

D-1970

Directoraat-Generaal Rijkswater

ONDERZOEK TIJPOORTEN WESTERSCHELDE

Eindrapport



Adviesdienst Verkeer en Vervoer

Ministerie van Verkeer en Waterstaat



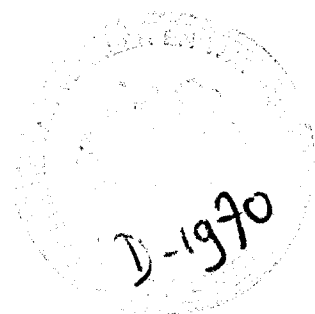
Onderzoek Tijpoorten Westerschelde

Eindrapport

Rotterdam, 1 december 1993

Projectcode: S90.607

C:\wp51\wester\ws_resul.not



Voorwoord

De voorbereidingen voor het Onderzoek Tjipoorten Westerschelde zijn gestart in maart 1990. Dit heeft op 20 augustus 1991 geresulteerd in een opdracht van het Directoraat-Generaal Scheepvaart en Maritieme zaken (DGSM) aan de Adviesdienst Verkeer en Vervoer (AVV, de toenmalige Dienst Verkeerskunde). Het onderzoek is begeleid door een projectteam, met vertegenwoordigers van Directie Zeeland, Directie Noordzee en Dienst Getijdewateren. Deze projectgroep stond onder leiding van de heer Meulblok van Directie Zeeland. De opdrachtgever werd in de projectgroep vertegenwoordigd door de heer Den Os. Namens de opdrachtnemer had de heer Wijnstra zitting in de projectgroep.

De verzameling en eerste verwerking van hydro-meteo gegevens is uitgevoerd door Directie Zeeland. Het relateren van golfgegevens aan scheepsbewegingen is uitgevoerd door de Dienst Getijdewateren. Daarnaast heeft het Maritiem Research Instituut Nederland de scheepsbewegingen berekend voor twee schepen. Deze berekeningen zijn in opdracht van DGSM begeleid door de AVV. De projectcoördinatie, de tjiport-berekeningen en de eindrapportage is uitgevoerd door de AVV.

Samenvatting

Probabilistische tijpoorten zijn berekend voor Cape-size en Panamax bulkcarriers¹⁾. Deze tijpoorten gelden voor de vaart van de loodspost Wandelaar naar de Sloehaven, of naar de ankerplaats Everingen. De berekende tijpoorten geven een toegankelijkheid, die vergelijkbaar is met de huidige situatie. Het belangrijkste voordeel van de berekende tijpoorten is, dat de maximaal mogelijke toegankelijkheid is bepaald, binnen een vastgesteld veiligheidsniveau. Een ander voordeel is, dat deze veiligheid op een objectieve wijze gewaarborgd wordt.

De berekende tijpoorten voldoen aan de volgende veiligheidscriteria:

- gedurende 25 jaar geulgebruik mag de kans dat een schip de bodem van de geul raakt niet groter zijn dan 10 %;
- de kans dat een individueel schip tijdens een geulvaart de bodem raakt, dient onder alle omstandigheden kleiner te zijn dan 1%, ongeacht de kans van voorkomen van de omstandigheden waaronder wordt gevaren;
- de minimale netto kielspeling dient 1 meter te zijn.

Ten bate van de probabilistische berekeningen zijn gegevens verzameld die de geul, het astronomische getijde, het meteo-effect en het golfklimaat beschrijven. Tevens zijn de verticale scheepsbewegingen berekend van een Cape-size bulkcarrier en een Panamax bulkcarrier. De verschillende gegevens zijn geschematiseerd in klassen. De klassen zijn in een gevoeligheidsonderzoek zodanig ingedeeld, dat de uitkomsten geoptimaliseerd zijn.

De toegankelijkheid is sterk afhankelijk van de scheepsdiepgang. Tot een diepgang van 14,40 meter daalt de toegankelijkheid gematigd. Boven deze diepgang is de teruggang veel sterker. Gedurende springtij omstandigheden is de toegankelijkheid beduidend groter dan onder gemiddelde, of doottij omstandigheden.

De toegankelijkheid van de Sloehaven kan vergroot worden door, indien er geen tijpoort is voor de rechtstreekse vaart, eerst naar de ankerplaats Everingen te varen. Het volgende getijde kan doorgevaren worden naar de Sloehaven.

Helaas laat de huidige rekenmethode het niet toe om de scheepsbewegingen van de Panamax bulkcarrier optimaal te schematiseren. Aanbevolen wordt om de rekenmethode aan te passen en vervolgens nieuwe tijpoorten te berekenen.

De toegankelijkheid van Panamax bulkcarriers zal, nadat de rekenmethode is aangepast, iets geringer zijn dan voor Cape-size bulkcarriers met dezelfde diepgang. Dit verschil in toegankelijkheid zal overeenkomen met ongeveer 0,20 meter diepgangsverschil.

¹⁾Cape-size en Panamax zijn klasse-namen. Een Panamax schip heeft per definitie een breedte van maximaal 32,30 meter. Cape-size schepen zijn groter.

Indien de berekende tijpoorten worden ingevoerd, wordt voldaan aan het actiepun R58 uit de nota "Op Koers" [2]. In deze nota wordt gesteld: "Voor alle Nederlandse maritieme toegangswegen dient het toelatingsbeleid, rekening houdend met de lokale situatie, gebaseerd te zijn op dezelfde methodiek en veiligheidscriteria, die thans worden toegepast voor de vaart met 22 m schepen naar Europoort."

Gezien de positieve effecten op de veiligheid en gezien het geformuleerde beleid in de nota "Op Koers", wordt aanbevolen de berekende tijpoorten in te voeren voor schepen met bestemming Everingen. Tevens verdient het aanbeveling overleg te voeren met alle betrokkenen om probabilistische tijpoorten te berekenen voor alle diepstekende schepen in het buitengebied van de Westerschelde.

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Samenvatting	3
1 Inleiding	6
2 Principe van het ontwerp	7
2.1 Invloedsfactoren op de benodigde diepte	7
2.2 Deterministische ontwerpmethode	8
2.3 Probabilistische ontwerpmethode	9
2.4 Vergelijking deterministische en probabilistische methode	10
3 Veiligheidscriteria voor het probabilistisch ontwerp	11
3.1 Manoeuvrecriterium	11
3.2 Enkele-vaartcriterium	11
3.3 Meerjarig criterium	12
3.4 Gevoeligheid voor de criteria	13
4 Invoergegevens ten bate van HARAP	15
4.1 Geul	15
4.2 Getijde	16
4.3 Meteo-effect	17
4.3 Golven	18
4.4 Schepen	19
5 Resultaten	21
5.1 Overligpercentages bulkcarriers	21
5.2 Afhankelijkheid overligpercentage van astronomisch getijde	24
5.3 Vergelijking probabilistisch berekende overligpercentages met huidige situatie	25
6 Conclusies	27
7 Aanbevelingen	28
Geraadpleegde literatuur	29
Bijlage 1 Tabellen overligpercentage bulkcarriers	

1 Inleiding

Het doel van het "Onderzoek Tjpoorten Westerschelde" is om op probabilistische wijze tjpoorten te berekenen, voor de vaart van de loodspost Wandelaar, tot aan Vlissingen Sloehaven, en/of de ankerplaats Everingen. De achtergrond van deze doelstelling is dat bij de Euro-Maasgeul is gebleken, dat een probabilistische methode een optimale afweging geeft tussen toegankelijkheid enerzijds en veiligheid anderzijds. Deze ervaring heeft geleid tot actiepunt R58 in de nota "Op koers" [2]: "Voor alle Nederlandse maritieme toegangswegen dient het toelatingsbeleid, rekening houdend met de lokale situatie, gebaseerd te zijn op dezelfde methodiek en veiligheidscriteria, die thans worden toegepast voor de vaart met 22 m schepen naar Europoort." Randvoorwaarde voor het onderzoek is, dat er geen verdiepingen worden uitgevoerd.

Voor de probabilistische berekening van de toegankelijkheid van een zeegeul is het rekenprogramma HARAP (HARbour Approach) beschikbaar. Dit programma is ontwikkeld in opdracht van DGSM en Rijkswaterstaat door het Waterloopkundig Laboratorium (WL). Het programma draait op een Personal Computer en is gebaseerd op de programma's, waarmee de Euro-Maasgeul en de Selected Route zijn doorgerekend.

De invoer van HARAP bestaat uit geulgegevens, scheepsgegevens, golfgegevens en waterstandsgegevens. Deze gegevens worden verzameld in een database. Met HARAP is het relatief eenvoudig de gevoeligheid voor diverse gegevens, waaronder de bodemligging, te berekenen.

De uitvoer bestaat uit tjpoorten en een getal, dat een maat is voor de toegankelijkheid. Dit getal is het overligpercentage. Het overligpercentage is gedefinieerd als het deel van de getijden, waarop in het geheel geen tjpoort afgegeven kan worden.

Dit rapport behandelt de hoofdlijnen van het onderzoek en de belangrijkste resultaten. In hoofdstuk 2 wordt het principe van het geulontwerp behandeld en komt het verschil aan de orde tussen de traditionele, deterministische ontwerpmethodode en de nu gebruikte probabilistische methode. In hoofdstuk 3 worden de veiligheidscriteria behandeld, waarop het probabilistisch ontwerp wordt gebaseerd. Hoofdstuk 4 presenteert de verschillende invoergegevens en de wijze waarop deze in klassen zijn ingedeeld. In hoofdstuk 5 worden de eindresultaten van de berekeningen gepresenteerd en besproken. Op basis hiervan worden in hoofdstuk 6 een aantal conclusies getrokken en in hoofdstuk 7 aanbevelingen gedaan.

2 Principe van het ontwerp van tijpoorten en/of geuldieptes

Bij zeegeulen kan men ervoor kiezen tijpoorten te ontwerpen op basis van de bestaande geul, dan wel een geul te ontwerpen op basis van een gewenste toegankelijkheid. Een tijpoort is gedefinieerd als het deel van het getijde, waarbinnen een schip door de geul kan varen. In de praktijk wordt vaak uitgegaan van de huidige situatie en wordt pas in tweede instantie gekeken naar de invloed van eventuele verdiepingen. Het Westerschelde onderzoek is beperkt tot het berekenen van tijpoorten.

In dit algemene hoofdstuk wordt zowel het principe van het ontwerp van tijpoorten, als het principe van het ontwerp van de geuldiepte behandeld. Daarbij wordt zowel aandacht besteed aan de oorspronkelijke, deterministische ontwerpmethodes, als aan de in dit onderzoek toegepaste probabilistische methode.

2.1 Invloedsfactoren op de benodigde diepte

Er zijn drie hoofdgroepen met invloedsfactoren: scheepsgebonden factoren, hydro-meteo gegevens en bodemgegevens.

Bij de scheepsgegevens zijn drie factoren van belang:

- diepgang,
- squat,
- verticale bewegingen ten gevolge van golven.

De squat is de verticale inzinking, die een schip ondervindt ten gevolge van de snelheid door het water. Squat hangt af van de snelheid en de vorm van het schip, en van de waterdiepte. De verticale bewegingen ten gevolge van golven zijn een combinatie van dompen, stampen en slingeren van het schip. De mate van bewegingen hangt, naast de golfhoogtes en -richtingen, af van zowel het schip zelf, als van de vaarsnelheid en van de waterdiepte.

Ook bij de hydro-meteo gegevens zijn drie factoren van belang:

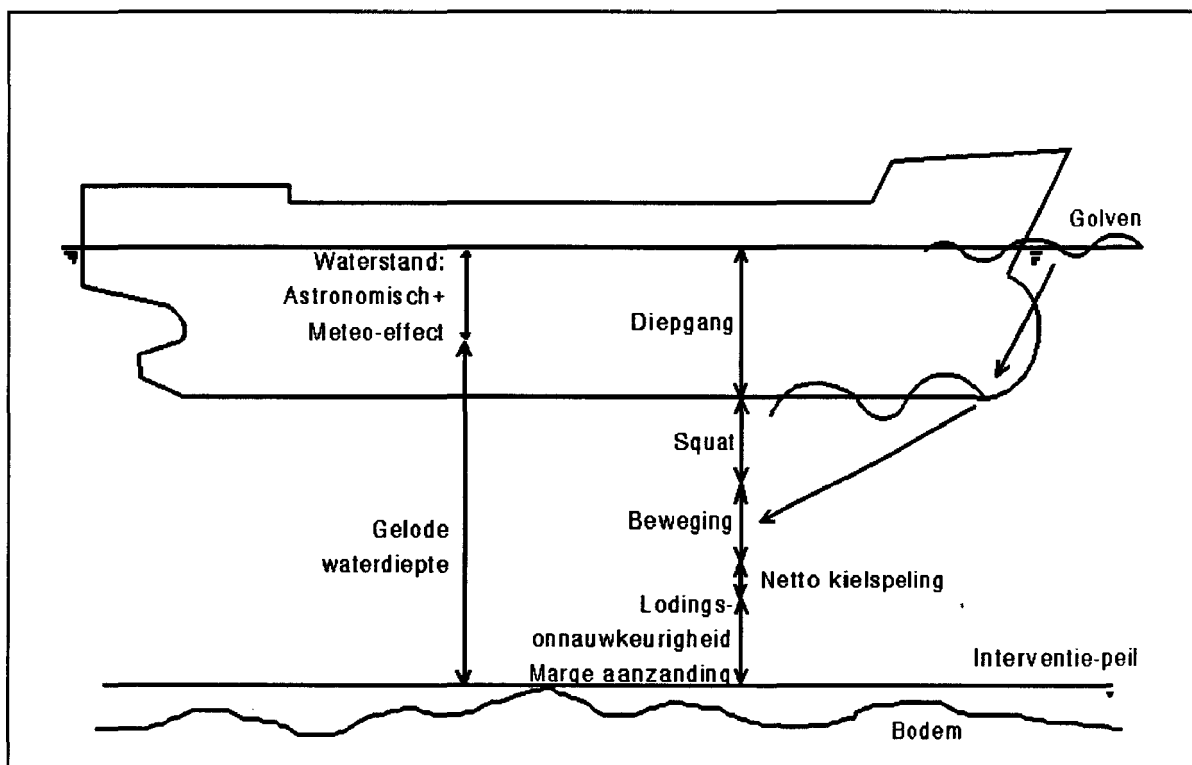
- golfklimaat,
- astronomisch getijde,
- meteo-effect (op-, of afwaaiing).

Het golfklimaat bepaalt de scheepsbewegingen. Het astronomische getijde bepaalt de waterstand, als functie van astronomische invloeden, zoals de stand van de zon en de maan. Het meteo-effect is een incidentele verhoging, of verlaging van de waterstand ten gevolge van wind-invloeden.

Bij de bodem zijn vier factoren van belang:

- de diepte-ligging,
- de nauwkeurigheid waarmee de diepte-ligging bepaald is,
- de mate waarin de diepte-ligging verandert in de tijd,
- de hardheid van de bodem (dit bepaalt of een schip, indien het de bodem raakt, schade oploopt).

2.2 Deterministische ontwerpmethode



Figuur 1 Verband tussen scheepsdiepgang en benodigde diepte

Bij de deterministische methode wordt het verband tussen de benodigde diepte en de maximale diepgang berekend door bij de scheepsdiepgang de toeslagen voor squat, verticale beweging, lodingsonnauwkeurigheden en aanzanding op te tellen, zie ook Figuur 1. Deze toeslagen zijn gelijk aan de maximum invloed, die verwacht kan worden van de betreffende factor, bijvoorbeeld de maximale squat, de maximale aanzanding tussen twee ladingen, enzovoorts. Voor de scheepsbewegingen wordt meestal de maximum waarde genomen, die bij een bepaalde golfhoogte kan optreden. Boven deze maximum golfhoogte is de toegang gestremd, of worden aanvullende eisen gesteld.

Alle toeslagen bij elkaar geven de minimaal geëiste bruto kielspeling (keelclearance in het Engels). Deze bruto kielspeling wordt uitgedrukt als percentage van de diepgang: het kielspelingspercentage. In Tabel I worden een aantal percentages genoemd. De percentages voor de Euro-Maas geul golden tot de invoering van het probabilistisch ontwerp in 1985.

Tabel I Overzicht minimaal geëiste bruto kielspelingspercentages

Geul	Kielspeling (%)	
	Buitenste deel	Dicht bij kust
Euro-Maas (tot '85)	20	10
IJ-geul	17,5	15
Westerschelde (huidig)	15	15
Westerschelde (volgens verdiepingsrapport)	17,5	17,5

Alle percentages gelden voor het buitengebied. In de haven en in het binnengebied van de Westerschelde gelden lagere waarden.

Met behulp van de kielspelingspercentages kan de geul ontworpen worden, en/of de toegangsmogelijkheden worden vastgesteld. In het eerste geval bij de gewenste maximaal toe te laten diepgang de kielspeling opgeteld. Vervolgens wordt het diepte-verloop zodanig bepaald, dat tijdens een geulvaart, bij een maatgevende waterstandsituatie, overal de vereiste diepte aanwezig is.

De toegangsmogelijkheden worden met behulp van dezelfde kielspelingspercentages berekend. De minimum optie is om, voor elke verwachte waterstand, een maximum toelaatbare diepgang te berekenen door de waterstand op een maatgevend punt van de geul te delen door 1 plus het kielspelingspercentage. Dit is de huidige methode bij de Westerschelde. Een meer uitgebreide optie is, om tijpoorten te berekenen. De tijpoorten worden zodanig vastgesteld dat een schip, met een gegeven diepgang, dat op het vroegst of het laatst mogelijk tijdstip van het poort vaart, nog juist overal in de geul voldoende kielspeling heeft bij het verwachte waterstandsverloop. Deze methode is toegepast bij de IJ-geul en de Euro-Maasgeul.

2.3 Probabilistische ontwerpmethode

Een probabilistische ontwerp methode houdt uiteraard ook rekening met de factoren uit de eerste paragraaf. Van al deze factoren wordt een kansverdeling gemaakt. Door deze kansverdeling te combineren wordt berekend hoe groot de kans is, dat een schip de bodem raakt.

Voor het berekenen van de diepte en tijpoorten van de Nederlandse zeegeulen beschikt Rijkswaterstaat over het probabilistische ontwerppakket HARAP (HARbour APproach). HARAP berekent de kans op bodemberoering door geulvaarten te simuleren. Tijdens zo'n gesimuleerde vaart wordt allereerst voor elk tijdstip de waterstand berekend. Vervolgens wordt de kans op bodemberoering berekend. Bij elke gesimuleerde vaart wordt uitgegaan van één bepaalde combinatie van omstandigheden, rekening houdend met de spreiding rond de verschillende variabelen en de kans op afwijkende waarden. Dit wordt herhaald voor alle mogelijke combinaties van omstandigheden.

Om te voorkomen dat het aantal berekeningen oneindig groot wordt, worden diverse variabelen in klassen ingedeeld. Het betreft hier klassen voor de waterstand, voor het golfklimaat en voor scheepstype en -diepgang. De classificatie beperkt het aantal berekeningen tot enige duizenden.

Per combinatie van klassen wordt indien mogelijk een tijpoort geformeerd. Een tijpoort bestaat daarbij uit minimaal twee opeenvolgende opvaartijdstippen. Vervolgens wordt de kans op bodemberoering over alle afzonderlijke vaarten gesommeerd. Hierbij wordt rekening gehouden met het verwachte aantal schepen, en de kans van voorkomen van de omstandigheden, waaronder de kans op bodemberoering optreedt. Deze som wordt getoetst aan een veiligheids criterium. Indien het criterium wordt overschreden worden zoveel tijpoorten geschrapt, of ingekort, dat alsnog aan het criterium wordt voldaan.

Bovenstaande processen worden door de computer uitgevoerd. Het is vervolgens de rol van de ontwerper om een gevoeligheidsanalyse uit te voeren, waaruit blijkt of de verschillende klassen goed gekozen zijn.

De klassen worden ook gebruikt voor de praktische afgifte van tijpoorten: in een tabellenboek, of in een data-base, staat voor elke combinatie van klassen wat de tijpoort is.

De tijpoorten worden in tabelvorm gepresenteerd, voor alle combinaties van klassen. Naast de tijpoorten zelf, worden er overligpercentages per scheepsklasse en -diepgang berekend. Dit percentage betreft het deel van de getijden, waarop in het geheel geen tijpoort afgegeven kan worden. Het overligpercentage is hiermee een goede maat voor de toegankelijkheid van de geul.

2.4 Vergelijking deterministische en probabilistische methode

De deterministische methode is gebaseerd op een aantal vaste toeslagen, die zijn samengebracht in een kielspelingspercentage. De toeslagen worden meestal conservatief gekozen, zodat de veiligheid gewaarborgd is. Bij veilige keuze van de toeslagen zal altijd sprake zijn van overdimensionering, waarbij slechts in zeer weinig gevallen de marges volledig benut worden. Een voordeel van deze methode is dat de berekening inzichtelijk en eenduidig is, hoewel de precieze opbouw van het kielspelingspercentage niet altijd bekend is.

De probabilistische methode is gebaseerd op kansrekening. De uitkomsten zijn niet handmatig na te rekenen. Dit kan als nadeel worden ervaren, hoewel dit voor een groot deel is te ondervangen door de toekomstige gebruikers bij de ontwerpfase te betrekken en door voorlichting te geven over het eindresultaat. Het grote voordeel is dat er tijpoorten worden berekend, gebaseerd op een bekend veiligheidsniveau. Bovendien kan een afweging gemaakt worden tussen toegankelijkheid, benodigde diepte en gewenst veiligheidsniveau.

3 Veiligheidscriteria voor het probabilistisch ontwerp

Bij een probabilistisch ontwerp kunnen verschillende soorten veiligheidscriteria gehanteerd worden. Deze verschillende mogelijkheden worden uitgebreid behandeld in de notitie "IJ-geul. Veiligheidscriteria." [3]. Voor de Westerschelde wordt aangesloten bij de criteria zoals die voor de overige Nederlandse zeegeulen gelden. Dit betekent dat het ontwerp aan drie criteria wordt getoetst.

- Het manoeuvreercriterium stelt een minimum-eis aan de netto kielspeling.
- Het enkele vaart criterium beperkt de kans voor een individueel schip om de bodem te raken.
- Het meerjarig criterium beperkt de kans op bodemberoering over een langere periode. Dit is het belangrijkste criterium voor de ontwerper en de geulbeheerder, die in staat moeten zijn om de kans op een calamiteit binnen een bepaalde periode af te wegen tegen de toegankelijkheid en de kosten van eventuele verdieping van de geul.

Deze drie criteria worden in de volgende paragrafen behandeld.

3.1 Manoeuvreercriterium

Het manoeuvreercriterium is de netto kielspeling, die het schip varend in vlak water minimaal nodig heeft. Deze minimale kielspeling garandeert dat het schip onder alle omstandigheden manoeuvreerbaar blijft. De definitie van de netto kielspeling heeft betrekking op de situatie dat het schip in stil water vaart. Dit betekent dat bij de vaart in golven wel wordt geaccepteerd dat gedurende relatief korte tijd de speling minder dan de kielspeling bedraagt. De golven veroorzaken immers verticale scheepsbewegingen, waardoor de waarde van de kielspeling slingert rond de geëiste waarde. In dergelijke gevallen zal echter al snel één van de andere criteria maatgevend worden.

Voor de Westerschelde wordt, conform de andere zeegeulen, 1 meter netto kielspeling geëist voor het varen in de geul zelf.

Voor de vaart binnen de havenbekkens kan in principe met een kleinere netto kielspeling worden volstaan. Dit deel van de vaart is echter geen onderdeel van de HARAP-berekeningen, die tot het moment van binnenvaren van de Sloehaven lopen. Aangezien de haven na hoogwater wordt bereikt, daalt de waterstand terwijl naar de aanlegplaats wordt gevaren. Daarom wordt er vanuit gegaan dat, overeenkomstig de huidige praktijk, op het moment van binnenvaren van de haven nog minimaal 1 meter netto kielspeling aanwezig dient te zijn.

3.2 Enkele-vaartcriterium

Het enkele-vaartcriterium limiteert de kans voor een individueel schip om de bodem te raken. Hierdoor is het uitgesloten dat een schip en zijn omgeving onder een extreem ongunstige (en zeldzame) samenloop van omstandigheden een te grote kans hebben om schade op te lopen. De formulering van het criterium komt overeen met die van de andere

Nederlandse geulen: de kans dat een schip tijdens een geulvaart de bodem raakt dient onder alle omstandigheden kleiner te zijn dan 1%, ongeacht de kans van voorkomen van de omstandigheden waaronder wordt gevaren.

3.3 Meerjarig criterium

Het meerjarig criterium bepaalt het maximale risico op een bodemberoering voor de geulbeheerder. De formulering, die overeenkomt met wat voor de Nederlandse geulen is vastgelegd, luidt:

gedurende 25 jaar geulgebruik mag de kans op bodemberoering met maximaal lichte schade niet groter zijn dan 10 %.

Deze maximale kans geldt dus voor alle schepen samen, die in 25 jaar gebruik maken van de geul. Een andere formulering van hetzelfde criterium luidt, dat maximaal eens in de 237²⁾ jaar een schip de bodem van de geul mag raken, waarbij meer dan lichte plaatschade optreedt.

Volgens bovenstaande definitie is het raken van de bodem van de geul toegestaan, zolang er geen schade ontstaat. Uit eerder onderzoek van TNO is gebleken dat een indringing van 0,25 meter van een schip in een zandbodem nog geen, of slechts lichte, schade optreedt. Op basis van deze uitkomst is het toegestane aantal bodemberoeringen verruimd voor de Euro-Maas geul en de IJ-geul. De bodem van de Westerschelde-geul bestaat echter deels uit klei. Dit geldt onder andere voor een aantal van de ondiepe drempels. Klei biedt meer weerstand tegen indringing dan zand. Verruiming van het toegestane aantal bodemberoeringen, is hierdoor bij de Westerschelde niet mogelijk.

Binnen HARAP wordt niet met de kansen zelf gerekend, maar met een (statistische) verwachtingswaarde per schip. Het verwachte aantal bodemberoeringen, bij een kans van 10% is 0,1054. Deze waarde wordt gedeeld op het aantal tijgebonden schepen dat in 25 jaar onder het probabilistisch toelatingsregime valt. Er is gekozen om uitsluitend de opvarende, tijgebonden schepen onder het regime te laten vallen. De diepgang, waarboven schepen tijgebonden zijn, is vastgesteld op 11 meter (zie hiervoor de gevoeligheids-analyse van de scheepsklasse-indeling).

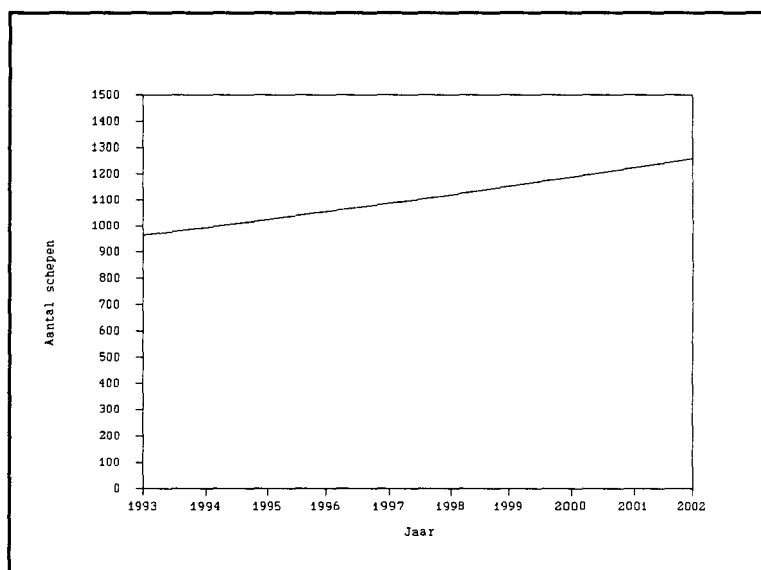
Het aantal tijgebonden schepen gedurende 25 jaar geulgebruik is als volgt berekend. Allereerst is besloten om voor een periode van 10 jaar een prognose op te stellen en het aantal dat hier uit komt te vertalen naar 25 jaar. De reden hiervoor is, dat het weinig waarde heeft om voor een langere periode een prognose op te stellen. Dit betekent wel, dat na 10 jaar geulgebruik een nieuwe prognose gemaakt moet worden. Indien deze

²⁾ Het verband tussen beide formuleringen is als volgt. Uit eerder onderzoek is gebleken dat de scheepsbeweging in golven statisch gezien beschouwd mag worden als een Poisson-proces. Bij een Poisson-verdeling komt een kans van 10% op 1, of meer, gebeurtenissen (in dit geval bodemberoeringen) overeen met een statistische verwachtingswaarde van 0,105 bodemberoering. Deze verwachtingswaarde geldt over een periode van 25 jaar. Dit is dus 0,00422 bodemberoering (=0,1054/25) per jaar, of 237 (=1/0,00422) jaar per verwachte bodemberoering.

prognose significant afwijkt van onderstaande waarden moet het criterium hierop aangepast worden.

Het basisjaar voor de prognose is 1990. Voor dit jaar is uit het Loods Informatie Systeem (LIS) het totale aantal op- en afvarende schepen op de Westerschelde met een diepgang van meer dan 11 meter berekend³⁾. Vervolgens is met behulp van gegevens over de maanden maart, april en mei 1992 uit het bestand van de Schelde Radar Keten de verhouding berekend tussen op-

en afvarende schepen. Hieruit volgde een aantal van 883 opvarende, tijgebonden schepen in 1990. Dit aantal schepen is vermeerderd met een jaarlijkse groei van 3%, zie Figuur 2. Tot slot is het gemiddelde bepaald over de periode 1993 tot 2002. Dit zijn 1106 opvarende, tijgebonden schepen per jaar.



Figuur 2 Prognose aantal opvarende schepen

Het meerjarig criterium, uitgedrukt in aantal verwachte bodembroeringen per schip is bij deze prognose $3,81 \times 10^{-6}$ ($0,105$ gedeeld door 25 maal 1106).

3.4 Gevoeligheid voor de criteria

De gevoeligheid van het overligpercentage voor het manoeuvreercriterium en het meerjarig criterium zijn bepaald. De gevoeligheid voor het enkele vaart criterium is erg laag en daarom niet expliciet berekend. Het overligpercentage is een maat voor de toegankelijkheid van de geul. Als basis voor de berekeningen is de Cape-size bulkcarrier, met diepgang 14,80 meter en bestemming Sloehaven genomen.

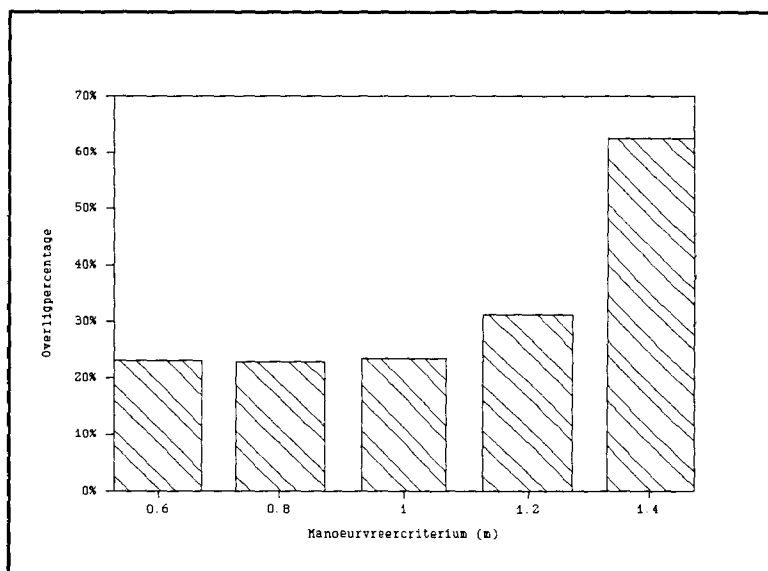
In Figuur 3 zien we de gevoeligheid voor het manoeuvreercriterium. De uitgangswaarde is 1 meter. Het toestaan van een lagere waarde heeft geen invloed op het overligpercentage. Een strenger criterium zou een duidelijke vermindering van de toegankelijkheid geven.

Het meerjarig criterium is gebaseerd op een prognose van het aantal schepen. In Figuur 4 wordt weergegeven wat de gevoeligheid is voor deze prognose. Voor de inzichtelijkheid is het aantal geïndexeerd. Hierbij is het gemiddelde van de prognose, 1106, op 100 gezet.

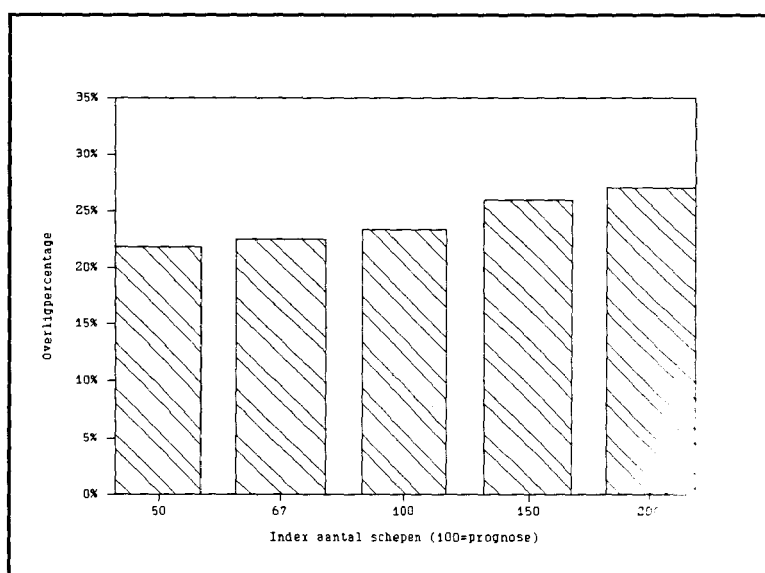
³⁾ Helaas ontbraken in het bestand 9 dagen van augustus, zodat het getelde aantal van augustus gecorrigeerd moest worden. Bij de correctie is aangenomen dat het aantal schepen in de 9 ontbrekende dagen evenredig is met het aantal in de rest van de maand.

Het bereik van de grafiek loopt van $\frac{1}{2}$ maal de prognose (index 50), tot 2 maal zo hoog (200). We zien dat kleine afwijkingen weinig invloed hebben. Pas bij afwijkingen van meer dan 50% van de prognose gaat het overligpercentage significant veranderen.

In de vorige paragraaf is aangegeven, dat er mee gerekend moet worden dat een schip niet enige decimeters in de bodem mag dringen, omdat de drempels uit klei bestaan. De bodems van de IJ- en Euro-Maasgeul bestaan uit zand. Hier mocht wel een dergelijke correctie toegepast worden. Deze bedroeg een factor 10, op het meerjarig criterium. Indien bij de Westerschelde een dergelijke correctie toegepast had mogen worden, dan was het overligpercentage gedaald van 23% naar 18%.



Figuur 3 Gevoeligheid voor manoeuvreercriterium



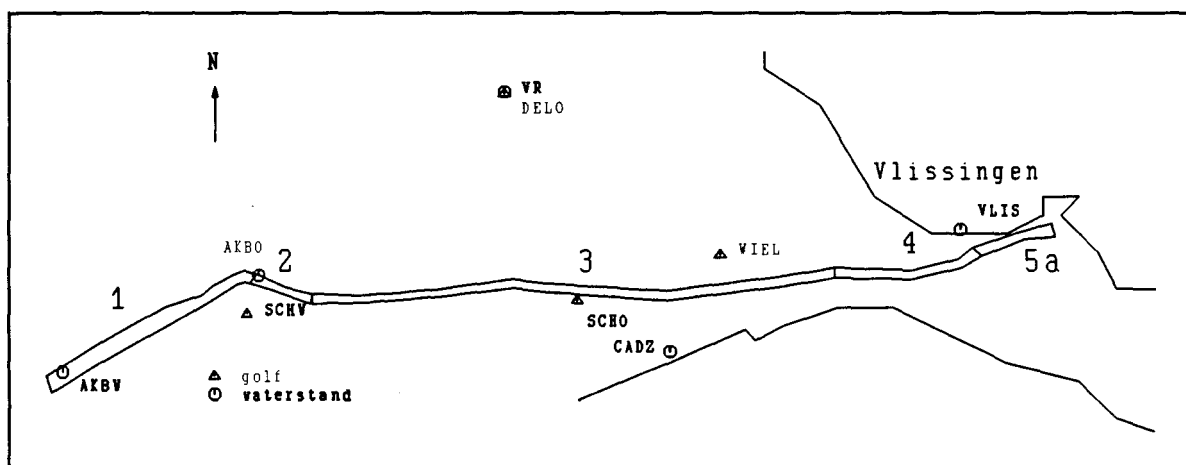
Figuur 4 Gevoeligheid voor prognose van het aantal schepen

4 Invoergegevens ten bate van HARAP

Dit hoofdstuk behandelt de wijze waarop de invoergegevens voor HARAP geschematiseerd zijn. Achtereenvolgens komen de geul zelf, het astronomische getijde, het meteo-effect, het golfklimaat en de scheepsgegevens aan de orde.

4.1 Geul

Het onderzoek richt zich op de aanlooproute in de monding van de Westerschelde, ten westen van de ankerplaats Everingen. Voor dit onderzoek beschouwen we de route, die begint bij het loodsstation Akkaertbank, door de Scheurpas loopt en eindigt bij de mond van de Sloehaven, of bij de ankerplaats in de Everingen.



Figuur 5 Geulindeling A1-boei tot Sloehaven

De geul is ten behoeve van de berekeningen opgedeeld in trajecten en segmenten. De trajectindeling wordt schematisch weergegeven in Figuur 5. In deze figuur is tevens te zien waar de verschillende waterstands- en golfstations liggen. Van de weergegeven stations worden Akkaertbank-oost en Wielingen niet gebruikt, omdat ze niet voor extra nauwkeurigheid zorgen.

In deze studie wordt uitgegaan van de bodembreedte, die wordt geadviseerd in het "Studierapport Verdieping Westerschelde" [4]. Dit betekent dat de volgende geulbreedtes zijn aangehouden:

- ter hoogte van de Akkaert-bank: 620 meter;
- ten westen van boei Scheur-Zand (aanloopgeul naar Zeebrugge): 530 meter.
- Scheurpas: 450 meter;
- voor Vlissingen: het huidige voorzorgsgebied.

De diepte-verdeling, binnen de hierboven aangegeven geulbreedte, is bepaald met behulp van het systeem Digibeeld van directie Zeeland⁴⁾. Binnen de gevonden verdeling wordt de kleinste diepte bepaald. Deze diepte wordt geacht te gelden voor het hele segment. De diepte is gecorrigeerd met -0,30 meter voor lodingson nauwkeurigheden en aanzanding tussen 2 lodingssessies.

4.2 Getijde

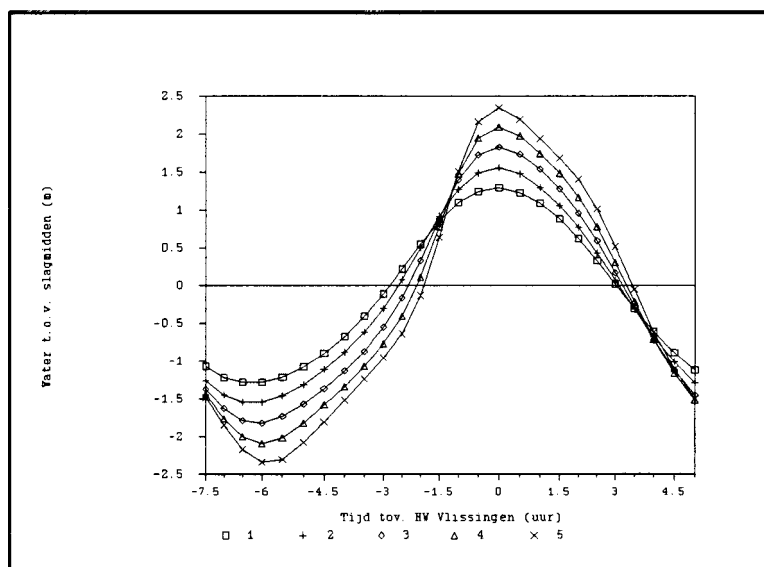
Het astronomische getijde is ingedeeld in 5 klassen. De indeling geschiedt op basis van de getijslag: het verschil in laagwater en het opeenvolgende hoogwater. Astro-klasse 1 vertegenwoordigt de getijden met de kleinste getijslag. Klasse 5 vertegenwoordigt de getijden met een grote slag. In Tabel II wordt vermeld wat de frequentie van voorkomen van elk der klassen is. In Figuur 6 zijn de bijbehorende krommen ter hoogte van Vlissingen weergegeven. Soortgelijke krommen zijn ook gebruikt voor de stations Wandelaar, aan het begin van de geul en Cadzand.

Tabel II Indeling in astro-klassen op basis van de getijslag te Vlissingen

Klasse	Frequentie van voorkomen klasse (%)	Klasse-grenzen (m)	
		Onder	Boven
1	10	2,00	2,87
2	15	2,88	3,32
3	30	3,33	3,93
4	30	3,94	4,45
5	15	4,46	5,39

De waarde en richting van de stroming is gekoppeld aan de krommen voor de astronomische waterstand. Hiervoor zijn gegevens uit de stroomatlas gebruikt. In verband met het stroomvenster bij de monding van de Sloehaven was hier extra nauwkeurigheid gewenst. Daarom zijn voor dit punt WAQUA-berekeningen uitgevoerd, welke zijn gevalideerd met een meetcampagne. De berekende stroomgegevens gaven een goede overeenkomst met de gemeten waarden.

⁴⁾Lodingen zomer 1990 en zomer 1993



Figuur 6 Astronomische getijde bij Vlissingen, per astro-klasse

4.3 Meteo-effect

Tabel III Meteo-klasse-indeling: frequentie van voorkomen en grenzen station Vlissingen

Klasse	Frequentie (%)	Klasse-grenzen Vlissingen (m)	
		Onder	Boven
1	9	0,42	1,40
2	18	0,22	0,41
3	36	0,02	0,21
4	27	-0,19	0,01
5	8	-0,39	-0,20
6	2	-0,90	-0,40

Het meteo-effect is verdeeld over 6 klassen. In Tabel III zien we de frequenties van voorkomen en de klasse-grenzen bij Vlissingen. Binnen deze klassen zijn rekenwaarden vastgesteld. Dit is op basis van dezelfde klassen ook gedaan voor de stations Cadzand en Akkaertbank-west. Voor het station Akkaertbank-west waren geen meetgegevens beschikbaar. Daarom is het meteo-effect voor dit station afgeleid van het station Vlakte van de Raan, waar de voor het meteo-effect bepalende omstandigheden vergelijkbaar zijn.

4.3 Golven

De golfklasse-indeling is gebaseerd op de verdeling van voorspelde golfhoogten bij het station Scheur-West. Als maat voor de golfhoogte wordt de He10-parameter gebruikt. Dit is een maat voor de energie in het laagfrequente deel van het spectrum. De klasse-indeling wordt weergegeven in Tabel IV. Naast het station Scheur-West, zijn ook golfgegevens gebruikt van het station Scheur-Oost.

Tabel IV Golfklasse-indeling: frequentie van voorkomen en bovengrens station Scheur-West

Klasse	Frequentie (%)	Bovengrens (He10, meter)
1	26,9	0,035
2	23,0	0,055
3	18,4	0,071
4	12,8	0,121
5	8,5	0,188
6	4,7	0,258
7	4,0	0,385
8	1,0	0,467
9	0,2	0,600
10	0,5	∞

Voor de golven is tevens rekening gehouden met de kans dat tijdens een geulvaart niet de voorspelde golfhoogte optreedt, maar een hogere of lagere waarde. Dit is gedaan met behulp van een zogenaamde voorspelmatrix. Deze matrix vermeldt hoe vaak de verschillende golfklassen in de werkelijkheid voorkomen, in het geval dat een bepaalde golfklasse voorspeld is.

4.4 Schepen

De scheepsklasse-indeling is gebaseerd op de schepen, die regelmatig de Sloehaven aandoen. Er zijn twee hoofdgroepen gevormd: Panamax bulkcarriers, met een breedte van maximaal 32,35 meter en Cape-size bulkcarriers, gedefinieerd als alle bulkcarriers met een grotere breedte. Binnen de groep Panamax bulkcarriers worden 11 diepgangsklassen onderscheiden. De ondergrens is 11 meter en de bovengrens is 14,60 meter. De groep Cape-size bulkcarriers heeft dezelfde ondergrens, maar loopt door tot 15,40 meter. Het aantal diepgangsklassen voor deze hoofdgroep is 19.

Naast type en diepgang is ook de bestemming onderdeel van de scheepsklasse-indeling. Voor beide hoofdgroepen wordt onderscheid gemaakt tussen bestemming Sloehaven en bestemming ankerplaats Everingen. Voor beide bestemmingen is een snelheidsregime gedefinieerd, dat gebaseerd is op de snelheden waarmee momenteel in de geul wordt gevaren.

Het Maritiem Research Instituut (MARIN) heeft voor zowel de Panamax als de Cape-size bulkcarriers overdrachtsfuncties berekend [1]. Een overdrachtsfunctie geeft de relatie tussen een bepaald golfspectrum en de hoeveelheid scheepsbewegingen. Dit is door de Dienst Getijdewateren verwerkt tot een lineair verband tussen de hoeveelheid laagfrequente energie (He10) in de spectra en de hoeveelheid scheepsbewegingen.

Uit de resultaten blijkt dat de overligpercentages van de kleinere Panamax schepen structureel hoger zijn, dan voor de grotere Cape-size bulkcarriers. Dit is voor een klein deel toe te schrijven aan het feit, dat een kleiner schip meer verticale bewegingen in golven heeft, dan een groter schip. Voor een belangrijk deel krijgen de Panamax schepen echter ongunstiger tijpoorten, door het gebruik van de He10-parameter. Deze He10-parameter wordt in HARAP gebruikt, omdat bij de Euro-Maasgeul is gebleken dat dit de beste parameter is, om de scheepsbewegingen te voorspellen. Op de Westerschelde zijn de schepen echter gemiddeld kleiner. De bewegingen van deze kleinere schepen blijken slechts matig voorspeld worden door de He10. Uit een benaderende berekening blijkt, dat deze schepen ongeveer 0,8 meter diepgangswinst kunnen halen, indien naast de He10, ook de hoeveelheid restenergie in het golfspectrum als verklarende variabele wordt gebruikt. Ook voor de Cape-size bulkcarriers kunnen lichte verbeteringen worden verwacht. Aanbevolen wordt dan ook, om HARAP hiervoor aan te passen.

De scheepsklasse-indeling wordt schematisch samengevat in Tabel IV.

Tabel IV Klasse-indeling Bulkcarriers bestemming Sloehaven en ankerplaats Everingen

Diep- gangs- klasse	Diepgang (cm)	
	Van- af	Tot en met
*1	1100	1160
*2	1160	1220
*3	1220	1250
*4	1250	1280
*5	1280	1310
*6	1310	1340
*7	1340	1370
*8	1370	1400
*9	1400	1420
*10	1420	1440
*11	1440	1460
*12	1460	1470
*13	1470	1480
*14	1480	1490
*15	1490	1500
*16	1500	1510
*17	1510	1520
*18	1520	1530
*19	1530	1540

Op de plaats van het * komt de scheepstypecode te staan:

S: Cape-size, bestemming Sloehaven

T: Cape-size, bestemming ankerplaats Everingen

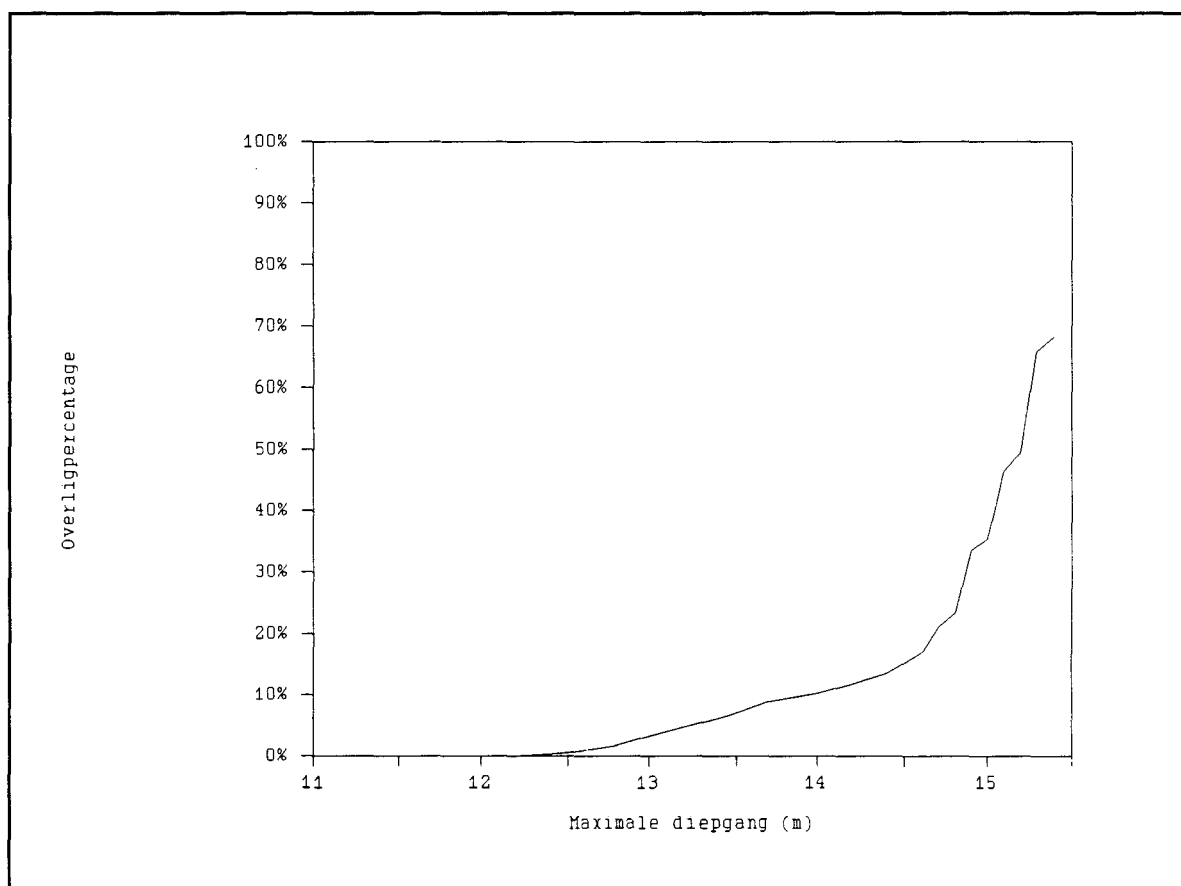
P: Panamax, bestemming Sloehaven

R: Panamax, bestemming ankerplaats Everingen

5 Resultaten

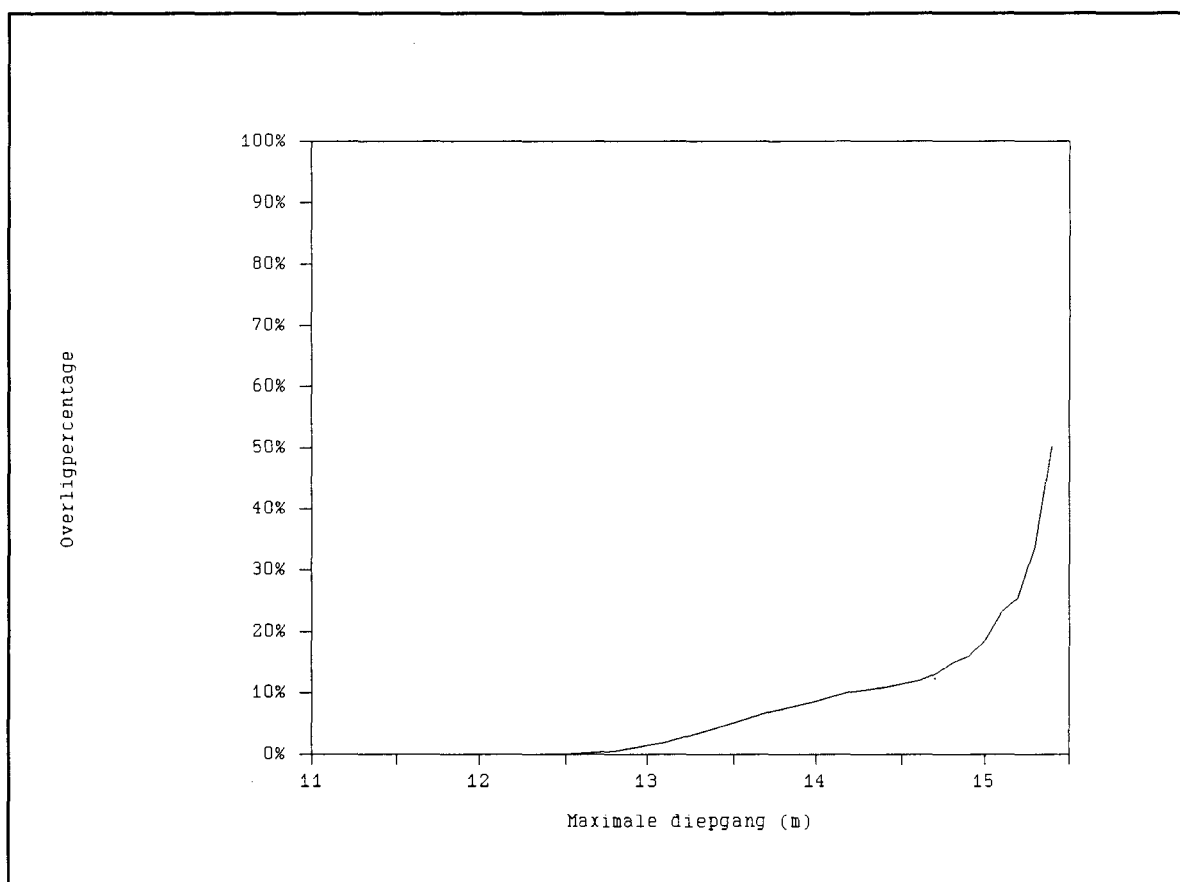
De resultaten bestaan uit tijpoorttabellen en overligpercentages. De tijpoorten worden gebruikt voor de uitvoering van de resultaten van het onderzoek. Ze zijn beschikbaar op diskette (ASCII format) en als database. Voor de discussie van de resultaten wordt het overligpercentage gebruikt. Het overligpercentage is gedefinieerd als het deel van de getijden, waarop geen tijpoort afgegeven kan worden, doordat er te weinig waterstand, of te veel golfenergie is. Het overligpercentage is daarmee een goede maat voor de toegankelijkheid van de geul. Allereerst worden de overligpercentages voor beide hoofdgroepen van schepen besproken. Vervolgens worden de uitkomsten van de Cape-size bulkcarriers vergeleken met de huidige situatie.

5.1 Overligpercentages bulkcarriers



Figuur 7 Overligpercentage Cape-size bulkcarriers, bestemming Sloehaven

In Figuur 7 en Figuur 8 zijn de overligpercentages voor de Cape-size bulkcarriers grafisch weergegeven. Op de horizontale as staat de maximum diepgang, die hoort bij de betreffende diepgangsklasse.

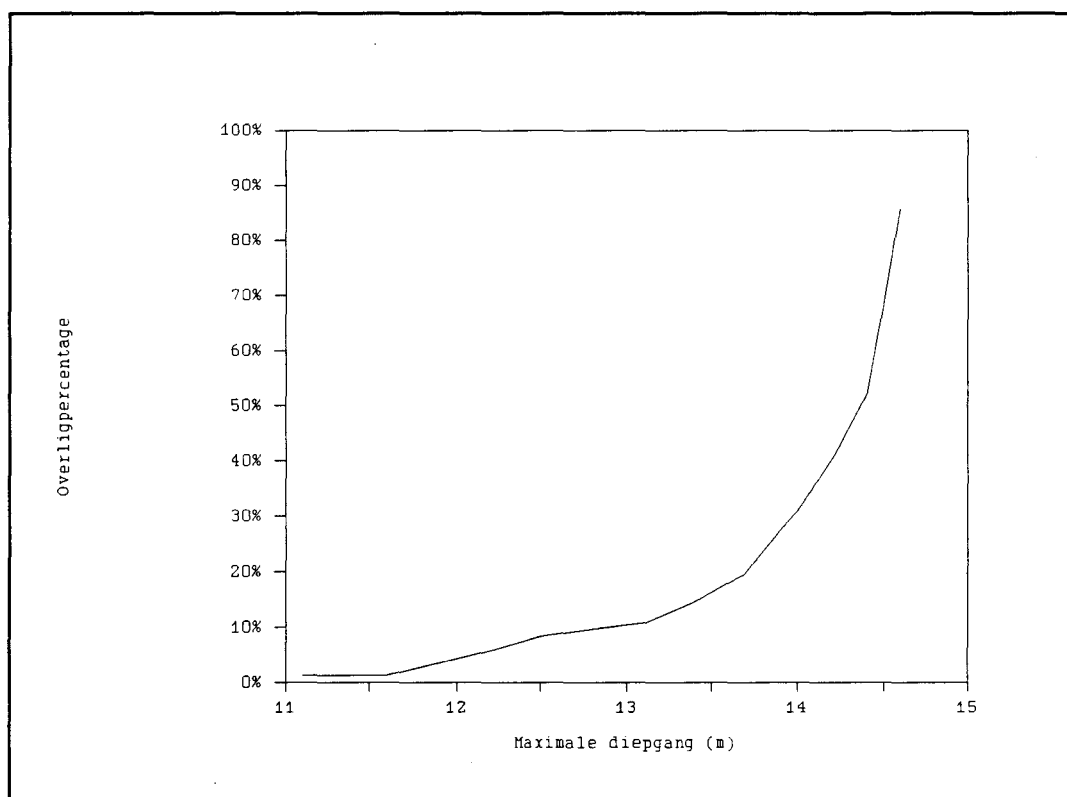


Figuur 8 Overligpercentage Cape-size bulkcarriers, bestemming Everingen

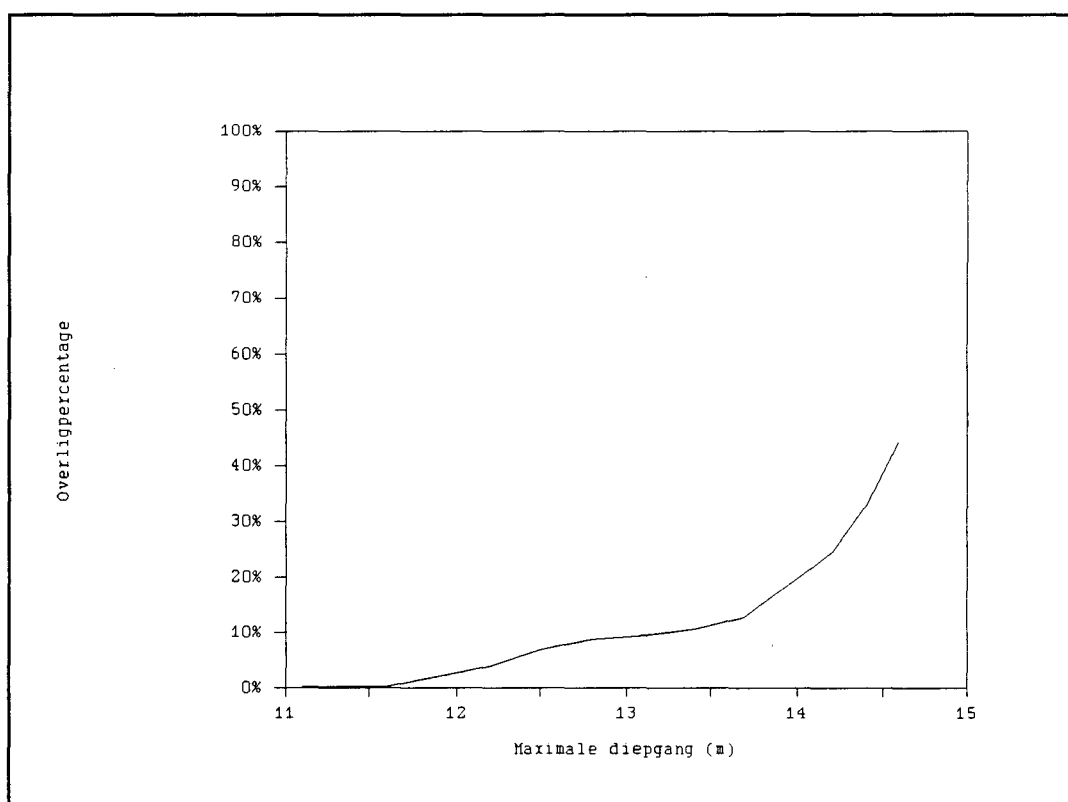
In beide figuren zien we, dat het overligpercentage gematigd stijgt, tot 10 à 15%. Bij een diepgang van ongeveer 14,5 meter wordt de stijging steeds sterker. In een ontwerpsituatie, waarbij geen rekening gehouden hoeft te worden met een bestaande situatie, zou dit overgangspunt gekozen worden als maximum diepgang.

Figuur 9 en Figuur 10 tonen het verband tussen diepgang en overligpercentage voor de Panamax bulkcarriers. De Panamax bulkcarriers hebben een lagere toegankelijkheid dan de Cape-size bulkcarriers. De hogere overligpercentages komen globaal overeen met een verschil in toegankelijkheid van 1 meter diepgang. Hiervan is ongeveer 0,2 meter een gevolg van het verschil in bewegingsgedrag. 0,8 Meter is een gevolg van de keuze voor de He10-parameter als verklarende variabele voor de scheepsbewegingen. Dit is reeds in paragraaf 4.4 behandeld.

We zien dat de overligpercentages voor de schepen met bestemming ankerplaats Everingen duidelijk lager zijn, dan voor dezelfde schepen met bestemming Sloehaven. Naar de Everingen kan, bij gelijke toegankelijkheid, met ongeveer 30 centimeter extra diepgang gevaren worden. Dit verschil in toegankelijkheid is een gevolg van het stroomvenster bij de Sloehaven. Indien dit venster niet samenvalt met het waterstandsvenster, betekent dit dat er geen tijpoort is. Bovendien moeten schepen met bestemming Sloehaven een hogere snelheid aanhouden op de drempels, omdat ze het stroomvenster moeten halen. Deze hogere snelheid resulteert in een grotere squat, waardoor meer waterstand nodig is.



Figuur 9 Overligpercentage Panamax bulkcarriers, bestemming Sloehaven

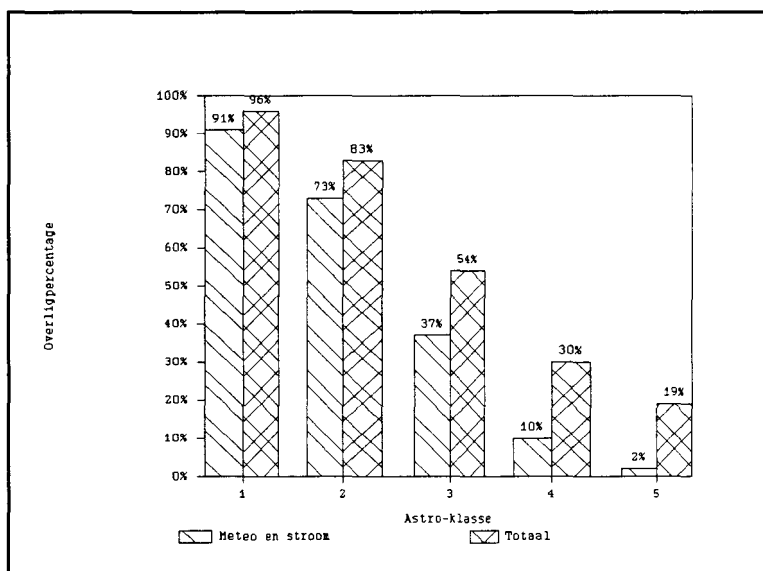


Figuur 10 Overligpercentage Panamax bulkcarriers, bestemming Everingen

5.2 Afhankelijkheid overligpercentage van astronomisch getijde

In de praktijk zal de kans op overliggen afhangen van het astronomische getijde, van het meteo-effect en van de golfverwachting. In Figuur 11 wordt per astro-klasse de voorwaardelijke kans op overliggen gegeven voor een Cape-size bulkcarrier met een diepgang van 15,20 meter. De grootste waarde bij elke astro-klasse (dubbel gestreept) is het totale overligpercentage. We zien dat het astronomische getijde een grote invloed heeft op de kans op overliggen.

De lagere waarden (enkel gestreept) geven het overligpercentage, indien de tijpoorten uitsluitend op het manoeuvreercriterium en de dwarsstroom zouden zijn gebaseerd. Hieruit blijkt dat er in situaties met een kleine getijslag (astro-klasse 1) slechts in 9% van de getijden zoveel opwaaiing is, dat er voldoende water staat om een tijpoort te kunnen afgeven (aangenomen dat er geen golven zijn). Doordat er wel met golven rekening gehouden moet worden, wordt deze 9% nog eens gehalveerd, waardoor het totale overligpercentage van 91% ontstaat. Bij een grote getijslag is er slechts in 2% van de tijd zoveel afwaaiing, dat er op basis van de waterstand geen tijpoort mogelijk is. De golfuitsluiting, die hier bovenop komt, heeft in dit geval veel meer invloed.

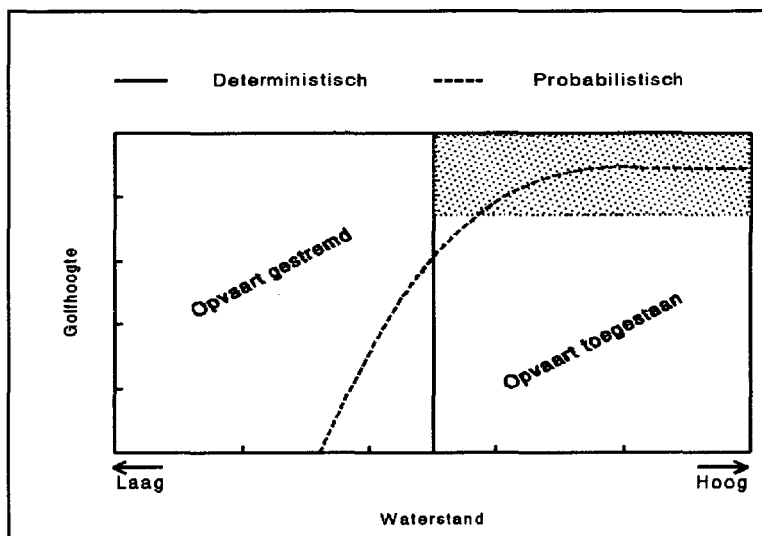


Figuur 11 Voorwaardelijke kans op overliggen per astro-klasse

5.3 Vergelijking probabilistisch berekende overligpercentages met huidige situatie

Het probabilistische berekende overligpercentage van een Cape-size bulkcarrier met diepgang 15,20 meter en bestemming Sloehaven is 49%. Ter vergelijking zijn de huidige DGSM-tabellen met de maximaal toegelaten diepgang geanalyseerd. Hieruit blijkt dat in 1992 voor schepen met een diepgang van 15,20 meter of meer op 51% van de getijden geen opvaart toegestaan was. Het werkelijke overligpercentage was iets hoger dan deze 51%, doordat de opvaart gestremd wordt als er te veel golven zijn. Dit betekent dat de probabilistisch berekende tijpoorten de toegankelijkheid voor de Cape-size bulkcarrier licht verbeteren.

Het verschil tussen de huidige situatie en de berekende tijpoorten wordt met behulp van Figuur 12 uitgelegd. In deze figuur staat op de horizontale as de waterstand en op de verticale as de golfhoogte. De doorgetrokken verticale lijn in het midden geeft aan wanneer opvaart toegestaan is volgens de huidige tabellen. Indien de waterstand onvoldoende is, links van de lijn, is de opvaart gestremd. Rechts van de lijn is de opvaart toegestaan, hoewel in de praktijk bij extreme golfhoogtes besloten zal worden niet op te varen. Dit is aangegeven met het grijze vlak. De gebroken lijn geeft de situatie weer indien de voorgestelde tijpoorten worden ingevoerd. Het aantal situaties, waarbij geen opvaart mogelijk is (links en boven de gebroken lijn), is globaal even groot, als in de huidige situatie.



Figuur 12 Geschematiseerde weergave van verschil tussen huidige deterministische toelating en probabilistische tijpoorten

Het verschil tussen de huidige situatie en de probabilistische tijpoorten is als volgt. Bij lage golfhoogtes kan met de probabilistische tijpoorten bij een lagere waterstand gevaren worden. Grafisch gezien zijn dit de situaties in de onderste driehoek tussen de doorgetrokken en de gebroken lijn. Bij grotere golfhoogtes wordt juist meer waterstand geëist, of worden zelfs helemaal geen tijpoorten toegestaan. In de figuur zijn dit de situaties in het deel boven de gebroken lijn en rechts van de doorgetrokken lijn.

Het geconstateerde verschil in toegestane opvaart heeft een belangrijk effect op de veiligheid. Bij opvaart in de situaties die nu wel worden toegestaan, maar volgens de probabilistische tijpoorten niet, bestaat een relatief grote kans op bodemberoering. Deze kansen variëren van minder dan een promille, tot meer dan één bodemberoering per vaart. Deze opvaartmogelijkheden, in totaal ruim 10% van de getijden, worden uitgesloten bij het probabilistische regime. Daarvoor in de plaats komen tijpoorten met een lagere kans op bodemberoering.

Een bijkomend voordeel van invoering van de probabilistische tijpoorten is, dat er algemeen geldende regeling komt, wanneer het wel of niet toegestaan is om bij grote golfhoogtes door de geul te varen. Nu kunnen individuele loodsen onder gelijke omstandigheden tot verschillende besluiten komen.

Omdat de Panamax bulkcarriers minder maatgevend zijn, en omdat aanbevolen wordt voor deze schepen herberekeningen uit te voeren, zijn deze resultaten niet vergeleken met de huidige situatie. Op grond van het feit, dat de Panamax schepen meer verticale bewegingen hebben, dan Cape-size schepen kan wel aangegeven worden, dat de toegankelijkheid van de Panamax schepen licht afneemt. Dit betekent omgekeerd, dat in de huidige situatie niet het veiligheidsniveau gehaald wordt, dat voor de zeegeulen geëist wordt.

6 Conclusies

Toepassing van de probabilistische tijpoorten zal de veiligheid vergroten. De huidige tabellen, die de maximum toegestane diepgang geven, staan opvaarten toe onder omstandigheden waarbij een grote kans op bodemberoering bestaat.

De probabilistische tijpoorten vergroten in geringe mate de toegankelijkheid van Cape-size bulkcarriers met bestemming Sloehaven, ten opzichte van de huidige situatie.

De berekende tijpoorten geven voor Panamax bulkcarriers een lagere toegankelijkheid dan voor de Cape-size bulkcarriers. Dit verschil in toegankelijkheid kan voor het grootste deel opgeheven worden, door de gebruikte schematisatie van de scheepsbewegingen aan te passen. Het resterende deel zal naar verwachting overeenkomen met een diepgangverschil van zo'n twintig centimeter: een Cape-size bulkcarrier krijgt met twintig centimeter extra diepgang dezelfde tijpoorten als een Panamax bulkcarrier. Dit verschil is een gevolg van het feit, dat een Panamax bulkcarrier meer verticale scheepsbewegingen heeft in golven, dan een Cape-size bulkcarrier.

De toegankelijkheid van de Sloehaven kan vergroot worden, door in twee getijden op te varen. Indien de Sloehaven op een zeker moment niet rechtstreeks bereikbaar is, is vaak wel een tijpoort mogelijk voor de ankerplaats Everingen. Bijvoorbeeld een schip met een diepgang van 15,20 meter kan hierdoor in de helft van de gevallen, dat de Sloehaven niet bereikbaar is, wel naar de ankerplaats varen.

Het overligpercentage geeft aan hoeveel procent van de getijden het niet mogelijk is om op te varen. Dit percentage hangt sterk af van de diepgang. Voor Cape-size bulkcarriers blijkt, dat het percentage gematigd stijgt tot zo'n 17% bij een diepgang van 14,60 meter. Boven deze diepgang stijgt het percentage veel sterker tot 50% bij een diepgang van 15,20 meter.

Het overligpercentage hangt varieert met het type astronomische getijde. Hierdoor is de kans op overliggen beduidend lager, indien een schip bij springtij aankomt.

7 Aanbevelingen

HARAP dient aangepast te worden aan het rekenen met meerdere golfparameters ten behoeve van kleinere schepen. Vervolgens kunnen de tijpoorten voor de Panamax bulk-carrier herberekend worden. Aanbevolen wordt om tevens een kleine gevoeligheidsonderzoek uit te voeren. Dit zal uitwijzen of het zinvol is ook de tijpoorten van de Cape-size bulkcarrier aan te passen. De aangepaste tijpoorten zullen een grotere toegankelijkheid bieden, dan de nu berekende.

Gezien de vergroting van de veiligheid verdient het aanbeveling overleg te starten tussen alle betrokken partijen, om probabilistische tijpoorten in te voeren voor schepen met bestemming Sloehaven. Hierbij dient afgesproken te worden wie verantwoordelijk wordt voor afgifte van de tijpoorten. Tevens dient bepaald te worden op welke wijze de poorten afgegeven worden. Het verdient aanbeveling dit zoveel mogelijk te integreren binnen de huidige informatie-systemen.

Indien besloten wordt tot invoering van de tijpoorten, verdient het aanbeveling de eigenlijke invoering vooraf te laten gaan door uitgebreide mondelinge en schriftelijke voorlichting. De schriftelijke voorlichting dient een beknopte beschrijving van achtergrond en uitgangspunten van de berekening te geven. Daarnaast is het mogelijk de volgende informatie toe te voegen.

- Een (vaste) tabel, waarin per getijde- en meteo-klasse wordt aangegeven wat de maximale golfklasse is waarbij gevaren kan worden.
- Een jaarlijkse publikatie met tabellen, waarin per dag wordt aangegeven wat de klasse is van beide getijden. Deze tabellen komen in de plaats van de huidige maximum diepgang tabellen.
- Periodiek te herziene tabellen met frequenties van optreden van meteo- en golfklassen per maand, of seizoen.

Met behulp van deze informatie kan de gebruiker eenvoudig inschatten hoe groot de kans is, dat een zeker schip moet overliggen.

Het verdient aanbeveling om met de Vlaamse autoriteiten te overleggen of het mogelijk is om probabilistisch berekende tijpoorten toe te passen ten behoeve van alle diepstekende schepen in het buitengebied van de Westerschelde. Deze tijpoorten dienen uiteraard aan te sluiten op de tijpoorten, of vaarschema's voor het binnengebied.

Geraadpleegde literatuur

- [1] Dallinga, Ir. R.P., Motion response of two bulkcarriers in waves (Volume I - V). Wageningen, maart 1992. Marin, report no. 010281-1-OE
- [2] Beleidsnota Scheepvaartverkeer Noordzee Op Koers. Den Haag, januari 1987. Ministerie van Verkeer en Waterstaat
- [3] Smits, ir H.B., IJ-geul. Veiligheidscriteria. Rotterdam, augustus 1992. Dienst Verkeerskunde.
- [4] Verdieping Westerschelde programma 48'/43'. Antwerpen, Middelburg, juni 1984. Studierapport van de Technische Scheldec commissie, subcommissie Westerschelde.
- [5] Stroomatlas HP15 Westerschelde-Oosterschelde. Den Haag, januari 1992. Dienst der Hydrografie van de Koninklijke Marine.

Bijlage 1 Tabellen overligpercentage bulkcarriers

Overligpercentage Cape-size bulkcarriers, per diepgangsklasse

Diepgang (m)	Overligpercentage	
	Sloehaven	Everingen
11,6	0,0%	0,0%
12,2	0,0%	0,0%
12,5	0,5%	0,0%
12,8	1,7%	0,5%
13,1	4,0%	1,9%
13,4	6,2%	4,3%
13,7	8,9%	6,9%
14,0	10,2%	8,6%
14,2	11,7%	10,0%
14,4	13,5%	10,8%
14,6	16,8%	12,0%
14,7	21,1%	13,2%
14,8	23,4%	14,9%
14,9	33,6%	16,0%
15,0	35,3%	18,6%
15,1	46,3%	23,0%
15,2	49,4%	25,4%
15,3	65,9%	33,6%
15,4	68,2%	50,2%

Overligpercentage Panamax bulkcarriers, per diepgangsklasse

Maximum diepgang (m)	Overligpercentage	
	Sloehaven	Everingen
11,6	1,4%	0,2%
12,2	5,9%	4,0%
12,5	8,3%	7,0%
12,8	9,7%	8,8%
13,1	10,9%	9,5%
13,4	14,7%	10,7%
13,7	19,5%	12,7%
14,0	31,0%	19,8%
14,2	40,8%	24,7%
14,4	52,3%	33,1%
14,6	85,6%	44,4%