

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, Directie Zuid-Holland

Seiches Europoort

Analyse en betrouwbaarheid van Seiches-berekeningen
met PHAROS en TRISULA

EVALUATIE

Evaluatie rapport, Z568.40 & H1866

Februari 1995

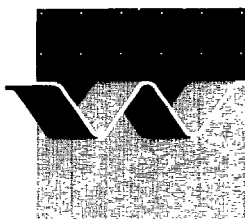


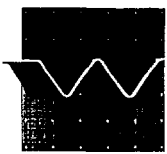
C 11061

Seiches Europoort

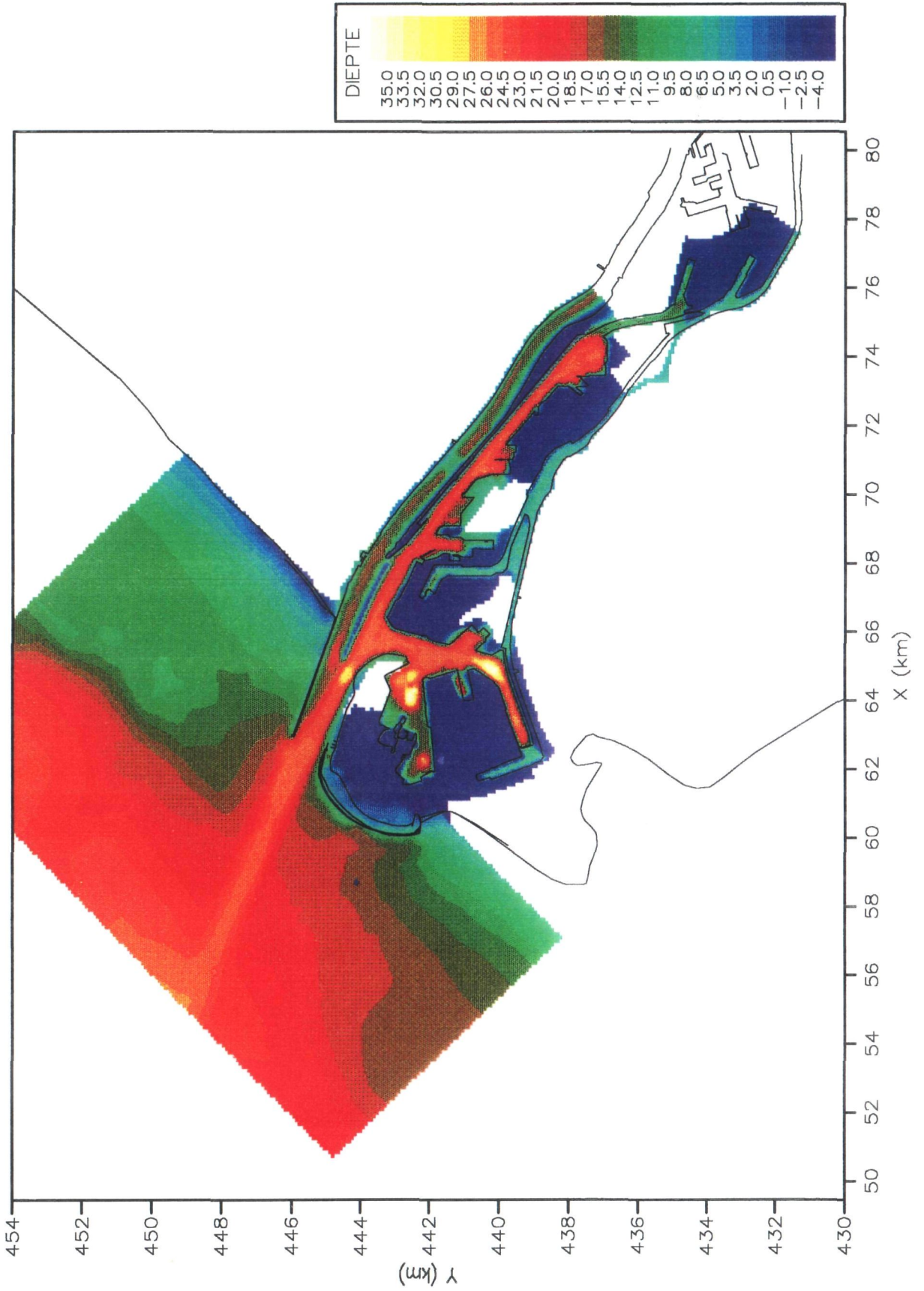
Analyse en betrouwbaarheid van Seiches-berekeningen
met PHAROS en TRISULA
EVALUATIE

H.J.M.G. Steeghs en R.E. Uittenbogaard





KLANT	: Rijkswaterstaat, Directie Zuid-Holland				
TITEL	: Seiches Europoort Analyse en betrouwbaarheid van Seiches-berekeningen met PHAROS en TRISULA; EVALUATIE				
<p>SAMENVATTING : In het kader van de trace-nota Europoortkering zijn seiches berekeningen in het Europoortgebied uitgevoerd, met de rekenmodellen PHAROS (H688, in 1988, GWA010084, in 1991, H1409, in 1991 en H1409-10, in 1993), en TRISULA/WAQUA (Z434, in 1991, en GWA0.150X, in 1992). Bij deze berekeningen is de invloed van onderlopende kadeterreinen op de seicheshoogte mede onderzocht.</p> <p>Er is echter nog een aantal vragen open blijven staan, die door de grote haast waarmee het werk in 1991 is uitgevoerd, onbeantwoord zijn gebleven. Deze vragen hebben zowel betrekking op de situatie mét onderlopen als zonder onderlopen. De voornaamste vragen luiden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Waarom voorspelt PHAROS de amplificatie soms zoveel hoger dan TRISULA ? - Wat is het gevolg van de in beide modellen verschillend gekozen posities van open randen op zee? - Hoe betrouwbaar zijn de voorspellingen van beide modellen voor de situatie met onderlopende kades? <p>Daarom heeft de projectgroep Stormvloedkering Nieuwe Waterweg, SVKW, thans behoefte aan meer inzicht in de betrouwbaarheid van de modelresultaten ten behoeve van het treffen van compenserende maatregelen in het gebied.</p> <p>In het evaluatie rapport wordt een korte samenvatting gegeven van de opgedane kennis en worden de resultaten van de Europoort-berekeningen kort weergegeven. Er worden conclusies getrokken m.b.t. de betrouwbaarheid van de modelinzet van TRISULA en PHAROS voor de seichesberekeningen in het Europoortgebied.</p> <p>Het evaluatie rapport vormt het eindrapport van het gehele project.</p>					
REFERENTIES	: Opdrachtbrieven TXV/118924 dd. 10 november 1993 en TXM/141261 dd. 21 oktober 1994, RWS overeenkomstnummer ZHt 5564; WL-project Z568/H1866.				
REV.	AUTEUR	DATUM	OPMERKINGEN	GECONTROLEERD	GOEDGEKEURD
	ir. H.J.M.G. Steeghs	februari 1995	definitief	ir. H.W.J. Kernkamp <i>JK</i>	ir. H.J.M.G. Steeghs <i>MS</i>
	ir. R.E. Uittenbogaard				
TREFWOORD(EN)			PAGINA'S	DOCUMENT NR.	STATUS
Seiches Onderlopen			TEKST 35 pp. TABELLEN in tekst FIGUREN in tekst	VR 940.94	<input type="checkbox"/> VOORLOPIG <input type="checkbox"/> CONCEPT <input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF
PHAROS			ARCHIEF NR: Z 568/H1866		
TRISULA					
Europoort					



BODEMLIGGING EUROPOORT CONFIGURATIE IV, DODD GEERVLLET

Inhoud

Voorwoord	1
Rapportsamenvatting	2
1 Inleiding	3
1.1 Onderwerp	3
1.2 Aanleiding en opdracht	5
1.3 Uitvoering	6
1.4 Diversen	9.
2 Terminologie	11
3 Resultaten van het onderzoek	18
3.1 Vergelijking PHAROS met TRISULA zonder onderlopen	18
3.2 Vergelijking PHAROS met TRISULA met onderlopen	22
4 Stand van zaken, conclusies en aanbevelingen	24
4.1 Stand van zaken	24
4.1.1 Toepasbaarheid en betrouwbaarheid	24
4.1.2 Modelvorming van tijdelijk onderlopende kadeterreinen	25
4.1.3 Uitgangspunten en aannamen	25
4.1.4 Verschillen in amplificaties	27
4.1.5 Globaal inzicht in seiche-compenserende maatregelen	28
4.2 <i>Conclusies</i>	28
4.3 <i>Aanbevelingen</i>	29

Referenties en overzicht van eerdere rapportages

Voorwoord

De studie waarvan hierna verslag wordt gedaan, heeft betrekking op één van de meest boeiende verschijnselen die in een havenbekken kunnen voorkomen: het optreden van steeds groter wordende staande golven. Die opslingerende staande golven worden *seiches* genoemd. Het hoeft geen betoog dat kennis van dit verschijnsel van groot belang is voor de havenbeheerder; men denke aan het mogelijk onderlopen van kadeterreinen en de overlast voor afgemeerde schepen.

Het verschijnsel seiches in het Europoortgebied is al eerder onderwerp van studie geweest. Bij die studies ging het veelal om het bepalen van mogelijke effecten van ingrepen of om het verkennen van te gebruiken ontwerp-randvoorwaarden. De onderhavige studie richt zich daarentegen in eerste instantie op het advies-instrumentarium zelf; een onderlinge vergelijking en beoordeling van de twee computerprogramma's, PHAROS en TRISULA, waarmee in het verleden studies ten behoeve van adviezen met betrekking tot seiches zijn uitgevoerd. Dit alles uiteraard met het doel te komen tot een optimaal advies-instrumentarium met betrekking tot seiches, zónder en mét onderlopende kaden, in het Europoortgebied.

De actualiteit van vandaag, met onder andere de Stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg in aanbouw en de plannen ten aanzien van de open Beerdam, vraagt om praktisch bruikbare kennis op korte termijn. Dit heeft ertoe geleid dat reeds vanaf het begin ook de praktische relevantie van de verkregen kennis werd gesignaleerd en vastgelegd. Daarom is de vergelijking van de beide computerprogramma's deels ook uitgevoerd aan de hand van de Europoort-situatie.

Al met al heeft deze wat tweeslachtige lijkende situatie ertoe geleid, dat enerzijds een goed inzicht is verkregen in de kwaliteiten van de beide programma's PHAROS en TRISULA, terwijl anderzijds de kennis en het instrumentarium voor de praktische advisering sterk zijn verbeterd. De toegenomen kennis, het vergrote inzicht en de vernieuwde middelen zullen in veel gevallen de toekomstige advisering ten aanzien van praktische 'engineering' vraagstukken verbeteren en soms zelfs voor het eerst echt mogelijk maken.

Nu de studie van 1994 is voltooid, kan een tussenbalans, een evaluatie, worden gemaakt. Dit rapport beschrijft die evaluatie. Er kan slechts beperkt worden ingegaan op het achterliggende, in veel opzichten diepgaande onderzoekswerk dat in de afgelopen periode werd verricht. De inhoud van het evaluatierapport is vooral toegespitst op aspecten die samenhangen met het toekomstige gebruik van de rekenmodellen in de advisering en beleidsvoorbereiding ten aanzien van het Europoortgebied.

Rapportsamenvatting

Seiches zijn opslingerende staande golven die in havenbekkens kunnen ontstaan, wanneer vanaf zee golven met specifieke golflengten de haven binnen dringen. De onderhavige studie heeft als onderwerp de analyse van de betrouwbaarheid van seiches berekeningen, zonder en met onderlopende kaden, met de computerprogramma's PHAROS en TRISULA. Daarbij is de aandacht speciaal gericht op de voorspelling van seiches in het Europoortgebied.

De volgende vragen stonden centraal:

- Waarom voorspelt PHAROS de amplificatie zoveel hoger dan TRISULA?
- Wat is het gevolg van de in beide modellen verschillend gekozen posities van open randen op zee en van de verschillende voorschriften voor inkomende golven?
- Hoe betrouwbaar zijn, gegeven een inkomende golf, de voorspellingen van beide modellen voor de situatie zonder respectievelijk met onderlopende kaden?

en meer impliciet:

- Welk model kan het best in welke situatie worden ingezet ?

De studie is opgedeeld in drie fasen:

- 1 samenvatting van de statistiek van seiches;
- 2 vergelijking tussen PHAROS en TRISULA voor situaties zonder onderlopende kaden;
- 3 vergelijking tussen PHAROS en TRISULA voor situaties met onderlopende kaden.

De studie heeft op alle gestelde vragen een zeer bevredigend antwoord kunnen geven. Het resultaat kan als volgt worden samengevat:

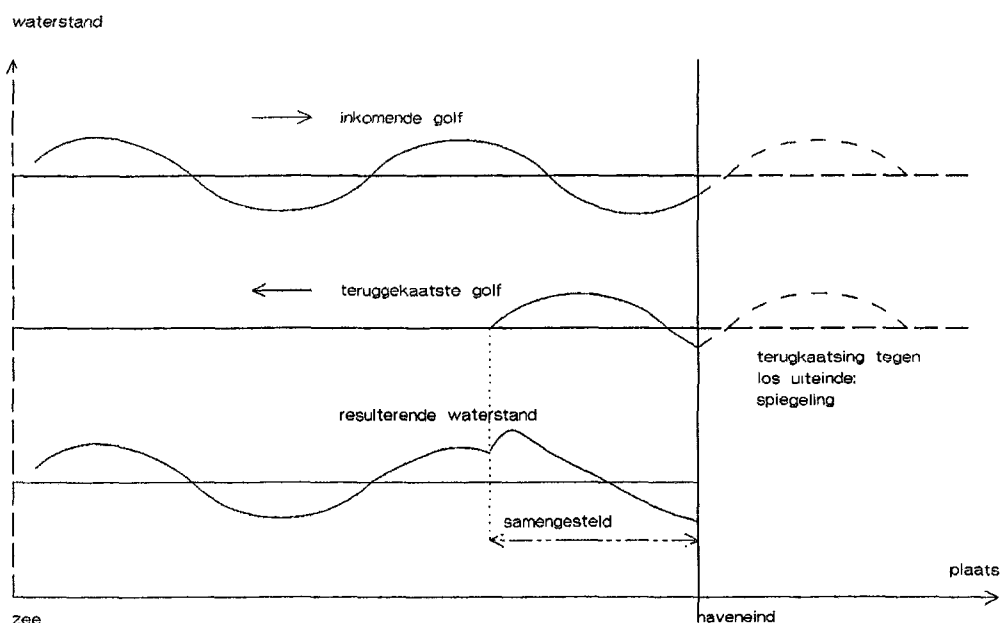
- Voor de situatie waarbij de kaden droog blijven kan met PHAROS en TRISULA een schatting worden gemaakt, binnen nauwe grenzen, van de optredende waterstandsverhoging ten gevolge van seiches.
- Ten aanzien van de situatie met onderlopende kaden is komen vast te staan, dat ook in dat geval goede schattingen kunnen worden gemaakt. In meer ingewikkelde onderloop-situaties verdient TRISULA daarbij de voorkeur.
- Beide genoemde punten leiden ertoe, dat nu met vertrouwen de bestudering van de situatie 'getij plus seiches plus windopzet' kan worden aangevat met TRISULA.
- De grondslag voor de toekomstige advisering ten aanzien van praktische 'engineering' vraagstukken is sterk verbeterd.

1 Inleiding

1.1 Onderwerp

Wanneer een golf van zee het Europoortgebied binnen dringt, plant de golf zich voort in de havens; er ontstaat zo een golfpatroon dat zich uitspreidt over de verschillende bekkens. Door terugkaatsing (reflectie) tegen waterkeringen (kaden etc.) ontstaat vervolgens ook een teruggekaatste golf, of juist, een patroon van teruggekaatste golven.

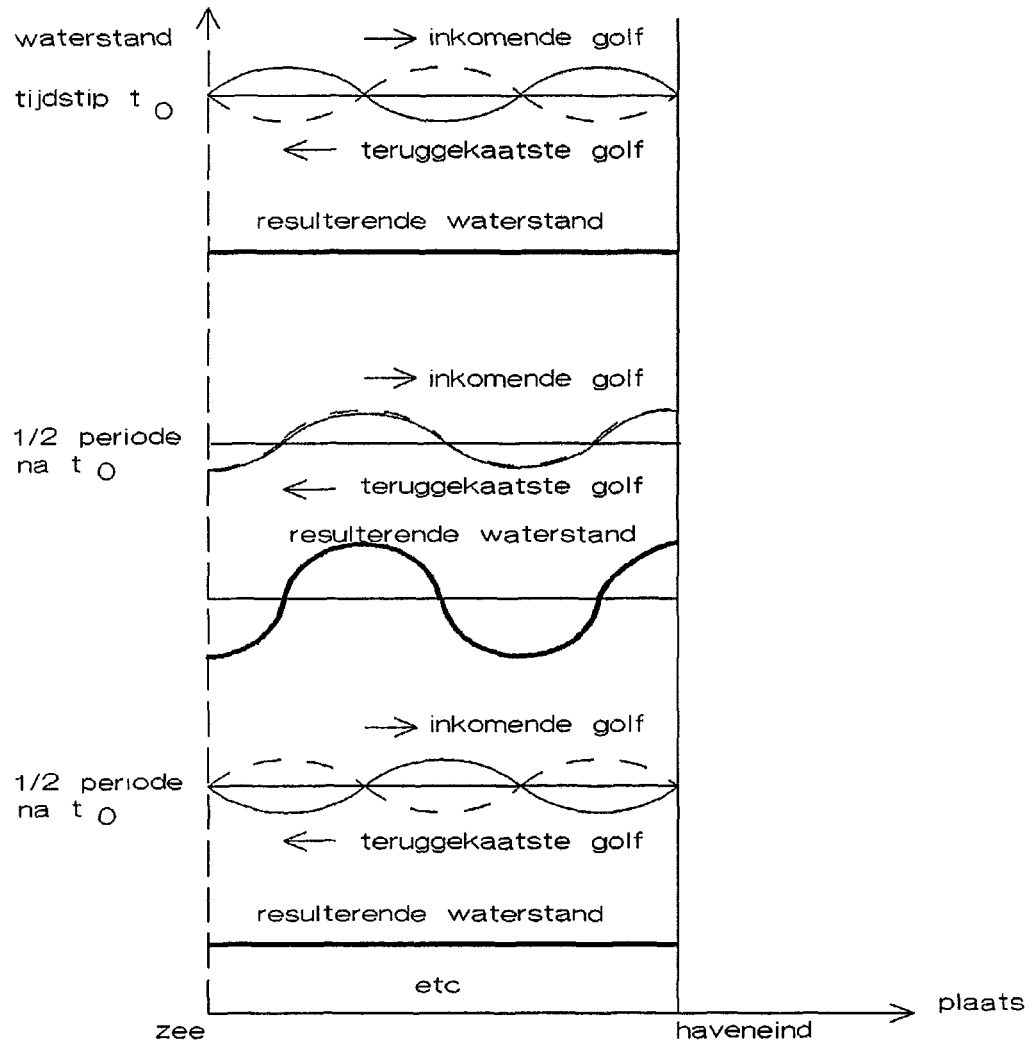
Bij het samenspel van een inkomende en teruggekaatste golf ontstaat een samengesteld golfpatroon, waarbij op sommige plaatsen de beide golven elkaar aanvullen (versterken) en op andere plaatsen elkaar uitdoven (verzwakken). Figuur 1 illustreert dit. In het algemeen is zo'n samengesteld golfpatroon variabel in de tijd, enigszins 'warrig' en niet bijzonder gevaarlijk.



Figuur 1 Samenspel van inkomende en teruggekaatste golf

Indien echter de inkomende golf precies in het havenbekken past, zodat aan het eind van de haven de golf met de volledige top-dal-afstand wordt gereflecteerd, ontstaat er een teruggekaatste golf die precies past bij die inkomende golf. Er ontstaat dan een regelmatig golfpatroon – een *staande golf*, zie Figuur 2. Ook nu is er eigenlijk nog niets aan de hand: de teruggekaatste golf loopt na enige tijd weer de haven uit, waardoor de staande golf weer afzwakt zonder verder schade aan te richten.

Nu komt het nog al eens voor dat de uitgaande teruggekaatste golf niet geheel naar zee kan verdwijnen. Dit speelt vooral bij smalle haveningangen. De zogenaamde uitstraling is dan niet volledig; er blijft golfenergie in het havenbekken achter. Zelfs nu hoeft er nog niet zoveel aan de hand te zijn; de achtergebleven energie zal geleidelijk verdwijnen door wrijvingsverschijnselen.



Figuur 2 Ontstaan van staande golf

Indien er echter op zee een golfveld is ontstaan dat gedurende enige tijd achter elkaar golven 'levert' die precies bij het havenbekken passen (zodat daar dus een staande golf zal ontstaan), dan worden de staande golven in die haven steeds hoger. Steeds wordt er immers, ten gevolge van het verschil tussen 'instraling' en 'uitstraling', een nieuwe hoeveelheid golfenergie 'gevangen' en vastgehouden in het watersysteem van dat havenbekken. (Na enige tijd ontstaat er echter evenwicht tussen 'instraling' en 'uitstraling' en houdt de groei van de hoeveelheid energie op.) Er is sprake van opslingering, van resonantie. Dit effect is volledig analoog aan het toenemen van de slingering van een schommel wanneer op het goede moment ('golf past bij de haven') een duwtje wordt gegeven ('achtergebleven golfenergie').

Het zijn nu de hierboven beschreven havenresonanties, die worden aangeduid met de naam *seiches*. Het zijn golven met een vrij lange periode; voor het Europoortgebied moet men denken aan golven met perioden van 10 minuten tot enkele uren.

Het vermoeden is dat atmosferische drukveranderingen, zoals veroorzaakt door buien en eventueel samenhangend met stormen, de gevaarlijkste seiches aanslaan. In de rapportage van Fase 1 (De Valk, 1994) wordt verder het complexe vraagstuk van het definiëren van de stochastische eigenschappen van seiche-opwekkende golven samengevat. In dit evaluatie-rapport zullen we voor de eenvoud spreken over 'de inkomende golf' alsof het een deterministische grootheid is.

Op welke wijze de oppervlaktegolven die seiches veroorzaken worden opgewekt, wat hun eigenschappen zijn en wat de kans van voorkomen is, valt buiten de hier gerapporteerde studies. Bij de hier beschouwde studies zijn de eigenschappen van de van zee inkomende golven als gegeven beschouwd.

In de afgelopen jaren zijn, in het kader van de tracé-nota Europoortkering, seiches-berekeningen in het Europoortgebied uitgevoerd. Daarbij is de zaak van twee kanten benaderd. Enerzijds is het computerprogramma PHAROS als instrument gebruikt; PHAROS berekent de voortplanting, doordringing en opslingering van golven in havens. Anderzijds heeft men het verschijnsel seiches benaderd van de kant van de lange (getij-)golven, waarbij het computerprogramma TRISULA is ingezet. TRISULA en PHAROS schatten elk op eigen wijze op basis van een gegeven inkomende golf de ruimtelijke verdeling van de daaruit resulterende golfhoogte in havens.

In de referentielijst is een overzicht van eerdere seiches-studies gegeven. De Figuur vóór in dit rapport geeft de bodemligging en kadehoogten in de Europoort-configuratie die is gebruikt in de studie van 1994.

1.2 Aanleiding en opdracht

In de eerdere studies bleek een groot verschil tussen de berekeningsresultaten van PHAROS en TRISULA. Verder is bij deze berekeningen slechts voor een beperkte aantal situaties de invloed van onderlopende kadeterreinen op de seicheshoogte mede onderzocht. Onder andere het projectbureau Stormvloedkering Nieuwe Waterweg, SVKW, heeft evenwel behoefte aan meer inzicht in de betrouwbaarheid van de modelresultaten, met het oog op te treffen compenserende maatregelen in het gebied.

Eind 1993 heeft de Directie Zuid-Holland van Rijkswaterstaat daarom opdracht verleend aan het Waterloopkundig Laboratorium voor het uitvoeren van de studie "Analyse betrouwbaarheid seiches berekeningen met PHAROS en TRISULA" (opdrachtbrieven TXV/118924 dd 10 november 1993 en TXM/141261 dd. 21 oktober 1994; RWS overeenkomstnummer Zht 5564; WL-project Z568/H1866). Dit evaluatie-rapport vormt het laatste produkt van die opdracht.

In deze studie, die in 1994 werd uitgevoerd, stonden de volgende vragen centraal:

- Waarom voorspelt PHAROS de amplificatie zoveel hoger dan TRISULA?
- Wat is het gevolg van de in beide modellen verschillend gekozen posities van open randen op zee en van de verschillende voorschriften voor inkomende golven?
- Hoe betrouwbaar zijn, gegeven een inkomende golf, de voorspellingen van beide modellen voor de situatie zònder onderlopend, respectievelijk mèt onderlopende kaden?

en meer impliciet:

- Welk model kan het best in welke situatie worden ingezet?

Voor het onderzoek naar seiches in het Europoortgebied zijn, vooral wanneer het gaat om het risico voor onderlopende kadeterreinen, in eerste instantie twee havenbekkens van belang: het Calandkanaal tot Rozenburgsesluis en het Hartelkanaal (tot de Hartelkering). De studie in 1994 richtte zich op deze beide bekken.

Daarnaast kan ook het bekken dat wordt gevormd door de Nieuwe Waterweg tussen de stormvloedkering en de monding worden onderscheiden; in de huidige studie van 1994 is hier niet expliciet aandacht aan besteed.

Hierboven is gesproken over resonantie in een enkele haven (een enkelvoudig bekken) en daarbij is het beeld van de schommel gebruikt.

In het geval van een meervoudig systeem als het Europoortgebied met zijn drie grote deelsystemen (Calandkanaal, Hartelkanaal, NWW) kan daarnaast het beeld van een orgel met zijn pijpen behulpzaam zijn. In de mond van de Waterweg 'blaast' de zee via de inkomende golven de drie orgelpijpen aan. Afhankelijk van de golflengte van de trilling die de zee in de monding naar binnen brengt, gaan de orgelpijpen al dan niet resoneren. Elk bekken (orgelpijp) zal bij een eigen specifieke golflengte gaan resoneren (gaan klinken).

Elke haven, elk havensysteem in het Europoortgebied kent haar eigen patroon van staande golven (trilvorm). Bij elk punt in een haven hoort daarmee dus een eigen variatie van de waterspiegel in de tijd, een eigen tijdfunctie voor de opslingering.

Indien van elk punt in het Europoortgebied bekend is hoe de waterstand aldaar reageert op inkomende golven met een zekere golfperiode, als we dus in elk punt de amplificatie-functie kennen, dan kunnen de risico's voor onderlopen van kaden, voor de scheepvaart, voor de stabiliteit van constructies en voor het bezwijken van waterkeringen worden ingeschat.

1.3 Uitvoering

De studie van 1994, "Analyse betrouwbaarheid seiches berekeningen met PHAROS en TRISULA", omvat drie fasen die elk afzonderlijk zijn gerapporteerd.

Fase 1 betreft een samenvatting van de statistiek van seiches en is gerapporteerd door C.F. de Valk in diens rapport van mei 1994.

Dat rapport gaat in op de definities en algemene beschouwing van statistiek van seiches in het Europoortgebied. Ook wordt een samenvatting gegeven van de aanpak van het in 1987/1989 uitgevoerde onderzoek betreffende de statistiek van seiches bij Rozenburgsesluis. Tenslotte wordt een korte samenvatting gegeven van de problemen bij de vertaling van statistiek van seiches naar een andere locatie in het havenbekken in verschillende situaties, zoals bij een gesloten stormvloedkering. Met name wordt een overzicht gegeven van de in het voorafgaande onderzoek voorgestelde en gehanteerde benaderingen.

Fase 1 staat verder los van de rest van de studie; in het evaluatie-rapport komt de statistiek van seiches verder niet inhoudelijk ter sprake.

Fase 2 was gericht op de vergelijking tussen PHAROS en TRISULA voor situaties zonder onderlopende kaden en is gerapporteerd in juli 1994 in Kernkamp et al., 1994a.

In de tweede fase is allereerst een theoretisch fundament gelegd op basis waarvan een verantwoorde vergelijking tussen PHAROS en TRISULA eerst mogelijk wordt. In deze theoretische analyse is met name ook ingegaan op de vraag, op welke wijze en in welke mate de te onderscheiden seiche-dempende mechanismen in beide modellen worden weergegeven. Tevens is voor TRISULA een energiebalans opgesteld die, indien meegenomen bij de berekeningen, kan helpen de demping van seiches te ontleden naar de diverse oorzaken en die behulpzaam kan zijn bij het overwegen van compenserende maatregelen. (Overigens is het in dit project niet tot de geschetste toepassing van de energiebalans gekomen.)

Bij de aanvang van Fase 2 van de studie in begin 1994 is het toen beschikbare Europoort-instrumentarium ingrijpend gewijzigd. Zowel in de PHAROS schematisatie als in de TRISULA-schematisatie is het zeegebied voor het Europoortgebied vergroot. Om een goede vergelijking van de beide modellen mogelijk te maken is zeer veel zorg besteed aan de juiste weergave van de randcondities op zee; er was een grote inspanning nodig om ervoor te zorgen dat er niet al 'bij voorbaat' verschillen tussen beide programma's zouden ontstaan door een verschil in die randcondities.

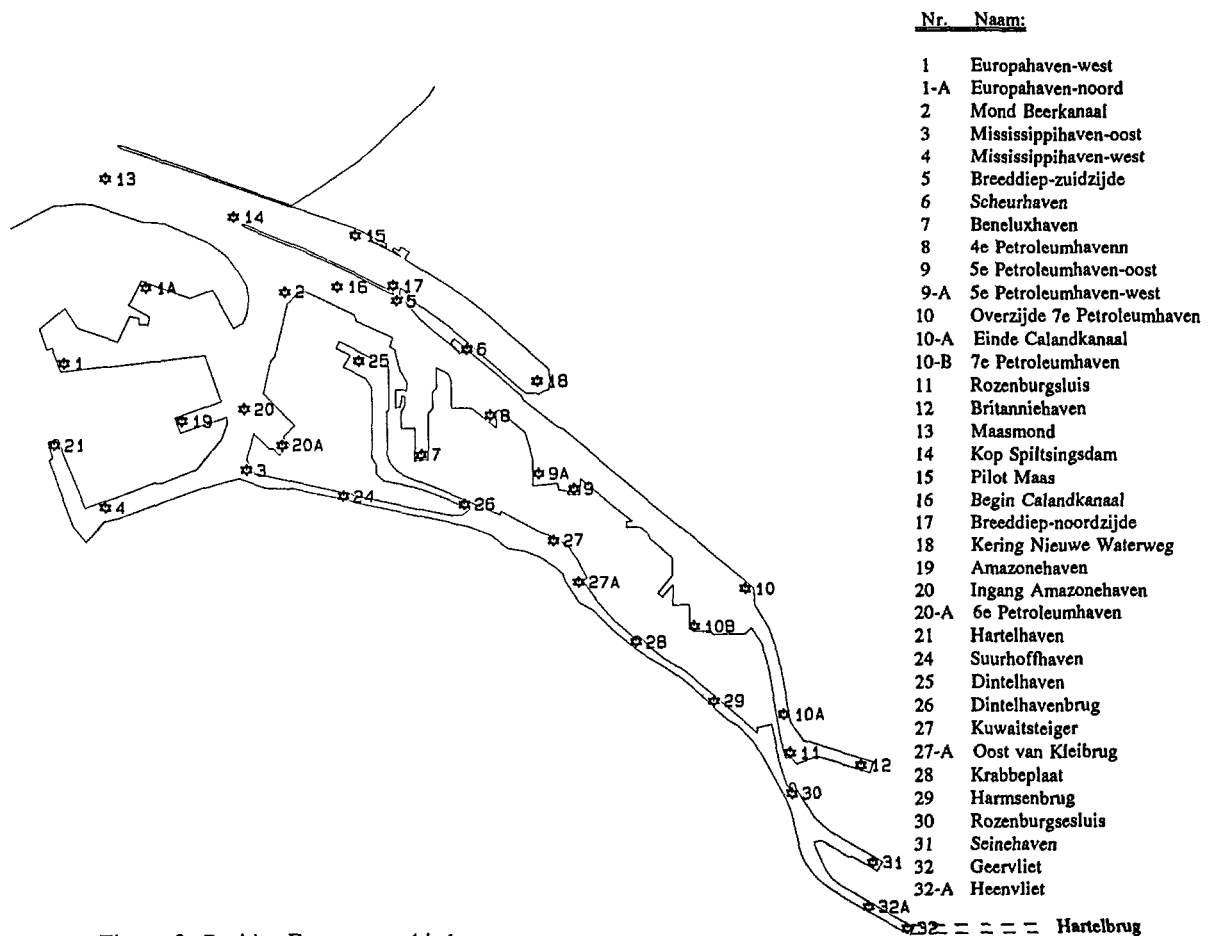
Vervolgens werden zowel met PHAROS als TRISULA berekeningen uitgevoerd voor enkele testsituaties. Met een groot aantal simulaties in de testsituaties werd het effect van verschillende mogelijke vormen van demping van seiches nader bestudeerd en werd vergeleken hoe beide modellen daarmee omgaan.

Op basis hiervan werd aanbevolen de formulering voor bodemwrijving in PHAROS uit te breiden. Ook werd aanbevolen de berekening van het effect van intree- en vertragsingsverliezen in PHAROS te implementeren. Beide aanbevelingen zijn direct uitgevoerd.

Speciale vermelding verdient de testcase Murakami, waarbij met PHAROS en TRISULA de seiches zijn gesimuleerd die door Murakami in een schaalmodel werden gemeten en door hem zijn beschreven in een wetenschappelijk artikel. Voor PHAROS leverde dit testgeval geen bijzondere problemen op. Voor TRISULA was het een harde test, waarbij veel duidelijkheid is verkregen omtrent het belang van voldoende detail van het rekenrooster in relatie tot de lengte van de relevante golf.

Tenslotte zijn met beide modellen simulaties gedaan in de Europoortconfiguratie bij gesloten stormvloedkering. Het ging daarbij (voorlopig nog) om situaties waarbij geen onderlopen optreedt.

Bij die simulaties zijn de kennis, de informatie en de methoden die waren verkregen bij het uitvoeren van de testberekeningen direct ingezet. Daarbij is gekozen voor de (inmiddels niet meer actuele) situatie met de Hartelkering bij Geervliet (zie Figuur 3). Die keuze is gemaakt omdat dan van een reeds bestaande schematisatie van TRISULA uit kon worden gegaan en er voor die situatie al resultaten van eerdere PHAROS en TRISULA berekeningen beschikbaar waren. De resultaten van de berekeningen zonder onderlopen voor het Europoortgebied worden in hoofdstuk 3 van dit evaluatie rapport weergegeven.



Figuur 3 Posities Europoortgebied

Fase 3 was gericht op de vergelijking tussen PHAROS en TRISULA voor situaties mét onderlopende kaden en is gerapporteerd in december 1994 in Kernkamp et al., 1994b.

Voor de situatie mét onderlopende kaden lag het voortouw bij TRISULA. Met TRISULA zijn testsommen gedaan voor het vaststellen van te kiezen aanpak en benaderingen. Er is veel aandacht besteed aan de manier waarop het onderlopen van kaden moet worden beschreven. De bestaande onderloop-/droogvalprocedures in TRISULA zijn aangevuld en op hun bruikbaarheid getoetst.

De te gebruiken bodemwrijvingscoëfficiënt voor onderlopende terreinen is betrokken op modelmetingen aan een rivier met uiterwaarden en obstakelbezetting. Voor de 'obstakelbezetting' op de verschillende kadeterreinen is een ruwe schatting gemaakt. Overigens bleek uit de testberekeningen dat de invloed van die bodemruwheid veel kleiner was dan de invloed van de gekozen hoogte van de kade.

Met deze uitgangspunten is vervolgens met TRISULA de seiche demping bij onderlopen in een tweetal simpele geometrieën berekend: een rechte haven met onderlopende kaden aan de zijkant en een rechte haven met onderlopende kaden aan de achterkant.

Daarnaast zijn op basis van de benadering beschreven in Veldman 1993 reflectie-coëfficiënten bepaald voor elk van de kadehoogten. Tevens is de definitie van de reflectie-randvoorwaarde aangepast (de hoek van inval; fase draaiing van de gereflecteerde golf). Met de verbeterde aanpak zijn vervolgens die beide simpele geometrieën met PHAROS doorgerekend.

Tenslotte zijn met TRISULA berekeningen uitgevoerd voor de Europoortconfiguratie met onderlopen. Er zijn, voor de situatie met onderlopen, geen nieuwe berekeningen met PHAROS gedaan; de laatste inzichten m.b.t. PHAROS zijn dus nog niet toegepast op de Europoortconfiguratie. In plaats daarvan zijn naast laatste TRISULA berekeningen PHAROS berekeningen met onderlopen gepresenteerd die reeds in 1993 zijn uitgevoerd (kering bij de Hartelbrug; oude aanpak reflectie). Vergelijken heeft slechts zeer beperkte geldigheid. De resultaten van de Europoortberekeningen met onderlopen worden eveneens in hoofdstuk 3 van dit evaluatie rapport weergegeven.

Het evaluatie-rapport is vooral gebaseerd op de rapporten van Fase 2 en Fase 3. Het heeft tot doel een overzicht en samenvatting te geven van de studie en uitzicht te geven op het belang van de behaalde resultaten voor de toekomst. In dit evaluatie rapport ligt de nadruk niet op de details van het tijdsafhankelijke gedrag van seiches; we richten de aandacht op de maximale uitwijking van de trilling (de zogenoemde amplitude). Wat ons echter wél interesseert is: 'Wat is de grootst mogelijke waarde van die maximale uitwijking; wat is de maximale amplitude? Zoals hierboven al is gebleken treedt die maximaal mogelijke uitwijking op bij zeer specifieke golfperioden.

Het evaluatie rapport is geschreven door ir. H.J.M.G. Steeghs en ir. R.E. Uittenbogaard. Het rapport vormt het eindrapport van het gehele in 1993 opgedragen en in 1994 uitgevoerde project. Het rapport is als volgt opgezet:

Teneinde de lezer vertrouwd te maken met enkele relevante begrippen volgt hierna allereerst een hoofdstuk 'Terminologie' (Hoofdstuk 2). Hoofdstuk 3, 'Resultaten van het onderzoek', geeft een samenvatting van de bereikte technisch wetenschappelijke resultaten voor zover die betrekking hebben op Europoort. In hoofdstuk 4 tenslotte worden enkele conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

1.4 Diversen

Eerdere seiches studies

Overzicht van de drie eerdere seiches-studies Europoort (vanaf april 1987).

1987/1988

Studie als onderdeel van het RWS project "Studie Stormvloedkering Nieuwe Waterweg".

- Fase 1: Effect van de kering, 2 lokaties (Km 1026,5 en Km 1022)
Uitvoering: mei - augustus 1987; Rapport H688 deel I, augustus 1988
- Fase 2: Maatregelen ter vermindering van de resonantie gevoeligheid
Uitvoering: augustus 1987 - maart 1988; Rapport: H688 deel II, maart 1991

- Fase 3: Statistiek van seiches
Uitvoering: 1987; Rapport: Bijdrage t.b.v. nota GWAO-88.038

1991

Studie als onderdeel van het RWS project "Tracé-nota Europoortkering".

RWS nota GWAO 91.10084, Hoekema en De Lange.

Ondersteuning van de bepaling van ontwerp randvoorwaarden.

Aspecten: kering in Nieuwe Waterweg bij Km 1026,5; een of twee openingen naar Hartelkanaal; 3 lokaties Hartelkering en effect overstroomde kaden.

- PHAROS: 11 berekeningen
Uitvoering: maart - oktober 1991; Rapport: H1409, deel I en II, oktober 1991
- TRISULA: 12 berekeningen
Uitvoering: maart - juli 1991; Rapport: Z434, deel I en II, juli 1991

1992

Studie als onderdeel van het RWS project "Europoortkering met Open Beerdam".

RWS nota GWAO 92.150X, DGW.

Ondersteuning bij de bepaling van ontwerp randvoorwaarden.

Aspecten: kering in Nieuwe Waterweg bij Km 1026,5; een of twee openingen naar Hartelkanaal; Hartelkering bij de Hartelbrug; effect van overstroomde kaden bij twee waterstanden; nieuwe geometrie en kadehoogten en compenserende maatregelen bij de Seinehaven.

- PHAROS: 11 berekeningen
Uitvoering: augustus 1992 - januari 1993; Rapport: H1409-10, februari 1993

Uitvoerenden

De volgende medewerkers van WL hebben de seiches-studie van 1994 uitgevoerd:

ir. H.W.J. Kernkamp (TRISULA); dr. A. Otta (PHAROS); ir. C.F. de Valk (Statistiek van seiches, Fase 1); ir. J.J. Veldman (PHAROS); ir. R.E. Uittenbogaard (inhoudelijke coördinatie) en ir. H.J.M.G. Steeghs (projectleiding).

Namens Rijkswaterstaat werd het project begeleid door drs. ir. A.A.J. Rohde en ir. P. Tjepkema van directie Zuid-Holland. Het project is technisch inhoudelijk begeleid door ir. A.P. de Looff en ir. J.G. de Ronde, beiden van RIKZ.

2 Terminologie

In het voorgaande inleidende hoofdstuk zijn reeds een aantal begrippen in algemene zin geïntroduceerd. Hieronder volgt een meer exacte omschrijving van enkele relevante begrippen. Zij zullen in Hoofdstuk 3 worden gebruikt bij het beschrijven van de in de onderhavige studie bereikte resultaten.

Golven en seiches

Wanneer we in deze studie spreken over inkomende golven, dan bedoelen we langkammige golven die in een gebied op zee liggend tegenover de havenmond, ontstaan en die zich voortplanten in de richting loodrecht op de kust.

Een golf wordt gekenmerkt door een golfperiode en een golfhoogte. De *golfperiode* is de tijdsduur tussen het optreden van een bepaalde golftop (via golfdal) tot een volgende golftop. De *golfhoogte* is het waterstandsverschil tussen golftop en golfdal. De maximale uitwijking van de waterstand ten opzichte van de middenstand wordt aangeduid met '*amplitude*'. Er geldt dus: de golfhoogte = 2 maal de amplitude.

Daarnaast kennen we nog het begrip *golflengte*, zijnde de horizontale afstand tussen twee golftoppen bijvoorbeeld. In een gegeven situatie hangen de golflengte en golfperiode rechtstreeks met elkaar samen: golflengte = constante maal golfperiode. Die constante is de voortplantingssnelheid van een golf en is slechts afhankelijk van de waterdiepte.

We beschouwen nu een reeks van gelijke inkomende golven die terugkaatsen tegen een kade achterin de haven. In feite hebben we dan te maken met twee identieke golfbronnen: de zee (inkomende golven) en de kade (teruggekaatste golven). In zo'n situatie ontstaat een staand golfpatroon. Of ook daadwerkelijk een staande golf met maximale uitwijking ontstaat, hangt af van de vraag, of de afstand tussen de golfbron op zee en (de golfbron ter plaatse van) de kade 'goed past' bij de optredende golflengte. Zoals in de Figuren 6a en 6b al is aangegeven is van 'goed bij elkaar passen' sprake indien tussen de bron op zee en de kade precies 1/4 deel (of 3/4 deel, of 5/4 deel, of ..) van de optredende golflengte past.

Er speelt nog iets anders mee. Wanneer een door de kade teruggekaatste golf iets buiten de havenmond is aangekomen kaatst hij weer terug de haven in; dit keer niet tegen een 'los' uiteinde als de kade is (waar de waterstand 'kan doen wat hij wil'), maar tegen een betrekkelijk 'vast' uiteinde, de zee met een gegeven (zee-)waterstand. De door de zee teruggekaatste golf (maar ook de van de kade afkomstige golf) heeft op die plaats dus geen uitwijking. We noemen dat een *knoop* (bij de kade zit een zogenaamde '*buik*'). Bij de havenmond ontstaat als het ware een derde golfbron met golven die ook weer dezelfde golfperiode hebben als de inkomende golf en de bij de kade teruggekaatste golf. De terugkaatsing tegen de zeerand is overigens niet volledig: een gedeelte van de golfenergie verdwijnt naar het grote zeegebied buitengaats.

Het is duidelijk dat de zojuist genoemde knoop bij de havenmond de plaats aanduidt waar de bron van de op zee opgewekte inkomende golven geacht moet worden te liggen, wil er sprake kunnen zijn van het ontstaan van staande golven. Overigens hoeft voor de relatief trage golfverschijnselen (grote golflengten) waar we hier naar kijken niet al te veel belang worden gehecht aan een nauwkeurige 'plaatsbepaling' voor die bron op zee. De golfperiode is de alles overheersende parameter.

Wanneer dus de inkomende golven de juiste golflengte hebben en voldoende lang bestaan, vormen ze, samen met de teruggekaatste golven, staande golven die, zeker in het begin, toenemen in golfhoogte. Dergelijke (groeierende) staande golven heten ook wel seiches. In het geval dat de inkomende en teruggekaatste golf niet precies elkaar volledig versterken, kan het resulterende staande golfpatroon aanvankelijk toch ook aangroeien. Hoewel er dan geen sprake is van de maximaal mogelijke staande golf, spreken we ook dán van seiches.

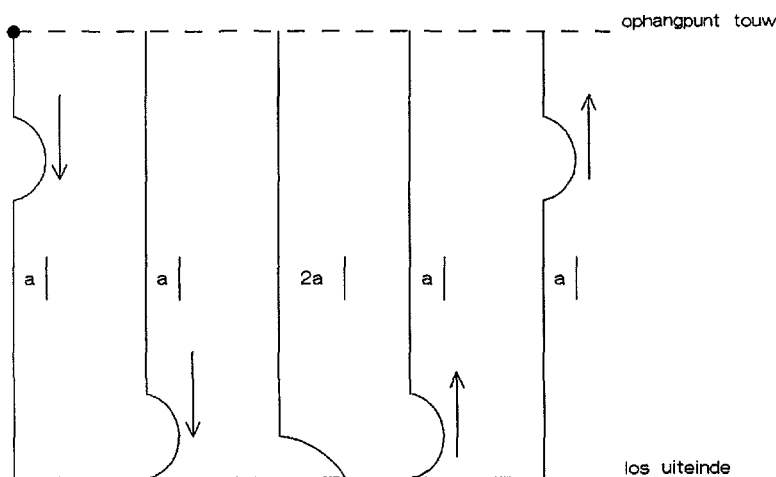
De versterking van de inkomende golf is onder andere afhankelijk van de lengte van de inkomende golf in relatie tot de lengte van de haven (past de golf goed in de haven?) en van de grootte van de havenmond (hoeveel energie blijft gevangen?).

De inkomende golven die in het Europoortgebied tot seiches aanleiding geven zijn golven met een periode van circa 10 minuten tot circa 300 minuten. Als voorbeeld kan dienen de opslingering bij Rozenburgsesluis als gerapporteerd in Bijlage 1 van Doekes en Dillingh, 1987: periode van circa 90 minuten, top-dal circa 1,40 m.

Versterking/amplificatie

Wanneer een loodrecht inkomende golf volledig reflecteert tegen een (oneindig lange) rechte kade, wordt bij die kade de waterstandsvariatie (top-dal) verhoogd met een factor 2. Deze situatie komt overeen met het geval van een afgesloten haven (dat is een haven met bekkenlengte 0); in deze situatie wordt de totale inkomende golfenergie ook weer uitgestraald; er wordt geen golfenergie opgehoopt en er treedt geen amplificatie op.

De golfhoogte wordt daar dus twee maal zo groot; ten opzichte van de middenstand stijgt (en daalt) het water dus tot twee maal de amplitude van de inkomende golf. Wat dit betreft is er geen verschil met de reflectie tegen een los uiteinde van een golf in een touw, zie Figuur 4. We spreken in dit geval evenwel nog niet van versterking; bij deze situatie hoort per definitie een amplificatie-factor 1.



Figuur 4 Eén enkele golf die terugkaatst

De waterstandsvariatie (top-dal; golfhoogte) ten gevolge van inkomende golven ter plaatse van het gesloten uiteinde van een haven, kan in specifieke gevallen groter worden dan bij 'gewone' terugkaatsing.

Wordt dán de optredende golfhoogte gedeeld door twee maal de hoogte van de inkomende golf (dus delen door 4 maal de amplitude!), dan wordt een factor, de amplificatie-factor!, groter dan 1 gevonden.

Elders in de haven geldt ook bij definitie: amplificatie is waterstandsvariatie gedeeld door twee maal de hoogte van de inkomende golf.

De amplificatie-functie

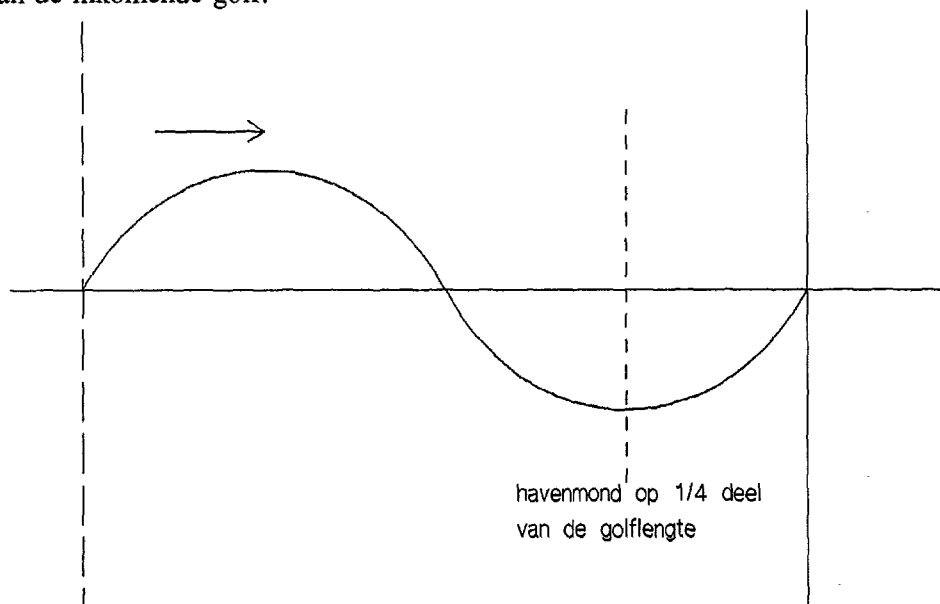
Bij elk punt in een haven hoort dus een bepaalde relatie tussen de periode van de inkomende golf en de amplificatie die vervolgens op die plaats optreedt. Deze relatie heet de amplificatie-functie voor dat bepaalde punt. De grafiek van die functie heeft pieken bij specifieke golfperiodes (resonantie). Ook bij andere golfperiodes kunnen overigens verhoogde waarden van de amplitude optreden.

In Hoofdstuk 3 staat een amplificatie-functie afgedrukt, Figuur 8. Zonder nadere aanduiding bedoelen we in dit rapport met dé amplificatie-functie van een haven de amplificatie-functie die hoort bij het verst van zee gelegen punt in de haven, waar de uitwijking het grootst is.

Resonantie

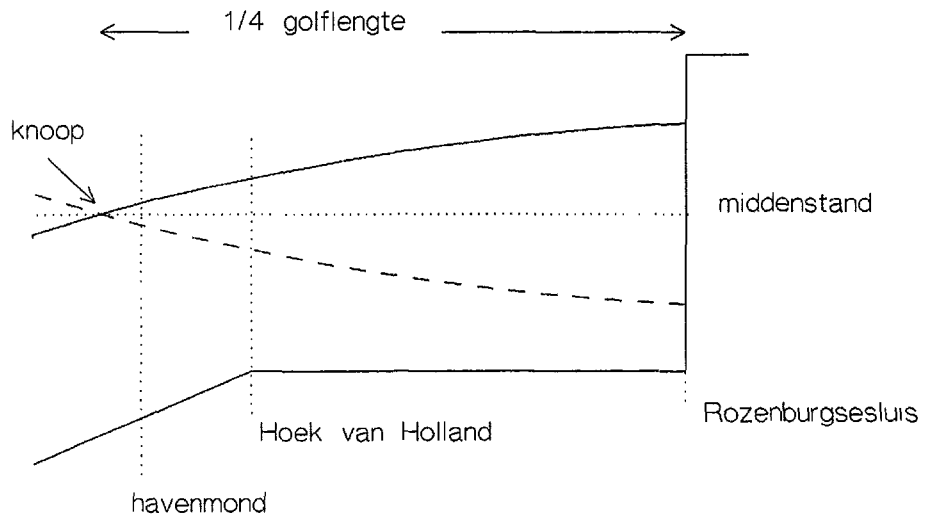
In het inleidende eerste hoofdstuk is globaal beschreven wat in een seiches-studie onder resonantie wordt verstaan.

De beschrijving die daar werd gegeven ging impliciet uit van een inkomende golf als geschetst in Figuur 5: in de haven past 'precies' een vierde deel van een volledige lengte van de inkomende golf.



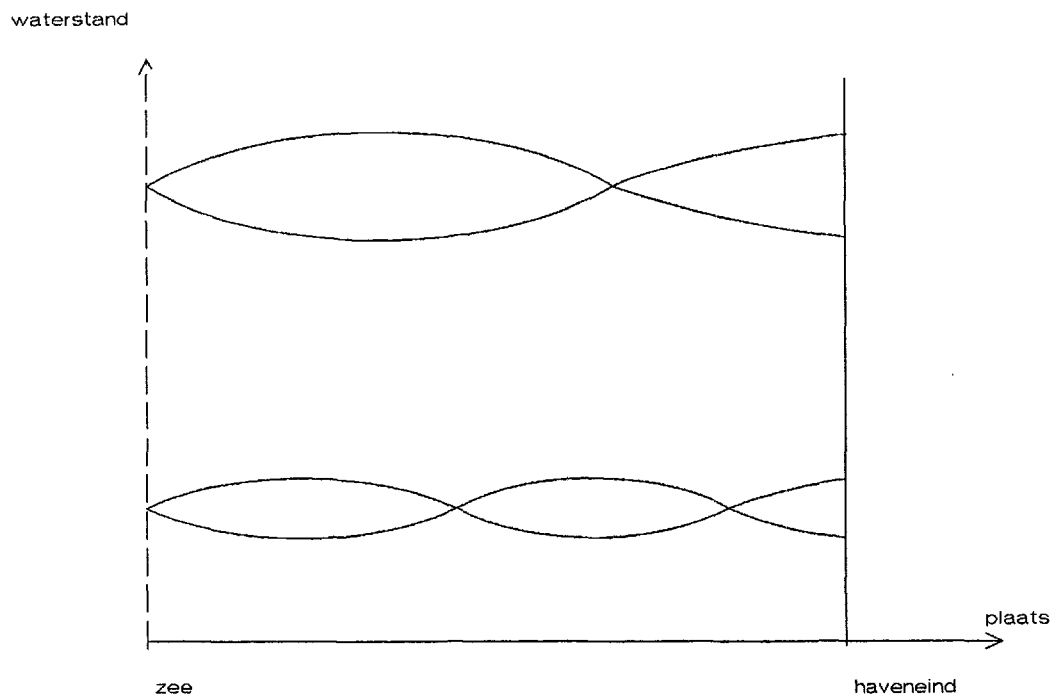
Figuur 5 Havenlengte is ongeveer 1/4 deel van de golflengte

De staande golf die daarbij kan ontstaan is geschetst in Figuur 6a. Deze staande golfvorm heet de grondtoon of eerste harmonische; ze hoort dus bij de inkomende golf met de grootste periode die aanleiding kan geven tot resonantie (mits die inkomende golf voldoende lang aanhoudt).



Figuur 6a Schets van staande golf in Calandkanaal (grondtoon)

Er zijn echter nog veel meer inkomende golven die goed in een haven passen; Figuur 6b illustreert dat.



Figuur 6b Staande golven; boventonen

De bijbehorende staande golven noemen we boventonen of hogere harmonischen. Ook die staande golven kunnen opslingeren; bij deze kleinere golfperioden kan dus ook resonantie optreden.

Maximale uitwijking

De amplificatie-functie bevat één, maar als regel meer lokale maxima waarnaar de belangstelling uitgaat vanwege kans op onderlopen van kaden, etc. Deze maxima treden op bij zogenoemde resonantieperioden. Meestal wordt bij de grootste resonantieperiode (grondtoon, ook wel 'eerste harmonische' genoemd) de hoogste piek in de amplificatie-functie gevonden. Hierop bestaan echter uitzonderingen bij complexe havens en samenstellen van havens.

Naarmate de lengte van het havenbekken toeneemt (of beter: de breedte van de haven verhoudingsgewijs kleiner wordt ten opzichte van de lengte van de staande golf in de haven), wordt de uitstraling van golfenergie moeilijker en blijft meer energie in het havenbekken achter voordat er evenwicht ontstaat tussen 'instraling' en 'uitstraling' van golfenergie; er treedt meer resonantie op.

De mate van versterking volgt uit de balans tussen de energie die met de inkomende golf het havenbekken binnenkomt en de energie die uit het havenbekken verdwijnt.

Voor dat verdwijnen van energie zijn een aantal mechanismen verantwoordelijk: allereerst de hiervoor reeds genoemde uitstraling van golfenergie terug naar zee en verder mechanismen als wrijving en wervelvorming.

Verder wordt de ontwikkeling van een seiche afgeremd (gedempt) doordat energie vanuit de heersende golfbeweging wordt overgegeven aan golven met kleinere perioden, dus aan hogere harmonischen.

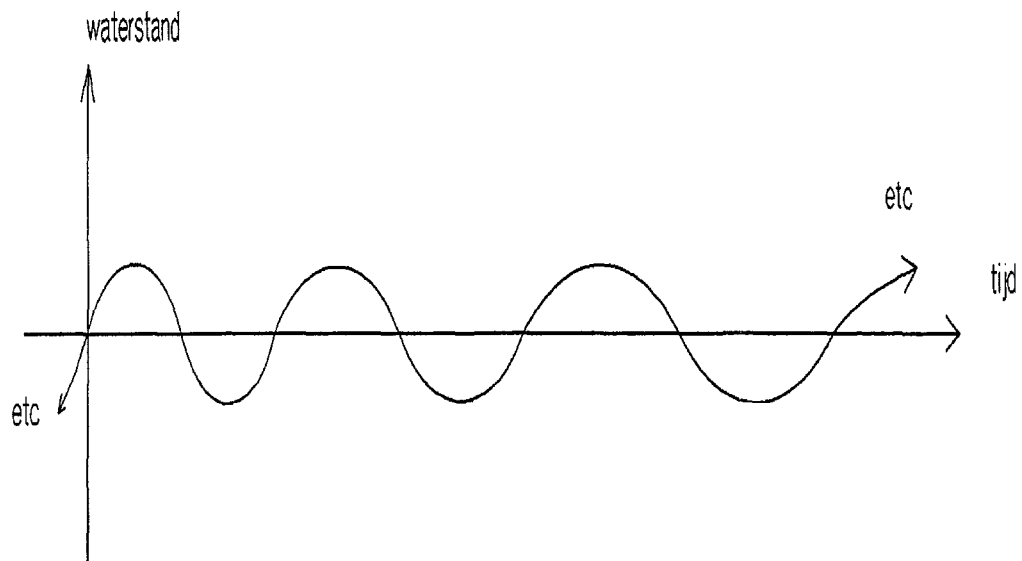
In het vorige hoofdstuk is het beeld van de schommel gebruikt. Bij een schommel zou de uitwijking oneindig groot kunnen worden, als we tenminste de wrijving buiten beschouwing laten. Iets dergelijks is bij een haven uitgesloten.

Ook al laten we wrijving buiten beschouwing, dan nog komt er een einde aan de groei van de staande golf. Dat komt omdat de uitstraling van energie terug naar zee toeneemt naarmate in het havenbekken meer energie is opgehoopt; op een zeker moment ontstaat dan de situatie dat door uitstraling evenveel energie verdwijnt als er binnen komt via de inkomende golven.

randaansturing en 'chirp'

Bij de simulatie met TRISULA en PHAROS laten we op zee òfwel golven het gebied binnen komen met een zeer kleine golfhoogte van 0,002 m om lineair gedrag te simuleren, òfwel met een reële golfhoogte van 0,3 m.

Om uit te zoeken bij welke golfperiode(s) resonantie optreedt, wordt in het TRISULA-model op zee (ter plaatse van de modelrand) een bijzonder soort golfsignaal het gebied ingestuurd: een sinusvormig tijdsignaal met langzaam variërende periode, een 'chirp'. Figuur 7 geeft zo'n chirp weer.



Figuur 7 Chirp; steeds toenemende periode

frequentiedomein en tijdsdomein

Men moet zich realiseren dat, hoewel TRISULA en PHAROS beide van dezelfde algemene wiskundige vergelijkingen voor de waterbeweging uitgaan, ze al direct van elkaar gaan afwijken door de vereenvoudigende aannamen die worden gemaakt.

In het geval van de hier relevante lange golven mag men stellen dat TRISULA het dichtst bij de basisvergelijkingen blijft.

Het TRISULA-model geeft de optredende processen weer in de vorm waarin ze zich afspelen: als verschijnselen die zich in de tijd voltrekken. Anders gezegd: TRISULA werkt in het tijdsdomein. Bij PHAROS leiden de vereenvoudigingen tot een model dat de optredende processen niet 'ziet' als verschijnselen die zich in de tijd afspelen, maar dat processen ziet als de som van afzonderlijke processen die zich elk met een zekere eigen regelmaat, met een zekere eigen periodiciteit, afspelen. De opslinging van golven wordt geanalyseerd door achtereenvolgens verschillende golven te beschouwen, elk met een constante golflengte en golfhogte. PHAROS werkt in het domein van perioden, algemeen aangeduid met frequentiedomein.

Europoortconfiguratie

Welk deel van het Europoortgebied in de verschillende studies in de rekenmodellen is weergegeven en hoe dat is gebeurd, is aan veranderingen onderhevig geweest. Hier volgt een overzicht van de verschillen, voor zover relevant, voor de onderhavige studie.

De configuratie van de jaren 1987-1988 omvatte de Nieuwe Waterweg, het Calandkanaal en, voor een enkele berekening, het Hartelkanaal met kering bij Rozenburgsesluis.

In de configuratie van 1991 werden diverse locaties voor de Hartelkering beschouwd: Harmsenbrug, Geervliet, Hartelbrug. Die configuratie van 1991 is zowel voor berekeningen met PHAROS als met TRISULA gebruikt, waarbij met TRISULA enkel de locatie Geervliet is bekeken.

In 1992 werden in één van de drie beschikbare PHAROS-schematisaties, namelijk die met de kering bij de Hartelbrug, nieuwe kadehoogten ingevoerd. In de 1992-configuratie die zo ontstond zijn met PHAROS vervolgens berekeningen uitgevoerd zowel met als zonder onderlopen.

In de studie van 1994 zijn de PHAROS-variant en de TRISULA-variant verder op elkaar afgestemd: in de TRISULA-variant werden de kadehoogten en het zeegebied aangepast; in de PHAROS-variant werd het zeegebied uitgebreid. Om redenen van tijd en kosten is in de onderhavige 1994-studie bij de TRISULA-variant voortgebouwd op de configuratie van 1991, dus met de Hartelkering bij Geervliet. In lijn daarmee is in de PHAROS-schematisatie van 1992 het deel van het Hartelkanaal tussen Geervliet en de Hartelbrug weer afgesloten.

Met PHAROS zijn in de nieuwe (1994-)variant berekeningen zonder onderlopen uitgevoerd; met TRISULA zijn in haar nieuwe variant berekeningen zonder onderlopen en met onderlopen uitgevoerd.

Oude en nieuwe aanpak

In het hierna volgende zullen we spreken over de 'oude' en 'nieuwe' aanpak in PHAROS en TRISULA. Daarmee bedoelen we:

- Oude aanpak: aanpak toegepast tot aanvang van dit project in 1993;
- Nieuwe aanpak: gewijzigde aanpak op basis van inzichten en resultaten van de studie in 1994.

De veranderingen in de aanpak tussen oud en nieuw betreffen met name:

- verwijdering van enkele fouten in de programmatuur:
 - in PHAROS zat een fout bij de berekening van de bodemwrijving; deze fout heeft geleid tot onderschatting van de demping en daardoor tot significante overschatting van de amplificatie,
 - in TRISULA zat een fout in de berekening van de waterbeweging; deze fout bleek voor de situatie van seiches in het Europoortgebied van weinig belang.
- enkele aanpassingen m.b.t. het zeegebied zowel bij PHAROS als bij TRISULA:
 - vergroting van het zeegebied in de Europoortschematisatie,
 - aanpassing in de modellering van de inkomende golf op de rand van het zeegebied.
- aanpassing van de modellering van energie verlies in PHAROS t.g.v. bodemwrijving en inbouwen van energie verlies in de vorm van intree- en vertragsverliezen.

en met betrekking tot onderlopen:

- aanpassing van de droogvalprocedure in TRISULA,
- PHAROS: aanpassing van de wijze waarop de invoerparameters voor de (gedeeltelijke) terugkaatsing van golven bij onderlopende kaden worden gedefinieerd.

3 Resultaten van het onderzoek

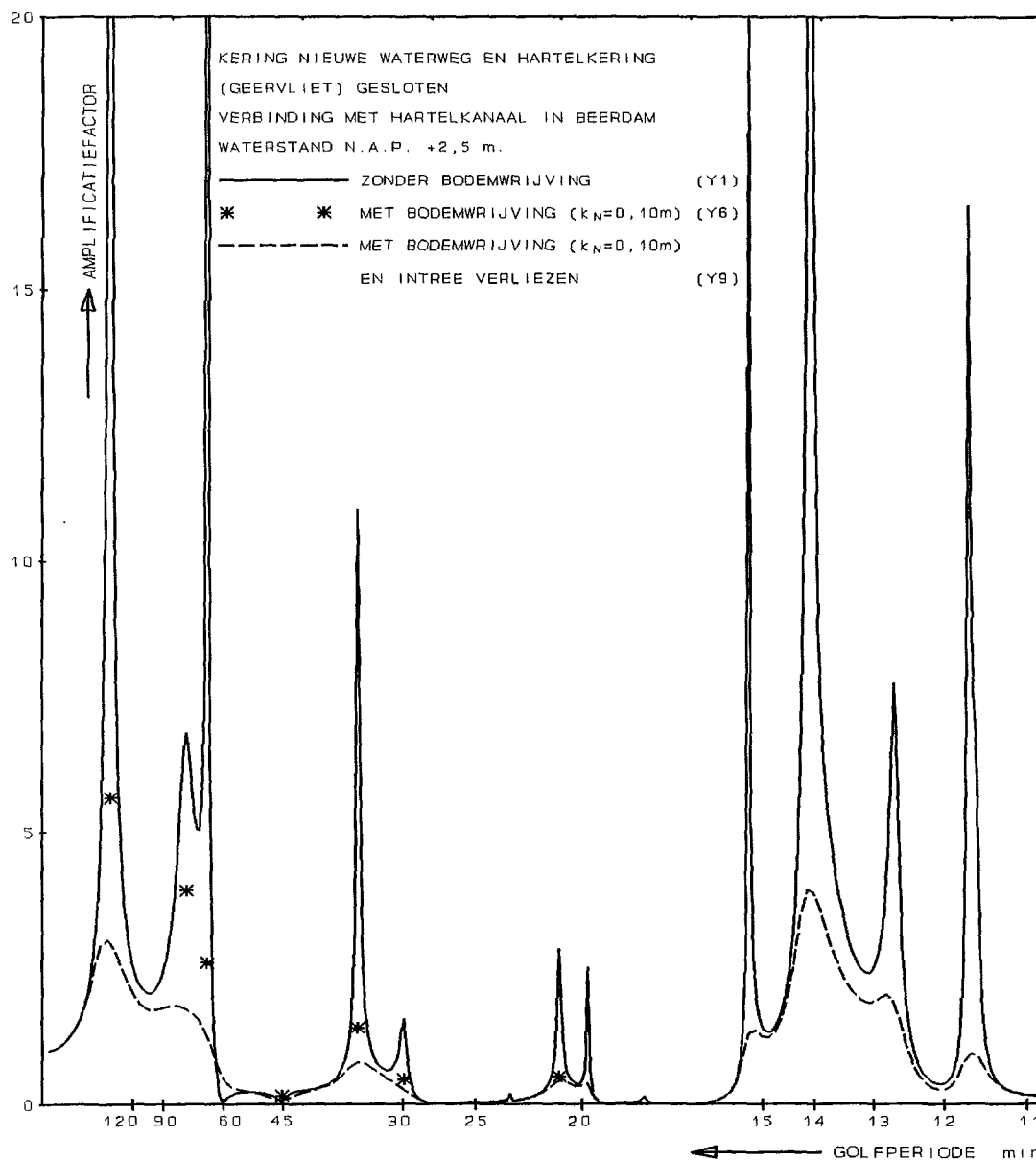
3.1 Vergelijking PHAROS met TRISULA zonder onderlopen

De oorspronkelijk zeer grote verschillen tussen de met PHAROS en TRISULA berekende amplificaties zijn met name voor de resonantie op het Hartelkanaal teruggebracht tot aanvaardbare verschillen. Ter illustratie zijn in onderstaande tabel 3.1 voor twee resonantie periodes (grondtonen/eerste harmonischen van Caland- en Hartelkanaal) de verandering in de berekende amplificaties weergegeven. Door het invoeren van extra intreeverliezen in PHAROS daalt de amplificatie in het Calandkanaal van 9,6 naar 4,2 en in het Hartelkanaal van 5,8 naar 3,0. In het Calandkanaal komt PHAROS daarmee lager uit dan TRISULA (6,5) (wat uitzonderlijk genoemd moet worden). Bij het Hartelkanaal is dit andersom, PHAROS (3,0), TRISULA (2,2).

Tabel 3.1: Amplificaties van PHAROS en TRISULA zonder onderlopen in Europoort.

inkomende golfhoogte $H_i = 0,3 \text{ m}$	Calandkanaal $T = 76 \text{ min}$	Hartelkanaal $T = 159 \text{ min}$	
	Rozenburgsesluis	Dintelhaven	Geervliet
	Amplif (-)	Amplif (-)	Amplif (-)
<i>Oorspronkelijke aanpak</i> (bodempwrijving fout) PHAROS (zonder zee) (Hoekema, 1991)	8,3	9,8	> 10
<i>Nieuwe aanpak</i> zonder intree-verliezen/ bodempwrijving correct PHAROS (Fase 2) (oktober 1994)	9,6	4,1	5,8
met intree-verl./bodempw. correct; PHAROS (november 1994)	4,2	2,1	3,0
<i>Oorspronkelijke aanpak</i> TRISULA (met zee) (Kernkamp, 1991)	5,3	1,3	1,7
<i>Nieuwe aanpak</i> TRISULA (Fase 2) (juli 1994)	6,5	1,5	2,2

In het PHAROS model is uitgebreid gekeken naar de relatieve invloed van de verschillende mechanismen die voor energie verlies zorgen. Het dempend effect van de bodempwrijving, is vooral groot op het ondiepe Hartelkanaal en dan met name bij de hoge en zeer smalle resonantiepieken, zie Figuur 8.



Figuur 8 Amplificatie-functie Hartelkanaal, kering bij Geervliet

Voor bijna alle pieken is het dempend effect van enkel intree- en vertragsingsverliezen groter dan van enkel bodemwrijving. Bij de combinatie van energie verlies door bodemwrijving en intree- en vertragsingsverliezen reduceren, in het PHAROS model, de grootste amplificaties in het Hartelkanaal tot tussen de 2 en 3 (was 10 en meer bij de oude aanpak, zie tabel 3.1), en in het Caland- en Beerkanaal tot tussen de 3 en 5 (was ruim 8 bij de oude aanpak, zie tabel 3.1).

Intermezzo: Mogelijke verklaringen voor de verschillen ten aanzien van Calandkanaal versus Hartelkanaal:

Om de extra intree-verliezen in PHAROS mee te kunnen nemen, moet men verlieslocaties aanwijzen en verliescoëfficiënten kiezen. Het probleem hierbij is dat de geometrie van Europoort in de regel afwijkt van de situaties waarvoor in de literatuur verliescoëfficiënten zijn gegeven (bijvoorbeeld vergelijkbare stationaire stromings-experimenten in buizen etc.). Ook het aantal gekozen verlieslocaties speelt hierbij een rol.

Naast energieverlies treedt ook herverdeling van energie uit de seiche op; vanuit de heersende golfbeweging wordt energie overgegeven aan golven met kleinere perioden. Dit effect werkt óók dempend op de seiches. In TRISULA zit dit effect wezenlijk in het programma vervat; in PHAROS is dit verschijnsel gemodelleerd noch geparameteriseerd.

Bodemwrijving, stroming bij vernauwingen, wervels en dergelijke leiden in principe alle tot energie-overdracht naar hogere harmonischen; het zijn zogenoemde niet-lineaire invloeden. Bij de TRISULA simulaties in Fase 2 hebben we gezien, dat het effect van de bodemwrijvingsterm op die herverdeling soms ongeveer twee maal zo groot is als het effect van de overige niet-lineaire invloeden. Dit betekent dat energie-overdracht naar hogere harmonischen sterker optreedt in het relatief ondiepe Hartelkanaal (10 m) dan in het diepere Calandkanaal (20 m). Wellicht is dit de gezochte verklaring voor het feit dat TRISULA in het Hartelkanaal een lagere waarde berekent dan PHAROS.

Bij de vergelijking van de resonantie op het Hartelkanaal moet verder worden bedacht dat in de TRISULA-schematisatie van het Hartelkanaal een "administratieve knik" is opgenomen. Lengte en geometrie van het geschematiseerde Hartelkanaal wijken hierdoor plaatselijk af van die in het PHAROS model. Ook dit kan een oorzaak van het verschil in resultaat van de modellen.

Samenvattend: Het verschil tussen de resultaten van de berekeningen (zonder onderlopen) met PHAROS respectievelijk met TRISULA, is nu significant kleiner dan het geval was bij de aanvang van de hier gerapporteerde studie. Hiermee is een goede basis gelegd voor een vergelijking met de resultaten van berekeningen met onderlopende kaden.

Vergelijken we de resultaten van de oude en de nieuwe aanpak in Tabel 3.1, dan valt op dat de verandering in de TRISULA resultaten aanzienlijk kleiner is dan die in de PHAROS-resultaten.

In Hoofdstuk 4 worden conclusies getrokken en aanbevelingen gegeven.



Figuur 9 Grondtoon Calandkanaal met onderlopen

3.2 Vergelijking PHAROS met TRISULA met onderlopen

De invloed van de stroming over de kade op de seiche-hoogte hangt in het algemeen af van de volgende verschijnselen:

- de heersende golfbeweging brengt (water-)massa en (water-)energie op de kade en die massa (met z'n energie) stroomt vanaf de kade terug in het kanaal, echter, *óók* volgens golfbewegingen *met andere perioden*.
- de heersende golfbeweging brengt (water-)massa en (water-)energie op de kade en het duurt enige tijd voordat dat water weer terug is in het kanaal: het water dat van de kade komt zit dan in een *andere fase van de golfbeweging* dan het kanaalwater waarin het terecht komt (fase-draaiing).
- *bodemwrijving* op de ondiepe kadeterreinen;

Om deze verschijnselen goed weer te kunnen geven, is het noodzakelijk de golfvoortplanting over een kadeterrein en het op- en afstromen van water vanaf de kade realistisch weer te geven. Omdat TRISULA gemaakt is voor de simulatie van waterbewegingen b.v. in estuaria kan dit programma verschijnselen als onderlopen en droogvallen 'gewoon' berekenen. Figuur 9 geeft hiervan een illustratie. De berekening is afhankelijk van een numerieke procedure die het rekendomein controleert, de droogvalprocedure waaraan in deze studie veel aandacht is besteed.

Het effect van onderlopende kaden op seiches wordt in PHAROS-berekeningen gesimuleerd door middel van de randvoorwaarde voor partiële reflectie. De aanpak is beschreven in Veldman 1993 en in deze studie ook toegepast voor de bepaling van de fasedraaiing van de gereflecteerde golf. In deze aanpak worden een aantal vereenvoudigingen toegepast, die de nauwkeurigheid en de betrouwbaarheid van de berekeningsresultaten kunnen beïnvloeden. Met de verbeterde aanpak zijn vervolgens een tweetal simpele geometrieën met PHAROS doorgerekend: een rechte haven met onderlopende kaden aan de zijkant en een rechte haven met onderlopende kaden aan de achterkant. Voor deze beide situaties komen de resultaten van PHAROS en TRISULA goed overeen; PHAROS geeft een wat grotere amplificatie met een wat langere golfperiode.

De belangrijkste resultaten van de TRISULA-berekeningen in het Europoortgebied met onderlopende kaden zijn in Tabel 3.2 hieronder gegeven.

Tabel 3.2: Amplificaties volgens TRISULA bij onderlopen in het Europoortgebied

periode	station	amplificatie met onderlopen; TRISULA
periode Calandkanaal T = 80 min	Rozenburgsesluis	2,7
periode Hartelkanaal T = 167 min	Hartelkering bij Geervliet	1,4

Met PHAROS zijn in het kader van deze studie voor het Europoortgebied geen nieuwe berekeningen met onderlopen uitgevoerd. Om een vergelijking met de betreffende berekeningen met TRISULA te kunnen maken, werd teruggегреpen op de resultaten van een eerdere studie; berekening J-6 uit Veldman, 1993.

In Tabel 3.3 zijn de resultaten samengevat.

Tabel 3.3: Amplificaties volgens PHAROS 1993 bij onderlopen in het Europoortgebied (oude aanpak).

periode	station	amplificatie met onderlopen; PHAROS
periode Calandkanaal T = 80 min	Rozenburgsesluis	5,2
periode Hartelkanaal T = 167 min	Hartelkering bij Hartelbrug	2,8

Voordat conclusies worden getrokken uit een vergelijking van de resultaten in Tabellen 3.2 en 3.3 moet op het volgende worden gewezen:

er zijn belangrijke verschillen in uitgangspunt tussen de beide tabellen, met name doordat de PHAROS-berekening van 1993 volgens de oude aanpak is uitgevoerd, hetgeen wil zeggen dat:

- PHAROS rekende met het kleine buitengebied (zonder zee),
- de PHAROS-berekening geen bodemwrijving bevatte,
- de PHAROS-berekening geen intree- en vertragsverliezen bevatte, en dat
- het onderlopen in die PHAROS berekening minder demping gaf dan met de nieuwe aanpak het geval zou zijn.

Verder verschilt de positie van de Hartelkering in beide modellen (TRISULA bij Geervliet en PHAROS bij Hartelbrug). *Deze verschillen in aanpak en geometrie maken het moeilijk de verschillen tussen de resultaten nader te kwantificeren.*

Samenvattend: De resultaten van de berekeningen met onderlopen met PHAROS (oude aanpak!) zijn ruwweg een factor 2 groter dan de resultaten verkregen met TRISULA.

Vergelijken we zonder en mét onderlopen als berekend met TRISULA dan ontstaat Tabel 3.4:

Tabel 3.4: Amplificaties volgens TRISULA zonder en met onderlopen in het Europoortgebied

periode	station	amplificatie zonder onderlopen TRISULA	amplificatie met onderlopen TRISULA
periode Calandkanaal T = 80 min	Rozenburgsesluis	6,5	2,7
periode Hartelkanaal T = 167 min	Hartelkanaal Geervliet	2,2	1,4

Het effect van onderlopen is in het Hartelkanaal procentueel geringer dan in het Calandkanaal het geval is (41 % tegen 63 %).

Voor conclusies en aanbevelingen wordt verwezen naar Hoofdstuk 4.

4 Stand van zaken, conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk wordt allereerst een schets gegeven van de stand van zaken, en wel aan de hand van de thema's zoals die zijn genoemd in opdrachtbrief TXV/118924 van 16 augustus 1993: 'Toepasbaarheid en betrouwbaarheid', 'Modelvorming van tijdelijk onderlopende kadeterreinen', 'Uitgangspunten en aannames', 'Verschillen in amplificaties' en 'Globaal inzicht in seiche-compenserende maatregelen'. Daarna worden conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

4.1 Stand van zaken

4.1.1 Toepasbaarheid en betrouwbaarheid

In principe moet alles wat buiten het gebied ligt en dat in het rekenmodel is weergegeven, door de modelontwerper of door de gebruiker worden voorgeschreven. Hierin liggen onzekerheden ook al zijn er eenduidige vuistregels bedacht.

Dit geldt voor het al of niet binnen het rekendomein weergegeven van kadeterreinen die van meer dan één zijde kunnen onderlopen. We denken ook aan de modelaannames voor van de Noordzee inkomende golven of voor de golven die de Nieuwe Waterweg uitstraalt.

De ontwerpers en gebruikers van TRISULA en van PHAROS hebben daar verschillende methoden voor, deels ook ontwikkeld binnen het onderhavige project, met elk hun voor- en nadelen. We hebben die methoden uitvoerig getest en vergeleken aan de hand van bekende oplossingen voor eenvoudige gevallen en resultaten van berekeningen in verschillende eenvoudige geometrieën.

Door de uitvoering van deze opdracht is het kennisniveau en de werkervaring van de betrokken onderzoekers aanmerkelijk vergroot. Zeer belangrijk is ook dat de onderzoekers nu bij uitstek de valkuilen kennen van parameter-instellingen in hun programmatuur en de gevolgen voor de berekende amplificaties.

We zijn in deze studie onder andere zeer diep ingegaan op de problematiek rond de uitstraling aan de zeerand en de insturing van de inkomende golf alsmede op de beschrijving van de verschillende seiche-dempende mechanismen en hun modellering. Mede daarom zijn wij nu in staat, gelet op de verkregen rekenresultaten, een uitspraak te doen over de betrouwbaarheid en de toepasbaarheid van de computerprogramma's voor het schatten van de amplificatie van staande golven in het Europoortgebied. We zijn evenwel niet in staat nu al nauwkeurige marges aan te geven.

De randvoorwaarden van PHAROS bij dié kademuren, die tijdelijk overlopen of tijdelijk afstromen, moeten de respons van de niet in het rekendomein vallende kadeterreinen vertegenwoordigen. Er is nagegaan of met de PHAROS-aanpak resultaten werden verkregen die voldoende overeenstemmen met de uitkomsten van TRISULA (dat het overlopen van kadeterreinen 'gewoon' berekent). Voor de eenvoudige testsituaties was de overeenstemming redelijk. Er heeft geen toepassing op het Europoortgebied plaatsgevonden van de aanpak die voor de testssituaties is gevolgd.

Gezien de vereenvoudigingen die zijn toegepast bij die aanpak is er twijfel ten aanzien van de nauwkeurigheid en de betrouwbaarheid van de berekeningsresultaten in wat ingewikkelder geometrieën.

Dit geldt zeker bij gecompliceerde situaties met onderlopen, waarbij bijvoorbeeld terreinen van verschillende kanten af kunnen volstromen, of waarbij water van het ene kanaal via een kadeterrein naar een ander kanaal kan overlopen.

4.1.2 Modelvorming van tijdelijk onderlopende kadeterreinen

In het geval dat onderlopen of afstromen van kadeterreinen optreedt, bepaalt vooral de correcte weergave van de hoogte en omvang van de terreinen en de precieze positie van de kademuren, de seiche-demping.

Enerzijds kunnen door het verkleinen van de maaswijdte van TRISULA's kromlijnige rekenrooster deze geometrische kenmerken nog nauwkeuriger ingevoerd worden.

Anderzijds zijn de randvoorwaarden in PHAROS voor fasedraaiing en voor onvolledige reflectie van golven tegen de kademuren (die in werkelijkheid overlopen) en de achterliggende kadeterreinen, niet algemeen geldend in te stellen: bij het vaststellen van de randvoorwaarden moet men al een beeld hebben van de grootte van de amplificatie en van de golfperiode waarbij resonantie zal optreden. Rekent PHAROS dan vervolgens andere waarden uit, dan kan men op basis daarvan nieuwe betere randvoorwaarden bepalen; het is een iteratief proces.

De modelvorming van de equivalente demping bij kademuren die onderlopen en leeg stromen in PHAROS is vooral gebaseerd op het schatten van de watermassa die op de kade-terreinen terecht kan komen. De oppervlakte van de kadeterreinen wordt daarbij verminderd met die van gebouwen, opslagtanks en dergelijke. Uit simulaties met TRISULA blijkt, dat die kobergende werking van groot belang is voor de demping. In die zin ondersteunt TRISULA dus de rekenregels die in PHAROS worden gebruikt voor berekening van de demping.

TRISULA is bij uitstek ontworpen voor het berekenen van stroming door lange golven, zoals getijden en de onderhavige trage seiches. TRISULA is ook toepasbaar in gebieden met geulen en tijdelijk droogvallende platen. Daarom kan TRISULA, geholpen met additionele voorschriften, de stroming op onderlopende of afstromende kadeterreinen berekenen.

Veelal geeft het tijdelijk onderlopen of juist droogvallen van kadeterreinen die aan havens of kanalen grenzen, een aanmerkelijke seiche-dempende werking.

In werkelijkheid treden tijdens het onderlopen of het droogvallen kleinschalige stromingsverschijnselen op bij voorbeeld een watersprong of het omstromen van gebouwen, opslagtanks en dergelijke. De bij die kleinschalige processen behorende energieverliezen kunnen in TRISULA alleen indirect, door het goed kiezen van parameters, worden weergegeven terwijl de beschikbare experimentele informatie schaars is of zelfs niet goed toepasbaar. Een gelukkige uitkomst is dat de met TRISULA berekende seiche-demping als gevolg van het onderlopen of afstromen van kadeterreinen, nauwelijks wordt beïnvloed door een redelijke variatie van parameters in die additionele modelvorming.

4.1.3 Uitgangspunten en aannamen

We vermoeden dat de seiche-opwekkende golfbeweging voortvloeit uit een voortreizende atmosferische drukgolf (zogenaamde buistoot of bui-oscillaties) ten gevolge van een enkele tientallen kilometers grote bui. Golven met uiteenlopende voortplantingsrichtingen, waaronder loodrecht op de kust, kunnen hieruit voortkomen.

Het is een vermoeden met veel onzekerheden omtrent de kans en vorm van die golfbeweging. Dit gegeven leidt ertoe dat er ondanks de tot nu toe verrichte studies, onzekerheden zijn blijven bestaan.

De volgende kanttekeningen en indicaties zijn uitsluitend bedoeld de lezer een indruk te geven van de resterende onzekerheden, te wijzen op mogelijke systematische afwijkingen en om de betrekkelijkheid van ons onderzoek te erkennen. Overigens mogen we de volgende uitspraak in gedachten houden: *afwezigheid van bewijs is géén bewijs van afwezigheid*.

Uitgaande van golven door een buistoot, onderscheiden we op deze plaats de volgende aspecten voor de golven die naar de Nieuwe Waterweg gaan (waarbij we de kansrekening van hun optreden nu volledig buiten beschouwing laten):

- 1 de hoogte van de inkomende golf,
- 2 het aantal oscillaties in een groep inkomende golven,
- 3 de kromming van de golfkam (lijn langs top van dezelfde golf op verschillende plaatsen),
- 4 de richting waarin de golven de Eurogeul bereiken, en
- 5 de stroming onder invloed van getij en wind.

Elk van deze aspecten vormt een mogelijke aanleiding voor onzekerheden en systematische afwijkingen.

- Ad 1 Tot nu toe werd aangenomen dat voor de maatgevende hoogte (top-dal) van de seiches opwekkende golf op zee 30 cm. moest worden gekozen. Nu de berekende amplificatie kleiner blijkt te zijn dan eerder aangenomen, moet voor die maatgevende hoogte van de inkomende golf een grotere waarde (met dus een kleinere kans van voorkomen) worden gekozen om toch te blijven aansluiten bij de meetresultaten. Stel nu dat de berekende amplificatie een factor drie kleiner is dan eerder gedacht. Men zou dan kunnen denken, dat voor de maatgevende hoogte van de inkomende golf eenvoudig driemaal 30 = 90 cm zou moeten worden genomen. In feite echter zal de maatgevende hoogte hoger dan die 90 cm kunnen zijn; bij een hogere inkomende golf zal immers sneller energie worden overgedragen van de 'meest gevaarlijke' periode (grondtoon) naar andere perioden. Dit leidt tot een verhoudingsgewijs kleinere amplificatie. Echter de mate waarin dit verschijnsel zich voor doet is vooralsnog onduidelijk; we hebben slechts in beperkte mate de amplificatie-beperkende invloed van een vergrote hoogte van de inkomende golf onderzocht.
- Ad 2 Hoe meer oscillaties er in één golfgroep zitten, des te beter krijgt de staande golf de gelegenheid zijn maximale eindwaarde te bereiken; wij rapporteren in de onderhavige studie over dergelijke eindwaarden. In een summier onderzoek (de buistootberekening in Fase 2) hebben we gevonden dat één enkele oscillatie een minder hoge golf geeft dan oscillaties die over vier perioden groeien en weer verdwijnen. De vooronderstelling dat de inkomende golf stationair is (dus een constante amplitude en golfperiode heeft) leidt dus naar alle waarschijnlijkheid tot hogere amplificaties dan in (de niet-stationaire) werkelijkheid zullen voorkomen.
- Ad 3 Van de kromming van golfkammen verwachten we weinig invloed in vergelijking tot onze resultaten verkregen met golven met rechte kammen. We baseren dit vermoeden op de verhouding tussen de breedte van de Nieuwe Waterweg en de kromtestraal van de golfkam met afmetingen van de buistoot.

- Ad 4 De richting waarin de inkomende golven de Eurogeul bereiken is door ons in het geheel niet gevarieerd: wij hebben de inkomende golven uitsluitend in de richting loodrecht op de kust laten lopen. De invloed van de golfrichting lijkt zowel positief als negatief te kunnen zijn.
- Ad 5 De relevante lange en trage golven kunnen significant worden beïnvloed door de stroming die plaats- en tijdsafhankelijk zal zijn vanwege wind en getij. De invloed hiervan dient nader te worden onderzocht.

Bovenstaande vijf aspecten vielen buiten ons onderzoek; ze kunnen tot systematische over- of onderschattingen van de hoogte van seiches leiden. Voor vergelijkende studies is dat wellicht niet zo erg. Echter, dat is dan slechts het geval zolang er geen onderlopen optreedt; bij onderlopen is een vergelijking tussen alternatieven pas zinvol mogelijk, als ook de (absolute) waterstand zelf voldoende nauwkeurig bekend is. Die waterstand, in relatie tot de kadehoogte, bepaalt immers volledig de 'mate' van onderlopen, de duur van de toestand waarbij de waterstand boven de kade uit komt.

4.1.4 Verschillen in amplificaties

De algemene trend in dit onderzoek is er één van convergentie van de amplificaties van PHAROS (hoog) en van TRISULA (laag). Aanvankelijk vertoonden die aanmerkelijk verschillen, hetgeen de aanleiding tot het voorliggende onderzoek vormde.

De maximale onderlinge afwijking in amplificatie is 50% en een groter verschil kunnen we nu verklaren, zie Tabellen 3.1, 3.2 en 3.3.

Waar mogelijk hebben ter onderbouwing van deze uitkomst analytische oplossingen of laboratoriumproeven als scheidsrechter tussen de computerprogramma's gefungeerd.

Voor het overige hebben we de gevoeligheid van de berekende amplificatie voor talloze numerieke instelparameters onderzocht, geanalyseerd en veelal goed begrepen. Hieruit volgden verbeteringen en recepten die we uitvoerig hebben gedocumenteerd en gerapporteerd in de fase-rapporten.

In verband met verschillen in amplificaties hebben we de volgende ervaringen opgedaan:

- Op één uitzondering na, en zonder verder onderling afstemmen in het geval van onderlopen, geeft PHAROS altijd een wat grotere amplificatie dan TRISULA voor de langzame, staande golven in het Europoortgebied.
- De amplificaties, berekend met PHAROS, zouden alleen nog met meer dempingsparameters verlaagd kunnen worden (b.v. om de overdracht van golfenergie naar golven met kleinere periodes in rekening te brengen).
- Omgekeerd lukt het ons niet om verantwoord de dempende invloeden in TRISULA verder dan de huidige te verminderen om aldus tot grotere amplificaties te komen.

Derhalve menen we dat de regel – over de waarheid die ergens in het midden ligt – in dit project geen slechte samenvatting is. We vermelden uitdrukkelijk dat deze uitspraak het karakter heeft van een 'best engineering guess' gelet op de eerder reeds genoemde aannamen ten aanzien van het tijdelijk onderlopen (PHAROS slechts bruikbaar in eenvoudige situaties) en op de mogelijke systematische afwijkingen.

Het is anderzijds evident dat de kleine resterende marge tussen de resultaten van beide programma's veel vertrouwen geeft in de toepasbaarheid en betrouwbaarheid van PHAROS en TRISULA inzake seiches-berekeningen in het Europoortgebied.

4.1.5 Globaal inzicht in seiche-compenserende maatregelen

Inmiddels is terloops in ons onderzoek inzicht ontstaan waar welke seiche-compenserende maatregelen effectief zullen zijn en waarom. In gebieden waar we hoge stroomsnelheden door een seiche verwachten, kunnen kribben of plotselinge vernauwingen van haveningangen effectief dempend werken. Naarmate er meer wervels worden opgewekt, wordt er ook meer energie uit de seiche onttrokken.

Wij zijn ons bewust van de hinder die scheepvaart kan ondervinden bij vergrote wervelvorming en de mogelijke veranderingen in ontgronding en aanslibbing.

Al naar gelang de vormgeving van de Maasvlakte nabij de monding van de Nieuwe Waterweg kan er demping maar ook versterking van golven uit de Noordzee optreden. Voor sommige invalrichtingen moeten de inkomende golven sterk uitwaaiëren alvorens ze de NWW ingaan (demping) voor andere richtingen kunnen de inkomende golven juist ingevangen worden (versterking).

Omdat de demping door het tijdelijk onderlopen en het tijdelijk afstromen zo groot is, kan het volgende als alternatief worden overwogen. Sommige kadeterreinen kunnen als buffer dienen door ze tijdelijk te laten onderlopen terwijl deze terreinen tot een veilige hoogte zijn gescheiden van de overige terreinen met meer kwetsbare bedrijven of opslag. Naar de effectiviteit van een dergelijke maatregel is nadere studie nodig; met name de hoogte van de overstromende kade en de grootte van het achterliggende terrein is daarbij van belang.

De onderhavige studie is niet gericht geweest op het identificeren van concrete seiche-compenserende maatregelen. Een dergelijke advies zal vooral gebaseerd moeten zijn op het 'doorrekenen' van kansrijk geachte alternatieven.

4.2 Conclusies

Met de studie van 1994 is een belangrijke stap vooruit gezet. De studie heeft het inzicht sterk verdiept en tevens geleid tot een belangrijke verbetering van het instrumentarium voor het berekenen van seiches in het Europoortgebied. Daarmee is een belangrijke schakel versterkt in de keten van advisering, die begint met de vaststelling van de maatgevende situatie ten aanzien van de seiche genererende mechanismen op zee en die (via berekening van seiches en de invloed van compenserende maatregelen daarop) eindigt bij voorbeeld met voorstellen voor mogelijke compenserende maatregelen tegen het onderlopen van kaden.

De nieuwe berekeningen voor het Europoortgebied laten zien dat de oorspronkelijk zeer grote verschillen tussen PHAROS en TRISULA zijn terug gebracht tot verschillen van 50% of minder. Bovendien zijn er oorzaken aangegeven die de resterende verschillen voor een belangrijk deel kunnen verklaren.

In het achterhoofd houdend wat hiervoor is gezegd kan worden vastgesteld dat er voor seiches berekeningen *zonder onderlopen en afstromen* geen duidelijke voorkeur voor PHAROS dan wel TRISULA lijkt te bestaan; beide programma's kunnen betrouwbaar en autonoom tot een schatting van de amplificatie komen. Het ligt voor de hand zeker in het begin beide programma's nog simultaan (als elkaars beoordelaar) in te zetten: een advies wint daardoor aan 'stevigheid'.

Vergelijken we de resultaten van de oude en de nieuwe aanpak, zie Tabel 3.1, dan is duidelijk dat de verandering in de TRISULA-resultaten aanzienlijk kleiner is dan die in de PHAROS-resultaten. Indien men hieraan enig gewicht zou willen toekennen bij het kiezen van de uiteindelijk toe te passen amplificatie-factor, dan zou voor die amplificatie-factor een waarde kunnen worden gekozen die wat dichterbij het TRISULA resultaat ligt dan bij het PHAROS resultaat.

In het achterhoofd houdend wat hiervoor is gezegd, kan tevens worden vastgesteld dat voor seiches-berekeningen *met onderlopen en afstromen* TRISULA de voorkeur verdient. Voor eenvoudige situaties met onderlopen zal PHAROS goede resultaten kunnen geven. Bij gecompliceerde situaties en zeker die, waarbij bijvoorbeeld terreinen van verschillende kanten af kunnen volstromen of waarbij water van het ene kanaal via een kadeterrein naar een ander kanaal kan overlopen, moet het onderlopen zelf worden berekend, in de echte (kade-)geometrie, en komt eigenlijk alleen TRISULA in aanmerking.

Ten aanzien van de juistheid van eerdere adviezen e.d. die (mede) zijn gebaseerd op de oude berekeningsresultaten kan het volgende worden gezegd:

- De verschillen in berekende amplificaties tussen de oude aanpak en de nieuwe aanpak werken uiteraard door in de te gebruiken ontwerp-waarden. De werkwijze die daarbij wordt gevolgd (en die kan worden samengevat in: 'eerst vanaf de locatie Rozenburgsesluis terug-rekenen naar het zeegebied en vervolgens van daar af toe-rekenen naar de diverse lokaties in het binnengebied'), leidt in feite tot het op elkaar delen van twee correctie-factoren. Daardoor is het netto effect voor het Calandkanaal in ieder geval klein. Voor de andere relevante posities in het Europoortgebied is een nadere analyse nodig.
- Verder is in het verleden (vaak impliciet) als uitgangspunt gekozen, dat de amplificatie lineair afhankelijk is van de hoogte van de inkomende golf. Bij dat uitgangspunt is de exacte waarde van die hoogte niet echt van belang als het erom gaat de resultaten onderling te vergelijken. We weten nu dat niet-lineaire effecten wel degelijk van belang zijn; 'zo maar' opschalen mag dus niet. En dan praten we nog niet over onderlopen waarbij het 'aan-uit' gedrag van onderlopen en leegstromen van groot belang is.

4.3 Aanbevelingen

De gehele studie van 1994 overziend komen we tot de volgende aanbevelingen die we hebben gerangschikt in volgorde van belangrijkheid.

1. Er moeten nieuwe berekeningen worden gedaan die als referentie kunnen dienen bij de toekomstige advisering. Daarbij moet van de juiste (een grotere) hoogte van de inkomende golf worden uitgegaan.
2. Alvorens die referentie berekeningen uit te voeren moet een aantal aanpassingen in de door PHAROS en TRISULA gebruikte Europoort-schematisaties worden aangebracht:
 - Hartelkering bij de Hartelbrug in plaats van bij Geervliet (TRISULA; met PHAROS is al in de studies van 1991 en 1992 met die locatie gewerkt);

- aanpassen van de definitie van de diepte ter plaatse van de kaden in het TRISULA Europoort-model (zie ook rapport Fase 2) en eventueel verwijderen van de "administratieve knik" in het Hartelkanaal.

Verder kan worden overwogen de berekening (eventueel op adaptieve wijze) van de reflectie-coëfficiënten bij de kaden in het PHAROS-programma op te nemen.

3. De mogelijkheid die TRISULA biedt om de seiches berekening te combineren met de getijberekening moet worden benut. Niet-lineaire effecten kunnen dan leiden tot afwijkende veelal nog weer kleinere berekende amplificaties.
4. Wij bevelen aan een goed doordacht gevoeligheidsonderzoek te doen naar de relatieve effecten van de belangrijkste grootheden. Dit is met name van belang voor de situatie met onderlopen waarvoor TRISULA in feite onze enige gids is.
5. Verder moet blijvend veel aandacht worden besteed aan de vaststelling van de werkelijke hoogten en perioden van de seiches opwekkende inkomende golven. Met de nieuwe status van het numerieke instrumentarium is het waarschijnlijk zo dat de kennis van de inkomende golven de zwakste schakel wordt. Dit geldt zeker voor de situatie met onderlopen; daarvoor is immers de juiste bepaling van de omstandigheden waarbij de kade nèt gaat onderstromen, van cruciaal belang.
6. Wij bevelen aan met behulp van bekende technieken uit de signaal-theorie, meer inzicht te verwerven in de betrouwbaarheid van de berekeningen en de mate waarin eenvoudig lineair opgeschaald kan worden met de hoogte van de inkomende golf. Met die technieken wordt inzicht verkregen in de mate waarin de gebruikte modellering zelf reageert op kleine variaties in de gebruikte parameters.
7. Het verdient aanbeveling te onderzoeken, in hoeverre het nu beschikbare gekomen instrumentarium kan worden ingezet bij:
 - de simulatie van het sluitingsgedrag van de stormvloedkering
 - de voorspelling van de optredende (kritieke) waterstanden in de Nieuwe Waterweg.
8. Ten aanzien van het operationele gebruik geldt het volgende:
 - De standaard PHAROS-omgeving kan worden gebruikt voor seiches-berekeningen in het Europoortgebied. De PHAROS-programmatuur is operationeel inzetbaar inclusief de in deze studie ingebouwde aanpassingen. (Deze aanpassingen zijn overigens nog niet gedocumenteerd.)
 - De TRISULA-omgeving die wordt gebruikt voor de seiches-berekeningen is niet gebaseerd op de standaard TRISULA-versie. Er wordt een speciale seiches-versie gebruikt met onder andere de volgende speciale kenmerken: snelle rekentechniek, speciale onderloop-procedure, speciale zijranden van het zeegebied (via aparte rekendomeinen in de vorm van 'kanalen' .) In het verleden werd dit punt wel gesignaleerd maar werd het 'op de koop toe genomen', immers: er konden (en kunnen!) met het huidige instrumentarium wel degelijk berekeningen worden gemaakt en adviezen gegeven. Echter, in het geval dat TRISULA-seiches omgeving in de toekomst 'gegarandeerd' operationeel inzetbaar moet zijn en vooral blijven, is onderhoudbaarheid een dwingende eis. Er zal dan ook aandacht moeten zijn voor de documentatie.

Wij bevelen aan om, indien dat t.z.t. relevant wordt, de huidige adhoc TRISULA-seiches-omgeving over te zetten naar een omgeving die beheerd en onderhouden wordt.

9. Daarnaast verdient het aanbeveling de technisch-wetenschappelijke grondslag van de seiches berekeningen in het Europoort gebied verder te verstevigen. Daarbij kan gedacht worden aan:
 - het verder gebruiken van de energiebalans als analyse-instrument (TRISULA);
 - het valideren van het nieuwe instrumentarium aan metingen in een ander havenbekken;
 - het uitvoeren van eenvoudige laboratoriumproeven om het proces van voortplanting van een golf over een droge kade te kunnen bemeten.
 - het nog beter modelleren van de uitstralingsvoorwaarde in TRISULA; voor de concrete aanbevelingen zij hier verwezen naar de rapporten van Fasen 2 en 3.

Referenties en overzicht van eerdere rapportages

Rapporten van de Fasen 1, 2 en 3

- KERNKAMP, H.W.J., A. OTTA, R.E. UITTENBOGAARD, J.J. VELDMAN 1994a Seiches Europoort. Analyse en betrouwbaarheid van Seiches-berekeningen met PHAROS en TRISULA. Fase 2, Zonder onderlopen, Z568-20&H1866-20, juli 1994; 2 delen.
- KERNKAMP, H.W.J., A. OTTA, R.E. UITTENBOGAARD, J.J. VELDMAN 1994b Seiches Europoort. Analyse en betrouwbaarheid van Seiches-berekeningen met PHAROS en TRISULA. Fase 3, Met onderlopen, Z568-30&H1866-30, december 1994; 2 delen.
- VALK, C.F. de 1994 Seiches Europoort. Analyse en betrouwbaarheid van Seiches-berekeningen met PHAROS en TRISULA. Fase 1, Samenvatting statistiek, H1866-10.

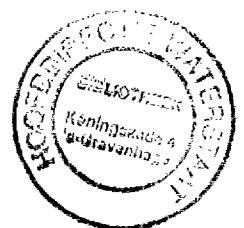
Overige referenties

- DOEKES, J., D. DILLINGH 1987, Onderzoek seiches Calandkanaal aan de hand van metingen bij Rozenburgsesluis en Hoek van Holland, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, notitie GWIO-87.210, Den Haag.
- LOOFF, HARRY DE, JOHANNES J. VELDMAN, 1994, Seiches in the port of Rotterdam during storm surges. Proceedings of the international symposium on Waves; Physical and numerical modelling. August 21-24, 1994; Vancouver, British Columbia, Canada. (Is werkdocument RIKZ/AB-94.133x, april 1994)

Overzicht studies Seiches Europoort

- 1992 Tracé-nota Europoortkering met open Beerdam. Document BBKKG-N-92.116, Projectburo Europoort met open Beerdam, 26 mei.
 - 1992 Rapportage WAQUA - berekeningen t.b.v. Seiche belastingen SVKW. Notitie SVKW-TOC-92.015, GWAO-92.150X, DGW.
- HOEKEMA, J. en P. DE LANGE 1991 PHAROS - berekeningen t.b.v. seiches onderzoek Europoort Notitie GWAO 91.10084.
- KERNKAMP, H.W.J. 1989 Opzet en afregeling WAQUA-model seiches Europoort. Waterloopkundig Laboratorium, Rapport Z279.
- KERNKAMP, H.W.J. 1991 TRISULA-berekeningen seiches Europoort, Seiches berekeningen in het kader van de tracé-nota Europoortkering. Waterloopkundig Laboratorium, rapport Z434, deel I en II, juli.
- LOOFF, A.P. de, 1994, Seiche berekeningen in het Europoortgebied. Rapport RIKZ-94.004, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Den Haag.
- RONDE, J.G. de, 1991, Het effect van een open Beerdam en open Rozenburgsesluis op de seiches in het Europoortgebied, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, notitie GWAO-91.10053, Den Haag.
- ROSKAM, A.P. 1988 Gegevensverwerking m.b.t seiches-onderzoek. Notitie GWAO-888.411, DGW, 1988.

- VELDMAN, J.J. 1988 Stormvloedkering Nieuwe Waterweg, Seiches berekeningen, eerste fase: het effect van een kering op lange golven in het Europoortgebied en op de Nieuwe Waterweg. Waterloopkundig Laboratorium, rapport H688 deel I, augustus 1988.
- VELDMAN, J.J. 1991 Stormvloedkering Nieuwe Waterweg, Seiches berekeningen, tweede fase: maatregelen ter reductie van seiches in het Europoortgebied en de Nieuwe Waterweg. Waterloopkundig Laboratorium, rapport H688 deel II, maart 1991.
- VELDMAN, J.J. 1991 Europoortkering - Seiches berekeningen in het kader van de tracénota Europoortkering. Waterloopkundig Laboratorium, rapport H1409, deel I en II.
- VELDMAN, J.J. 1993 Europoortkering - Seiches berekeningen in het kader van het project: Europoortkering met open Beerdam. Waterloopkundig Laboratorium, rapport H1409-10, deel I en II.





waterloopakundig laboratorium | wv

hoofdkantoor
Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon (015) 56 93 53
telefax (015) 61 96 74
telex 38176 hydel-nl

locatie 'De Voorst'
Voorsterweg 28, Marknesse
postbus 152
8300 AD Emmeloord
telefoon (05274) 29 22
telefax (05274) 35 73
telex 42290 hylvo-nl

