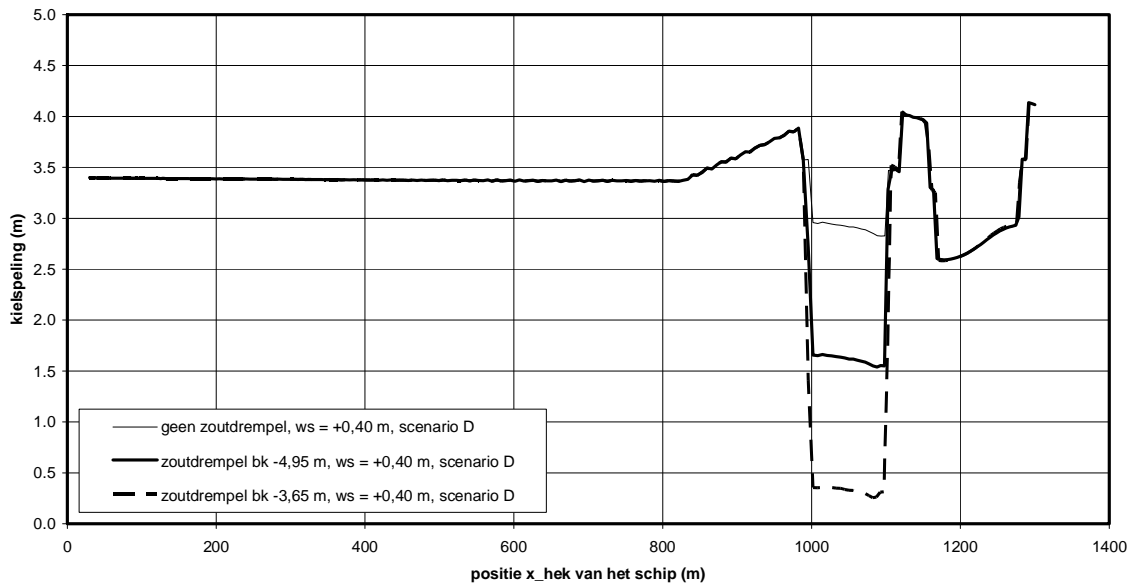
Uitvaarsnelheid Tanker Vorstenbosch, diepgang 4,75 m



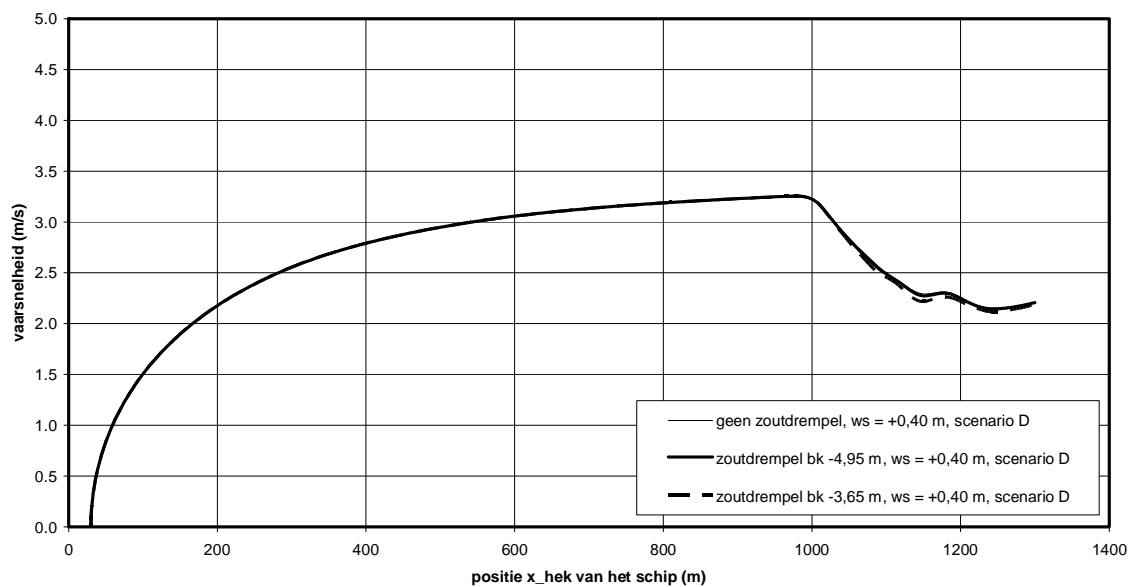
Invaren Volkeraksluis

Invaren, Groot Rijnschip, diepgang 3,7 m

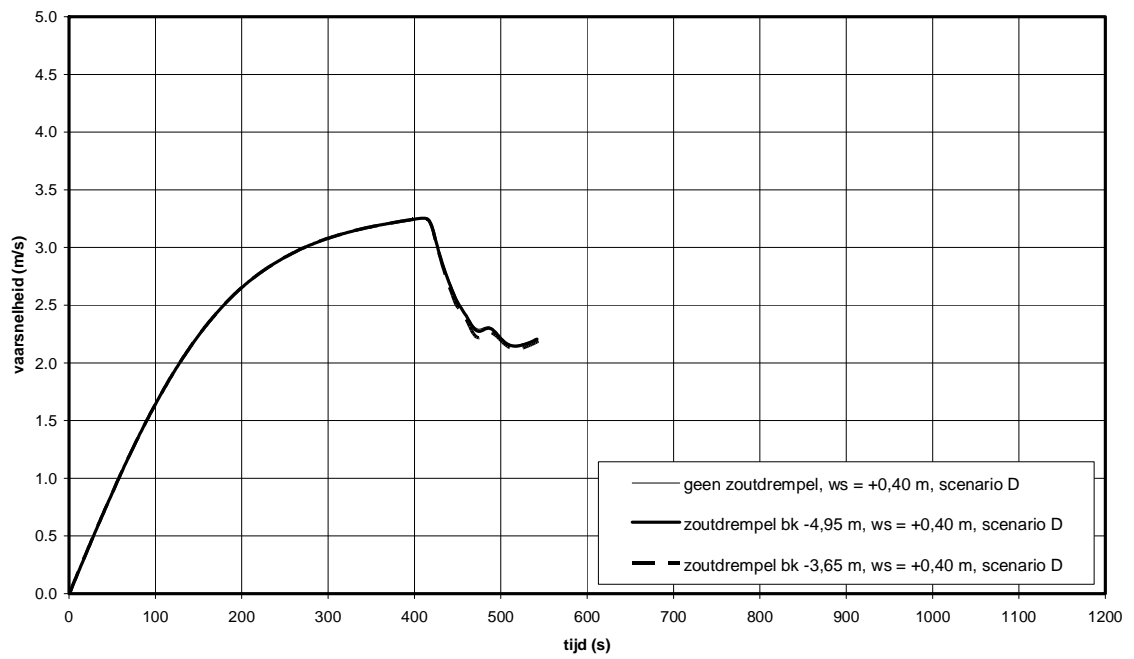
Minimum kielspeling Groot Rijnschip, diepgang 3,7 m



Invaarsnelheid Groot Rijnschip, vaardiepte 3,7 m

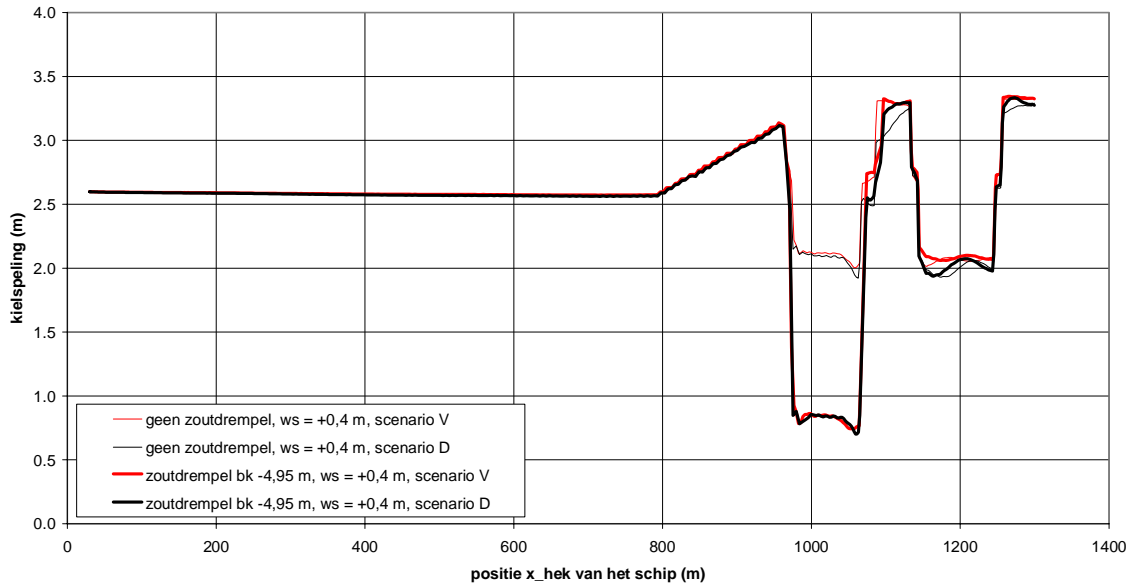


Invaarsnelheid Groot Rijnschip, vaardiepte 3,7 m

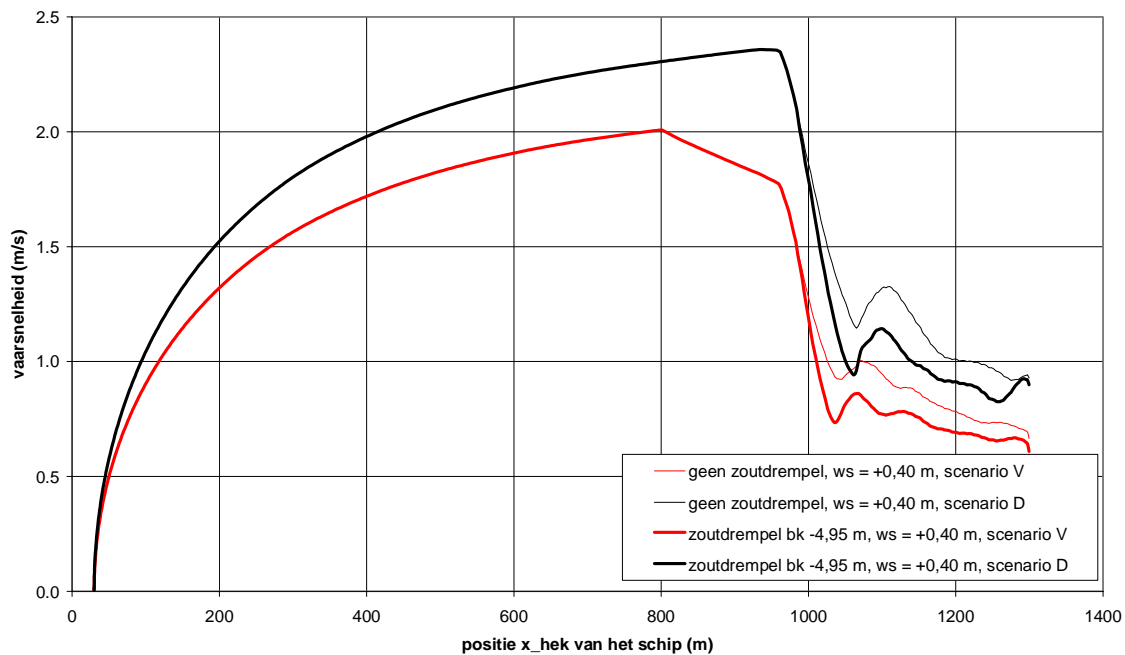


Invaren, 2-baks duwstel breed, diepgang 4,5 m

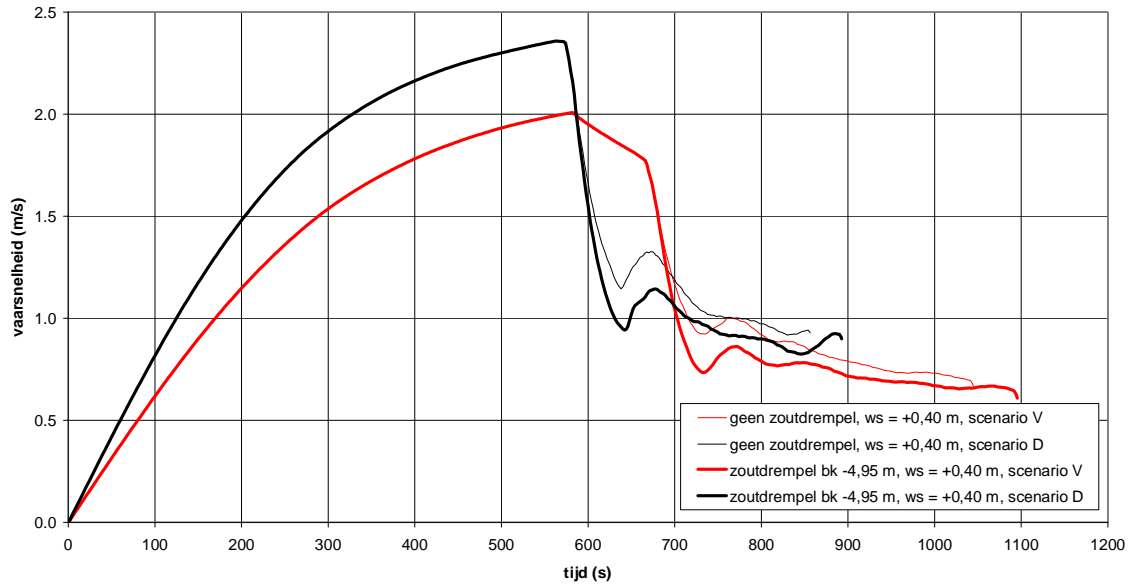
Minimum kielspeling 2-baks duwstel breed, diepgang 4,5 m



Invaarsnelheid 2-baks duwstel breed, diepgang 4,5 m

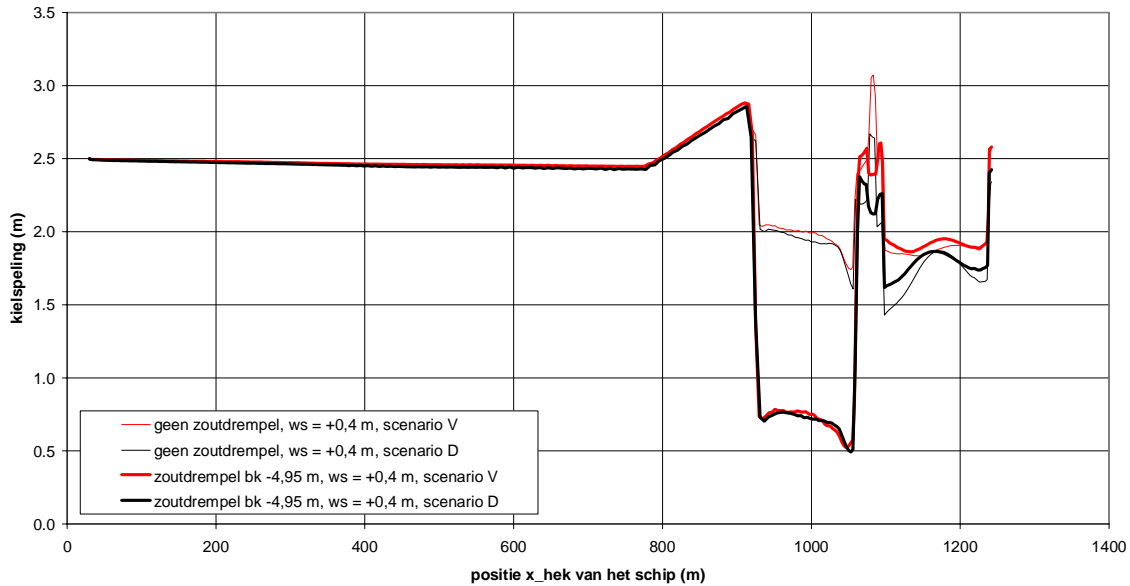


Invaarsnelheid 2-baks duwstel breed, diepgang 4,5 m

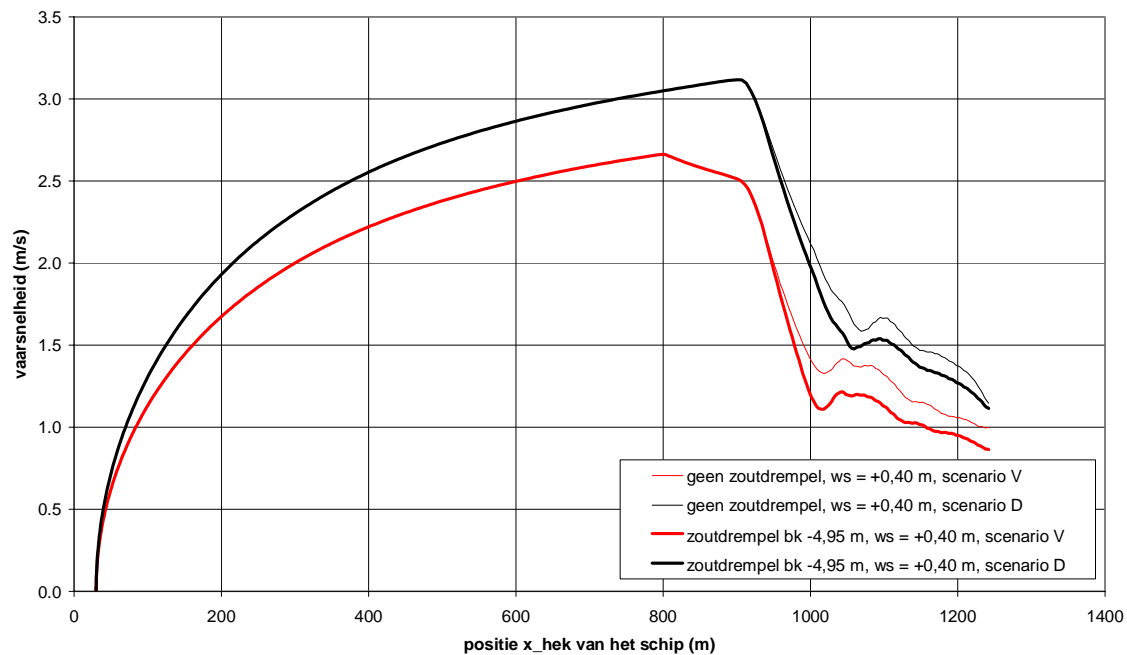


Invaren, 4-baks duwstel, diepgang 4,3 m

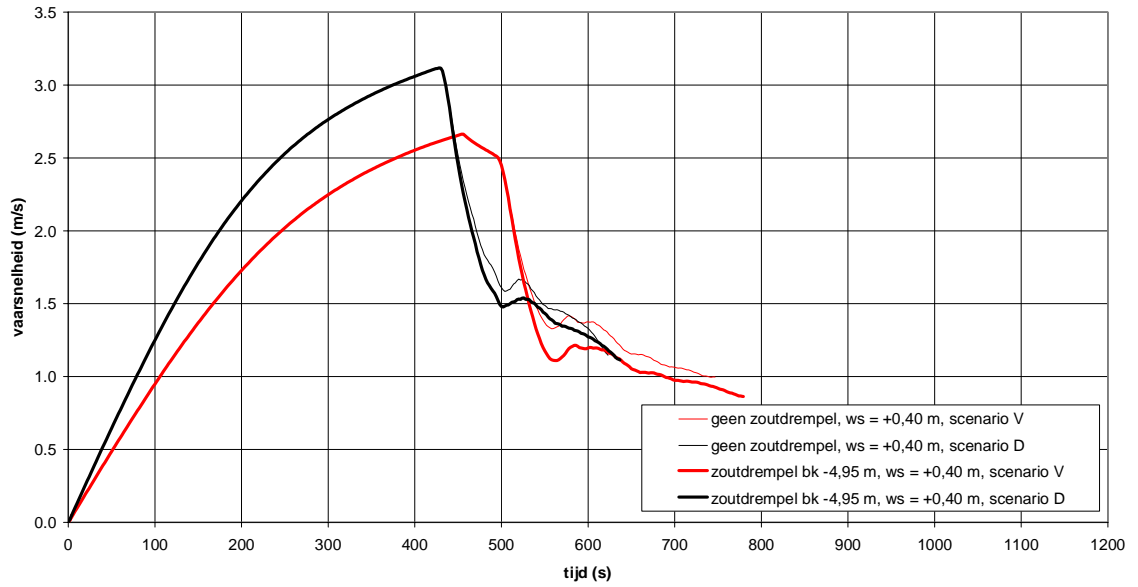
Minimum kielspeling 4-baks duwstel, diepgang 4,3 m



Invaarsnelheid 4-baks duwstel, diepgang 4,3 m

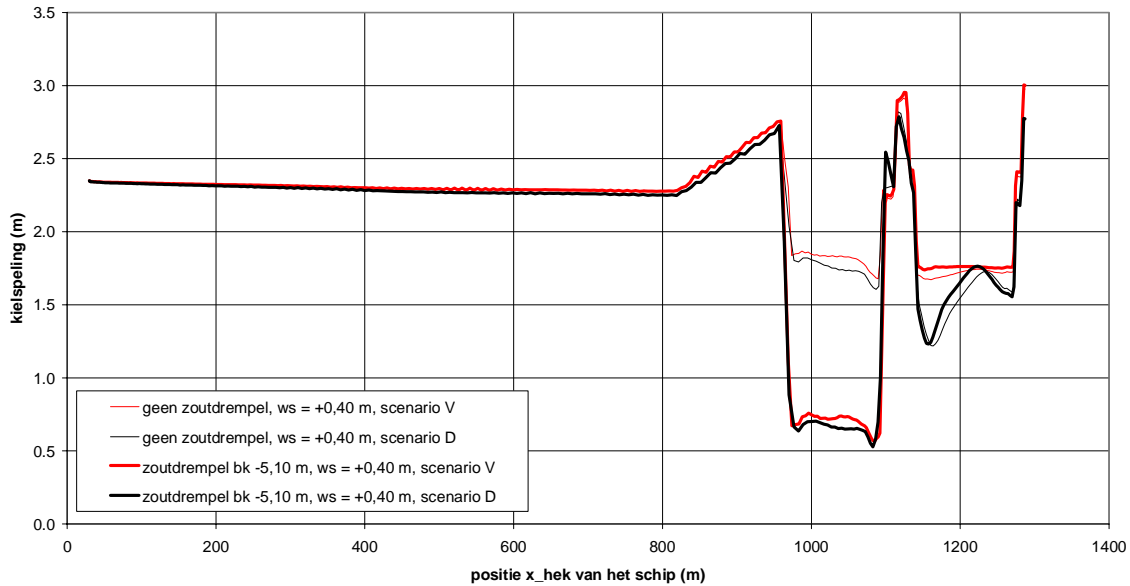


Invaarsnelheid 4-baks duwstel, diepgang 4,3 m

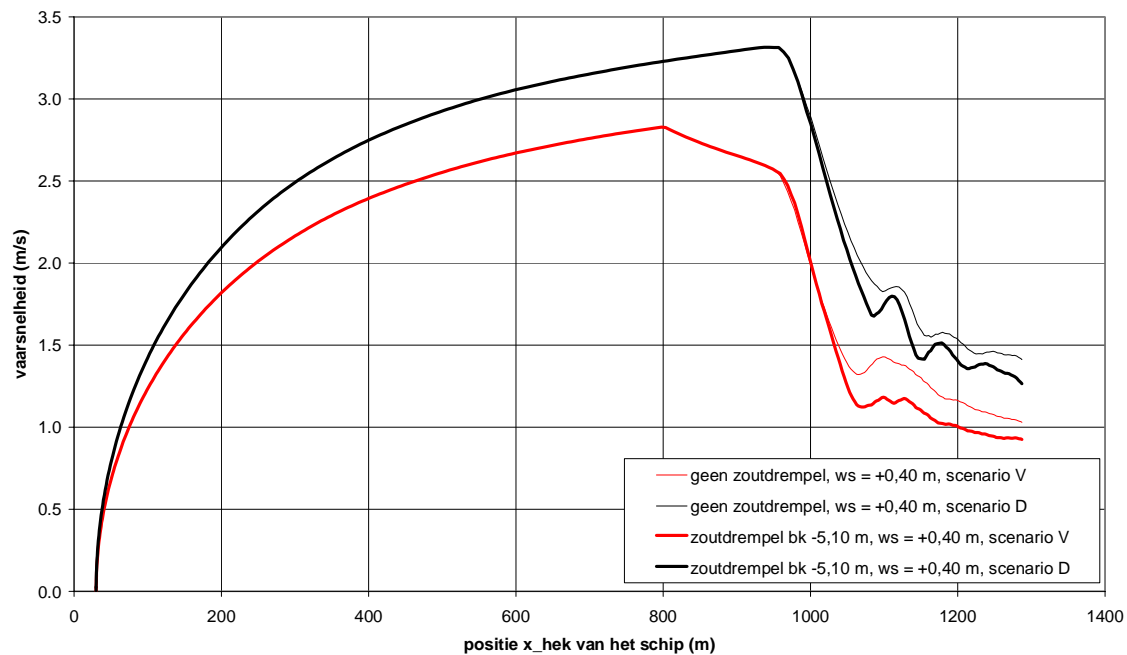


Invaren, tanker Vorstenbosch, diepgang 4,75 m

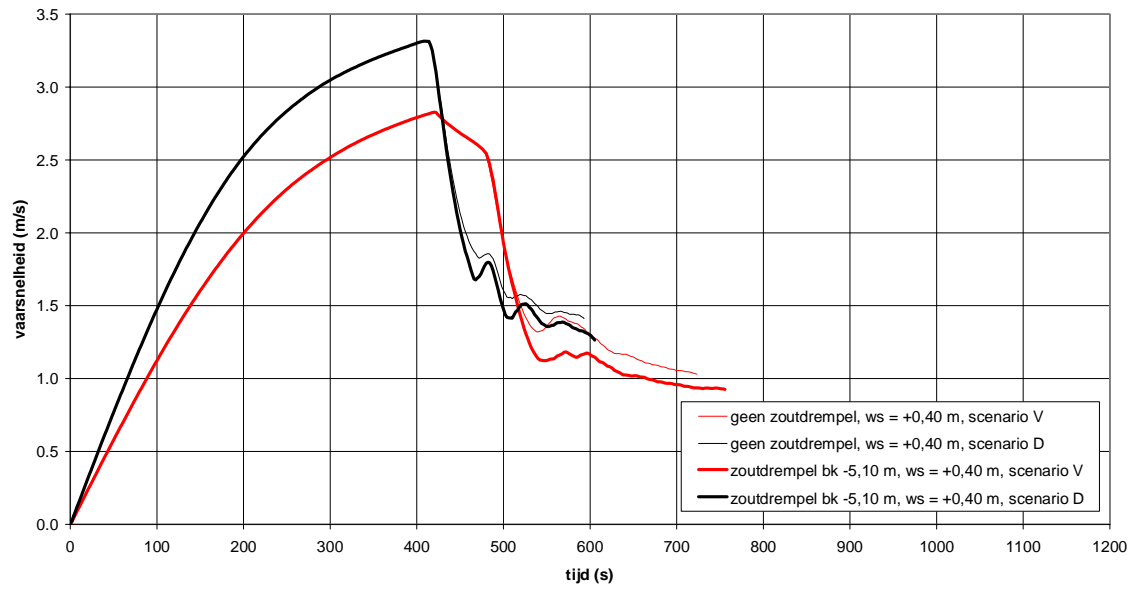
Minimum kielspeling Tanker Vorstenbosch, diepgang 4,75 m



Invaarsnelheid Tanker Vorstenbosch, diepgang 4,75 m



Invaarsnelheid Tanker Vorstenbosch, diepgang 4,75 m



B Scheepvaartgegevens Volkeraksluizen, jaar 2008

Door de opdrachtgever RWS zijn de volgende gegevens van de vrachtaart door de Volkeraksluizen voor het jaar 2008 ter beschikking gesteld:

- Aantal scheepspassages met onderscheid in vaarrichting en AVV scheepsklasse
- Aantal vrachtschepen breder dan 19 m met onderscheid in scheepstype en diepgang

Jaar		2008			
Vaarrichting		N		Z	
		Totaal aantal passages	Totaal laadvermogen VE (in ton)	Totaal aantal passages	Totaal laadvermogen VE (in ton)
Telpunt	AVV (Laadvermogen)-klasse				
Volkeraksluizen, sluis (143)		676	414.010	832	601.961
	B01	2	416	2	551
	B02	12	5.083	11	2.495
	B03	21	10.974	20	7.847
	B04	109	69.685	109	65.677
	B1	307	327.192	313	316.670
	B11-1	632	1.028.239	717	1.214.569
	B11-2L	389	2.122.349	476	2.500.335
	B11-2b	637	3.127.525	528	2.597.233
	B11-4	227	2.431.719	226	2.383.397
	B11-6l	3	33.695	1	9.447
	B11L-1	526	1.763.479	535	1.809.272
	B11a-1	261	751.369	289	830.387
	C1b	39	29.531	61	47.464
	C11	175	135.172	139	107.421
	C2b	62	159.771	79	222.459
	C21	128	295.599	120	270.835
	C3b	575	3.063.944	583	2.874.729
	C31	1.485	7.254.288	1.467	7.444.030
	C4	220	1.670.924	231	1.763.976
	MO	40	3.850	52	6.272
	M1	1.301	479.398	1.281	469.923
	M2	3.201	1.924.231	3.354	2.012.556
	M3	2.991	2.338.983	3.187	2.488.254
	M4	3.017	2.865.146	3.181	3.023.208
	M5	4.215	4.944.452	4.326	5.079.422
M6	7.276	10.392.751	7.460	10.684.236	
M7	3.245	6.411.986	3.399	6.736.383	
M8	17.291	42.996.407	17.537	43.623.197	
M9	2.168	7.806.429	2.165	7.804.374	
M10	1.476	5.244.672	1.497	5.302.327	
M11	808	3.911.539	803	3.888.670	
M12	884	5.153.209	887	5.171.245	
Total		54.399	119.168.017	55.868	121.360.822

Tabel B-1 Aantal scheepspassages in 2008 met onderscheid in vaarrichting (noordwaarts, N, en zuidwaarts, Z) en AVV-scheepsklasse

2008	t/m	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	Totaal
(1-4)	Motorvrachtschepen	39	0	1	2	1	2	1	3	0	49
(7-8)	Koppelverbanden	1168	0	0	0	0	0	0	0	0	1168
(9-10)	Motorvrachtduwend	276	0	0	0	0	0	0	0	0	276
21+31	1-baksduwstellen	49	0	0	0	0	0	0	0	0	49
22+32	2-baksduwstellen	980	1	0	0	0	1	0	0	0	982
23	3-baksduwstellen	124	3	3	8	1	0	0	0	0	139
24	4-baksduwstellen	260	9	34	11	9	0	0	0	0	323
											2986

Tabel B-2 Aantal vrachtschepen in 2008 breder dan 19,0 m met onderscheid in scheepstype en diepgang

C Selectie van berekeningsresultaten WAROS in tabelvorm

In tabelvorm worden de volgende resultaten van de WAROS-berekeningen getoond:

- de kleinste kielspeling boven de zoutdrempel (of wanneer geen zoutdrempel aanwezig is de kleinste kielspeling boven de drempel van de sluis) tijdens passage van het schip
- de vaarsnelheid op het moment van passage van de boeg van het schip over de (zout)drempel
- de grootste retourstroomsnelheid in het "meetpunt" in de kolk op 30 m afstand van de zoutdrempel (zie Figuur 2.2 en Figuur 2.3 voor meetpunten); de retourstroomsnelheid betreft de gemiddelde snelheid in de natte doorsnede rond het schip; de retourstroomsnelheid boven de (zout)drempel is groter dan in dit "meetpunt" is berekend en volgt ruwweg uit vermenigvuldiging met het quotiënt van natte doorsnede rond het schip in het "meetpunt" en natte doorsnede rond het schip boven de drempel
- bij uitvaren: de uitvaartijd tot aan passage van het hek van het schip over de lijn $x = 600$ m (zie Figuur 2.2); bij invaren: de invaartijd tot aan passage van het hek van het schip over de lijn $x = 1200$ m (zie Figuur 2.3)

De cursief aangeduide resultaten zijn afkomstig van de vroegere studie [WL | Delft Hydraulics (2007)].

ber.	scheepstype	waterstand (m NAP)	peil b.k. zoutdrempel (m NAP)	diepgang schip (m)	vaar- scenario	kleinste kielspeling (m)	vaar- snelheid (m/s)	retourstr.- snelheid (m/s)	uitvaartijd tot x=600 (s)
UitRHK1A	Rijn-Herne schip	0.40	geen drempel	3.20	A	3.41	1.24	-0.37	513
UitRHK1B	Rijn-Herne schip	0.40	geen drempel	3.20	B	3.39	1.51	-0.46	422
UitRHK1C	Rijn-Herne schip	0.40	geen drempel	3.20	C	3.35	1.92	-0.62	335
UitRHK3A	Rijn-Herne schip	0.40	-3.65	3.20	A	0.80	1.24	-0.71	516
UitRHK3B	Rijn-Herne schip	0.40	-3.65	3.20	B	0.78	1.51	-0.90	424
UitRHK3C	Rijn-Herne schip	0.40	-3.65	3.20	C	0.74	1.92	-1.21	337
UitGRS1A	Groot Rijnschip	0.40	geen drempel	3.70	A	2.86	1.37	-0.74	444
UitGRS1B	Groot Rijnschip	0.40	geen drempel	3.70	B	2.82	1.65	-0.93	366
UitGRS1C	Groot Rijnschip	0.40	geen drempel	3.70	C	2.73	2.07	-1.27	292
UitGRS2A	Groot Rijnschip	0.40	-4.95	3.70	A	1.56	1.37	-1.02	445
UitGRS2B	Groot Rijnschip	0.40	-4.95	3.70	B	1.52	1.65	-1.30	367
UitGRS2C	Groot Rijnschip	0.40	-4.95	3.70	C	1.44	2.07	-1.78	293
UitGRS3A	Groot Rijnschip	0.40	-3.65	3.70	A	0.25	1.37	-1.54	451
UitGRS3B	Groot Rijnschip	0.40	-3.65	3.70	B	0.20	1.65	-1.97	371
UitDuw1B	2-baks duwstel lang	0.40	geen drempel	4.00	B	2.56	1.14	-0.90	445
UitDuw1C	2-baks duwstel lang	0.40	geen drempel	4.00	C	2.51	1.44	-1.26	353
UitDuw2B	2-baks duwstel lang	0.40	-4.95	4.00	B	1.25	1.14	-1.25	447
UitDub1B	2-baks duwstel breed, d=4,0m	0.40	geen drempel	4.00	B	2.45	0.93	-1.73	573
UitDub1C	2-baks duwstel breed, d=4,0m	0.40	geen drempel	4.00	C	2.32	1.15	-2.30	461
UitDub2B	2-baks duwstel breed, d=4,0m	0.40	-4.95	4.00	B	1.08	0.93	-2.74	605
UitDub2C	2-baks duwstel breed, d=4,0m	0.40	-4.95	4.00	C	0.88	1.15	-3.99	493

Tabel C-1 WAROS-resultaten uitvaren (vroegere studie)

ber.	scheepstype	waterstand (m NAP)	peil b.k. zoutdrempel (m NAP)	diepgang schip (m)	vaar- scenario	kleinste kielspeling (m)	vaar- snelheid (m/s)	retourstr.- snelheid (m/s)	uitvaartijd tot x=600 (s)
Uit100L	2-baks duwstel breed, d=4,5m	0.40	geen drempel	4.50	L	2.08	0.42	-1.11	1157
Uit100A	2-baks duwstel breed, d=4,5m	0.40	geen drempel	4.50	A	2.01	0.58	-1.61	851
Uit100B	2-baks duwstel breed, d=4,5m	0.40	geen drempel	4.50	B	1.95	0.69	-2.01	706
Uit110B	2-baks duwstel breed, d=4,5m	0.16	geen drempel	4.50	B	1.72	0.65	-1.94	740
Uit101L	2-baks duwstel breed, d=4,5m	0.40	-4.95	4.50	L	0.73	0.42	-1.80	1265
Uit101A	2-baks duwstel breed, d=4,5m	0.40	-4.95	4.50	A	0.61	0.58	-2.72	941
Uit101B	2-baks duwstel breed, d=4,5m	0.40	-4.95	4.50	B	0.50	0.69	-3.55	788
Uit111B	2-baks duwstel breed, d=4,5m	0.16	-5.09	4.50	B	0.41	0.65	-3.49	826
Uit200L	4.baks duwstel, d=4,0m	0.40	geen drempel	4.00	L	2.55	0.54	-1.42	824
Uit200A	4.baks duwstel, d=4,0m	0.40	geen drempel	4.00	A	2.43	0.75	-2.15	609
Uit200B	4.baks duwstel, d=4,0m	0.40	geen drempel	4.00	B	2.32	0.87	-2.70	507
Uit201L	4.baks duwstel, d=4,0m	0.40	-4.95	4.00	L	1.22	0.54	-1.67	874
Uit201A	4.baks duwstel, d=4,0m	0.40	-4.95	4.00	A	1.09	0.75	-2.50	655
Uit201B	4.baks duwstel, d=4,0m	0.40	-4.95	4.00	B	0.98	0.87	-3.11	548
Uit300L	4.baks duwstel, d=4,3m	0.40	geen drempel	4.30	L	1.93	0.45	-1.67	950
Uit300A	4.baks duwstel, d=4,3m	0.40	geen drempel	4.30	A	1.81	0.61	-2.49	710
Uit300B	4.baks duwstel, d=4,3m	0.40	geen drempel	4.30	B	1.67	0.72	-3.23	599
Uit310L	4.baks duwstel, d=4,3m	0.16	geen drempel	4.30	L	1.70	0.42	-1.61	996
Uit310A	4.baks duwstel, d=4,3m	0.16	geen drempel	4.30	A	1.59	0.57	-2.36	747
Uit301L	4.baks duwstel, d=4,3m	0.40	-4.95	4.30	L	0.56	0.45	-2.41	1082
Uit301A	4.baks duwstel, d=4,3m	0.40	-4.95	4.30	A	0.37	0.61	-3.52	826
Uit301B	4.baks duwstel, d=4,3m	0.40	-4.95	4.30	B	0.19	0.72	-4.82	709
Uit311L	4.baks duwstel, d=4,3m	0.16	-4.95	4.30	L	0.29	0.42	-2.89	1181
Uit311A	4.baks duwstel, d=4,3m	0.16	-4.95	4.30	A	0.08	0.57	-4.33	907
Uit312L	4.baks duwstel, d=4,3m	0.16	-5.60	4.30	L	1.04	0.42	-1.69	1046
Uit312A	4.baks duwstel, d=4,3m	0.16	-5.60	4.30	A	0.91	0.57	-2.43	789
Uit400A	Koppelverband	0.40	geen drempel	3.7 / 4.0	A	2.96	0.56	-1.18	860
Uit401A	Koppelverband	0.40	-4.95	3.7 / 4.0	A	1.66	0.56	-1.52	893
Uit500L	Tanker Vorstenbosch	0.40	geen drempel	4.75	L	1.77	0.56	-1.64	860
Uit500A	Tanker Vorstenbosch	0.40	geen drempel	4.75	A	1.64	0.78	-2.40	631
Uit510A	Tanker Vorstenbosch	0.16	geen drempel	4.75	A	1.43	0.73	-2.32	661
Uit502L	Tanker Vorstenbosch	0.40	-5.10	4.75	L	0.55	0.56	-2.43	936
Uit502A	Tanker Vorstenbosch	0.40	-5.10	4.75	A	0.36	0.78	-2.76	701
Uit512A	Tanker Vorstenbosch	0.16	-5.34	4.75	A	0.41	0.73	-3.28	721

Tabel C-2 WAROS-resultaten uitvaren (huidige studie)

ber.	scheepstype	waterstand (m NAP)	peil b.k. zoutdrempel (m NAP)	diepgang schip (m)	vaar- scenario	kleinste kielspeling (m)	vaar- snelheid (m/s)	retourstr.- snelheid (m/s)	invaartijd tot x=1200 (s)
InGRS1D	Groot Rijnschip	0.40	geen drempel	3.70	D	2.60	3.22	-0.63	496
InGRS2D	Groot Rijnschip	0.40	-4.95	3.70	D	1.54	3.22	-0.59	496
InGRS3D	Groot Rijnschip	0.40	-3.65	3.70	D	0.26	3.22	-0.48	497

Tabel C-3 WAROS-resultaten invaren (vroegere studie)

ber.	scheepstype	waterstand (m NAP)	peil b.k. zoutdrempel (m NAP)	diepgang schip (m)	vaar- scenario	kleinste kielspeling (m)	vaar- snelheid (m/s)	retourstr.- snelheid (m/s)	invaartijd tot x=1200 (s)
In100V	2-baks duwstel breed, d=4,5m	0.40	geen drempel	4.50	V	2.00	1.70	-0.96	910
In100D	2-baks duwstel breed, d=4,5m	0.40	geen drempel	4.50	D	1.92	2.29	-1.32	753
In101V	2-baks duwstel breed, d=4,5m	0.40	-4.95	4.50	V	0.74	1.70	-0.67	948
In101D	2-baks duwstel breed, d=4,5m	0.40	-4.95	4.50	D	0.70	2.29	-0.77	780
In300V	4.baks duwstel, d=4,3m	0.40	geen drempel	4.30	V	1.74	1.76	-1.35	706
In300D	4.baks duwstel, d=4,3m	0.40	geen drempel	4.30	D	1.43	2.47	-1.94	590
In301V	4.baks duwstel, d=4,3m	0.40	-4.95	4.30	V	0.52	1.66	-0.79	733
In301D	4.baks duwstel, d=4,3m	0.40	-4.95	4.30	D	0.49	2.38	-0.94	602
In500V	Tanker Vorstenbosch	0.40	geen drempel	4.75	V	1.67	2.51	-1.26	643
In500D	Tanker Vorstenbosch	0.40	geen drempel	4.75	D	1.22	3.29	-1.35	533
In502V	Tanker Vorstenbosch	0.40	-5.10	4.75	V	0.57	2.53	-0.74	665
In502D	Tanker Vorstenbosch	0.40	-5.10	4.75	D	0.53	3.29	-0.66	541

Tabel C-4 WAROS-resultaten invaren (huidige studie)