

opdrachtgever:

Rijkswaterstaat
Dienst Getijdewateren



Europoortkering

AFGEHANDELD

Seiches-berekeningen in het kader van de
tracé-nota Europoortkering

verslag onderzoek, band I: tekst en tabellen

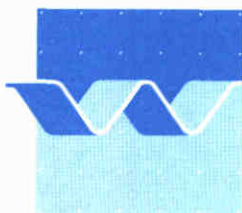
januari 1992

	bibliotheek postbus 177 - 2600 MH Delft waterloopkundig laboratorium/WL
BB	6016/5408
WL	H1409
EXPL	 R0000148

Europoortkering

Seiches-berekeningen in het kader van de
tracé-nota Europoortkering

J.J. Veldman



INHOUD

BAND I

LIJST VAN TABELLEN

LIJST VAN FIGUREN

	blz.
1. <u>Inleiding</u>	1
1.1 Opdracht	1
1.2 Doel	1
1.3 Aanpak	1
2. <u>Samenvatting</u>	3
3. <u>Schematisatie</u>	5
3.1 Situaties en rekengebieden	5
3.2 Rekengebieden, bodemligging en bodemruwheid	5
3.3 Waterstanden en kadehoogten	5
4. <u>Partiële reflectie en/of transmissie van lange golven</u>	7
4.1 Inleiding partiële reflectie	7
4.2 Splitsingsdam	8
4.3 Kering Nieuwe Waterweg	8
4.4 Hartelkering	9
4.5 Overstroomde oevers	9
4.6 Samenvatting partiële reflectie/transmissie van lange golven . .	11
5. <u>Resultaten van de berekeningen</u>	13
5.1 Algemeen	13
5.2 Oscillatievormen	14
5.3 Golfhoogte-amplificaties in de bestaande situatie	15
5.3.1 Bestaande situatie zonder kering (-DD- = Grid A - Run 1)	15
5.3.2 Bestaande situatie met gesloten kering in Nieuwe Waterweg (DDD- = Grid A - Run 2)	15
5.4 Golfhoogte-amplificaties met Hartelkering bij Harmsenbrug . . .	15
5.4.1 Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam (DODD-Harmsenbrug = Grid D - Run 1)	15
5.5 Golfhoogte-amplificaties met Hartelkering bij Geervliet	16
5.5.1 Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam (DODD-Geervliet = Grid B - Run 1)	16

INHOUD (vervolg)

blz.

5.5.2	Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam en Rozenburgsesluis (DOOD-Geervliet = Grid C - Run 1)	16
5.5.3	Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam, waterstand = NAP +4,5 m (DODD-Geervliet = Grid E - Run 1)	16
5.5.4	Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam, aangepaste kadehoogten rond Hartelkanaal (DODD-Geervliet = Grid E - Run 2)	17
5.5.5	Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam, waterstand = NAP +4,5 m aangepaste kadehoogten bij Mississippihaven (DODD = Grid - Run 3)	17
5.6	Golfhoogte-amplificaties met Hartelkering bij Hartelbrug	17
5.6.1	Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam (DODD-Hartelbrug = Grid F - Run 1)	18
5.6.2	Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam en Rozenburgsesluis (DOOD-Hartelbrug = Grid G - Run 1)	18
5.6.3	Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam, waterstand = NAP +2,5 m (DODD-Hartelbrug = Grid F - Run 2)	18
5.6.4	Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam en Rozenburgsesluis, waterstand = NAP +2,5 m (DOOD-Hartelbrug = Grid G - Run 2)	18
5.7	Golfhoogte-amplificaties en snelheden bij open keringen	19
5.7.1	Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam, waterstand = NAP +2,5 m (DODD-Hartelbrug = Grid F - Run 3)	19
5.7.2	Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam en Rozenburgsesluis, waterstand = NAP +2,5 m (DOOD-Hartelbrug = Grid G - Run 3)	19

REFERENTIES

TABELLEN

APPENDIX A: Reflectie en transmissie van lange golven

BAND II

LIJST VAN FIGUREN

FIGUREN

LIJST VAN TABELLEN

- 4.1a Reflectie/Transmissie Splitsingsdam, wst 1,5 m boven kruin
- 4.1b Reflectie/Transmissie Splitsingdam, wst 1,0 m boven kruin
- 4.2a Reflectie Kering Nieuwe Waterweg bij wst = NAP +5,00 m
- 4.2b Reflectie Kering Nieuwe Waterweg bij wst = NAP +4,50 m
- 4.2c Reflectie Kering Nieuwe Waterweg bij wst = NAP +2,5 m
- 4.3a Reflectie Hartelkering bij Harmsenbrug, wst 0,0 m boven bovenkant kering
- 4.3b Reflectie Hartelkering bij Geervliet, wst 2,75 m boven bovenkant kering
- 4.3c Reflectie Hartelkering bij Geervliet, wst 2,10 m boven bovenkant kering
- 4.3d Reflectie Hartelkering bij Hartelbrug, wst 2,50 m boven bovenkant kering
- 4.4 Reflectie Maasvlakte
- 4.5 Reflectie Beneluxhaven
- 4.6a Reflectie 7° Petroleumhaven
- 4.6b Reflectie 7° Petroleumhaven bij wst = NAP +4,50 m
- 4.7a Reflectie Brittaniëhaven noordoever
- 4.7b Reflectie Brittaniëhaven noordoever, bij wst = NAP +4,5 m
- 4.8a Reflectie Brittaniëhaven zuidoever
- 4.8b Reflectie Brittanniëhaven zuidoever, bij wst = NAP 4,5 m
- 4.9 Reflectie Hartelhaven/Dintelhaven/Hartelkanaal
- 4.10 Reflectie bij Kuwaitsteiger
- 4.11 Reflectie Seinehaven noordoever
- 4.12 Reflectie Seinehaven zuidoever
- 4.13 Reflectie Mississippihaven, verlaagde zuidoever

- 5.1 Gewogen amplificatie-factor ($T > 10$ min)
- 5.2 Gewogen amplificatie-factor ($T > 40$ min)

LIJST VAN FIGUREN

- | | | |
|-----|---|--------------------------------------|
| 3.1 | Seiches Europoortgebied - Bodemschematisatie
Kering in Nieuwe Waterweg
Geen verbinding met Hartelkanaal | (Grid A) |
| 3.2 | Seiches Europoortgebied - Bodemschematisatie
Kering in Nieuwe Waterweg en Hartelkering bij Geervliet
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam | (Grid B/E) |
| 3.3 | Seiches Europoortgebied - Bodemschematisatie
Kering in Nieuwe Waterweg en Hartelkering bij Geervliet
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam en Rozenburgsesluis | (Grid C) |
| 3.4 | Seiches Europoortgebied - Bodemschematisatie
Kering in Nieuwe Waterweg en Hartelkering bij Harmsenbrug
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam | (Grid D) |
| 3.5 | Seiches Europoortgebied - Bodemschematisatie
Kering in Nieuwe Waterweg en Hartelkering bij Hartelbrug
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam | (Grid F) |
| 3.6 | Seiches Europoortgebied - Bodemschematisatie
Kering in Nieuwe Waterweg en Hartelkering bij Hartelbrug
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam en Rozenburgsesluis | (Grid G) |
| 3.7 | Seiches Europoortgebied - Kadehoogten
Bestaande hoogte van haventerreinen en kaden
Zonder en met correctie voor windopzet | (Grid A t/m D)
(Grid F en G) |
| 3.8 | Seiches Europoortgebied - Kadehoogten
Aangepaste hoogte van haventerreinen en kaden
Verhoogde kaden langs Hartelkanaal | (Grid E - run 1)
(Grid E - run 2) |
| 3.9 | Seiches Europoortgebied - Kadehoogten
Aangepaste hoogte van haventerreinen en kaden
Verlaagde zuidkade Mississippihaven | (Grid E - run 3) |
| 4.1 | Seiches Europoortgebied - Partiële reflectie
Bestaande situatie (zonder keringen)
Geen verbinding met Hartelkanaal | (Grid A - run 1) |
| 4.2 | Seiches Europoortgebied - Partiële reflectie
Kering Nieuwe Waterweg gesloten
Geen verbinding met Hartelkanaal | (Grid A - run 2) |
| 4.3 | Seiches Europoortgebied - Partiële reflectie
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Geervliet) gesloten | (Grid B - run 1) |

LIJST VAN FIGUREN (vervolg)

- 4.4 Seiches Europoortgebied - Partiële reflectie (Grid C - run 1)
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Geervliet) gesloten
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam en Rozenburgsesluis
- 4.5 Seiches Europoortgebied - Partiële reflectie (Grid D - run 1)
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Harmsenbrug) gesloten
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam
- 4.6 Seiches Europoortgebied - Partiële reflectie (Grid E - run 1)
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Geervliet) gesloten
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam
- 4.7 Seiches Europoortgebied - Partiële reflectie (Grid E - run 2)
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Geervliet) gesloten
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam
- 4.8 Seiches Europoortgebied - Partiële reflectie (Grid E - run 3)
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Geervliet) gesloten
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam
- 4.9 Seiches Europoortgebied - Partiële reflectie (Grid F - run 1)
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Hartelbrug) gesloten
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam
- 4.10 Seiches Europoortgebied - Partiële reflectie (Grid F - run 2)
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Hartelbrug) gesloten
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam
- 4.11 Seiches Europoortgebied - Partiële reflectie (Grid G - run 1)
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Hartelbrug) gesloten
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam en Rozenburgsesluis
- 4.12 Seiches Europoortgebied - Partiële reflectie (Grid G - run 2)
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Hartelbrug) gesloten
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam en Rozenburgsesluis
- 4.13 Seiches Europoortgebied - Partiële reflectie (Grid F - run 3)
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Hartelbrug) open
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam
- 4.14 Seiches Europoortgebied - Partiële reflectie (Grid G - run 3)
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Hartelbrug) open
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam en Rozenburgsesluis

LIJST VAN FIGUREN (vervolg)

- 5.0 Seiches Europoortgebied - Uitvoerposities
- 5.1a Seiches Europoortgebied - Oscillatievorm (f = 0,00012 Hz)
(Grid E - run 1)
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Geervliet) gesloten
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam
- 5.1b Seiches Europoortgebied - Oscillatievorm (f = 0,00015 Hz)
(Grid D - run 1)
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Harmsenbrug) gesloten
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam
- 5.1c Seiches Europoortgebied - Oscillatievorm (f = 0,00018 Hz)
(Grid C - run 1)
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Geervliet) gesloten
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam en Rozenburgsesluis
- 5.1d Seiches Europoortgebied - Oscillatievorm (f = 0,00021 Hz)
(Grid F - run 1)
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Hartelbrug) gesloten
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam
- 5.1e Seiches Europoortgebied - Oscillatievorm (f = 0,00022 Hz)
(Grid F - run 2)
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Hartelbrug) gesloten
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam
- 5.1f Seiches Europoortgebied - Oscillatievorm (f = 0,00024 Hz)
(Grid B - run 1)
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Geervliet) gesloten
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam
- 5.1g Seiches Europoortgebied - Oscillatievorm (f = 0,00024 Hz)
(Grid G - run 1)
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Hartelbrug) gesloten
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam en Rozenburgsesluis
- 5.1h Seiches Europoortgebied - Oscillatievorm (f = 0,00039 Hz)
(Grid E - run 1)
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Geervliet) gesloten
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam
- 5.1i Seiches Europoortgebied - Oscillatievorm (f = 0,00040 Hz)
(Grid G - run 2)
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Hartelbrug) gesloten
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam en Rozenburgsesluis

LIJST VAN FIGUREN (vervolg)

- 5.1j Seiches Europoortgebied - Oscillatievorm (f = 0,00054 Hz)
(Grid E - run 1)
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Geervliet) gesloten
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam
- 5.1k Seiches Europoortgebied - Oscillatievorm (f = 0,00063 Hz)
(Grid C - run 1)
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Geervliet) gesloten
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam en Rozenburgsesluis
- 5.1l Seiches Europoortgebied - Oscillatievorm (f = 0,00084 Hz)
(Grid E - run 1)
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Geervliet) gesloten
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam
- 5.1m Seiches Europoortgebied - Oscillatievorm (f = 0,00124 Hz)
(Grid F - run 2)
Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Hartelbrug) gesloten
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam
- 5.1n Seiches Europoortgebied - Oscillatievorm (f = 0,00165 Hz)
(Grid A - run 2)
Kering Nieuwe Waterweg gesloten
Geen verbinding met Hartelkanaal
- 5.2 Seiches Europoortgebied - Amplificaties -DD-
DDD-
- Effect van kering Nieuwe Waterweg
Geen verbinding met Hartelkanaal
- a Positie 1, Europahaven
 - b Positie 3, Mississippihaven (oost)
 - c Positie 4, Mississippihaven (west)
 - d Positie 7, Beneluxhaven
 - e Positie 11, Rozenburgsesluis (noord)
 - f Positie 12, Brittanniëhaven
 - g Positie 13, Maasmond
 - h Positie 18, Kering Nieuwe Waterweg
 - i Positie 19, Amazonehaven

LIJST VAN FIGUREN (vervolg)

5.3 Seiches Europoortgebied - Amplificaties DODD(Geervl)
DOOD(Geervl)

Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Geervliet) gesloten
Effect openingen naar Hartelkanaal

- a Positie 1, Europahaven
- b Positie 3, Mississippihaven (oost)
- c Positie 4, Mississippihaven (west)
- d Positie 7, Beneluxhaven
- e Positie 11, Rozenburgsesluis (noord)
- f Positie 12, Brittanniëhaven
- g Positie 13, Maasmond
- h Positie 18, Kering Nieuwe Waterweg
- i Positie 19, Amazonehaven
- j Positie 21, Hartelhaven
- k Positie 25, Dintelhaven
- l Positie 27, Kuwaitsteiger
- m Positie 29, Harmsenbrug
- n Positie 31, Seinehaven
- o Positie 32, Hartelkering - Geervliet

5.4 Seiches Europoortgebied - Amplificaties DODD(Harmbr)

Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Harmsenbrug) gesloten
Effect openingen Hartelkanaal bij Beerdam

- a Positie 1, Europahaven
- b Positie 3, Mississippihaven (oost)
- c Positie 4, Mississippihaven (west)
- d Positie 7, Beneluxhaven
- e Positie 11, Rozenburgsesluis (noord)
- f Positie 12, Brittanniëhaven
- g Positie 13, Maasmond
- h Positie 18, Kering Nieuwe Waterweg
- i Positie 19, Amazonehaven
- j Positie 21, Hartelhaven
- k Positie 25, Dintelhaven
- l Positie 27, Kuwaitsteiger
- m Positie 29, Hartelkering - Harmsenbrug

LIJST VAN FIGUREN (vervolg)

5.5 Seiches Europoortgebied - Amplificaties DODD(Geervl)

Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Geervliet) gesloten
Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam - Effect van kadehoogte

- a Positie 1, Europahaven
- b Positie 3, Mississippihaven (oost)
- c Positie 4, Mississippihaven (west)
- d Positie 7, Beneluxhaven
- e Positie 11, Rozenburgsesluis (noord)
- f Positie 12, Brittanniëhaven
- g Positie 13, Maasmond
- h Positie 18, Kering Nieuwe Waterweg
- i Positie 19, Amazonehaven
- j Positie 21, Hartelhaven
- k Positie 25, Dintelhaven
- l Positie 27, Kuwaitsteiger
- m Positie 29, Harmsenbrug
- n Positie 31, Seinehaven
- o Positie 32, Hartelkering - Geervliet

5.6 Seiches Europoortgebied - Amplificaties DODD(Hartbr)

DOOD(Hartbr)

Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Hartelbrug) gesloten
Effect openingen naar Hartelkanaal

- a Positie 1, Europahaven
- b Positie 3, Mississippihaven (oost)
- c Positie 4, Mississippihaven (west)
- d Positie 7, Beneluxhaven
- e Positie 11, Rozenburgsesluis (noord)
- f Positie 12, Brittanniëhaven
- g Positie 13, Maasmond
- h Positie 18, Kering Nieuwe Waterweg
- i Positie 19, Amazonehaven
- j Positie 21, Hartelhaven
- k Positie 25, Dintelhaven
- l Positie 27, Kuwaitsteiger
- m Positie 29, Harmsenbrug
- n Positie 31, Seinehaven

LIJST VAN FIGUREN (vervolg)

- o Positie 32, Geervliet
- p Positie 33, Hartelkering - Hartelbrug

5.7 Seiches Europoortgebied - Amplificaties

DODD(Hartbr)

DOOD(Hartbr)

Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Hartelbrug) gesloten
Vergelijking een en twee verbindingen met Hartelkanaal

- a Positie 1, Europahaven
- b Positie 3, Mississippihaven (oost)
- c Positie 4, Mississippihaven (west)
- d Positie 7, Beneluxhaven
- e Positie 11, Rozenburgsesluis (noord)
- f Positie 12, Brittanniëhaven
- g Positie 13, Maasmond
- h Positie 18, Kering Nieuwe Waterweg
- i Positie 19, Amazonehaven
- j Positie 21, Hartelhaven
- k Positie 25, Dintelhaven
- l Positie 27, Kuwaitsteiger
- m Positie 29, Harmsenbrug
- n Positie 31, Seinehaven
- o Positie 32, Geervliet
- p Positie 33, Hartelkering - Hartelbrug

5.8 Seiches Europoortgebied - Amplificaties

OODO(Hartbr)

O000(Hartbr)

Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Hartelbrug) open
Vergelijking een of twee verbindingen met Hartelkanaal

- a Positie 1, Europahaven
- b Positie 3, Mississippihaven (oost)
- c Positie 4, Mississippihaven (west)
- d Positie 7, Beneluxhaven
- e Positie 11, Rozenburgsesluis (noord)
- f Positie 12, Brittanniëhaven
- g Positie 13, Maasmond
- h Positie 18, Kering Nieuwe Waterweg
- i Positie 19, Amazonehaven

LIJST VAN FIGUREN (vervolg)

- j Positie 21, Hartelhaven
- k Positie 25, Dintelhaven
- l Positie 27, Kuwaitsteiger
- m Positie 29, Harmsenbrug
- n Positie 31, Seinehaven
- o Positie 32, Geervliet
- p Positie 33, Hartelkering - Hartelbrug

5.9 Seiches Europoortgebied - Snelheden

0000(Hartbr)

0000(Hartbr)

Kering Nieuwe Waterweg en Hartelkering (Hartelbrug) open
Vergelijking een of twee verbindingen met Hartelkanaal

- a Positie 2, Mond Beerkanaal
- b Positie 3, Mississippihaven (oost)
- c Positie 5, Breeddiep (zuidzijde)
- d Positie 10, Einde Calandkanaal
- e Positie 13, Maasmond
- f Positie 16, Begin Calandkanaal
- g Positie 17, Breeddiep (noordzijde)
- h Positie 18, Kering Nieuwe Waterweg
- i Positie 20, Ingang Amazonehaven
- j Positie 24, Suurhoffbrug
- k Positie 26, Dintelhavenbrug
- l Positie 29, Harmsenbrug
- m Positie 32, Geervliet

1. Inleiding

1.1 Opdracht

Rijkswaterstaat onderzoekt momenteel verschillende tracés voor de Europoortkering tussen de Stormvloedkering Nieuwe Waterweg en de Brielse Dijkkring. Als deelproject van de "Tracé-nota Europoortkering" heeft RWS in zijn brief van 25-02-1991 (Kenmerk: 22739/WB) aan WL (Waterloopkundig Laboratorium) opdracht verleend seiches-berekeningen uit te voeren. De eerste vier PHAROS berekeningen zijn uitgevoerd zoals vermeld in het onderzoeksvoorstel van 14-02-1991 (Kenmerk HK1342/H1409). Tijdens de duur van de studie heeft RWS aanvullende opdrachten verleend voor tien extra berekeningen. De studie is uitgevoerd door ir. J.J. Veldman en dhr. J. Vis, onder begeleiding van ir. J.K. Kostense. Van de zijde van RWS-Dienst Getijdewateren is de studie begeleid door ir. J.G. de Ronde.

1.2 Doel

De seiches berekeningen dienen ter ondersteuning van het onderzoek naar de ontwerprandvoorwaarden voor de Europoortkering. In de berekeningen wordt uitgegaan van één of twee open verbindingen naar het Hartelkanaal en een stormvloedkering in het Hartelkanaal. Voor de seiches berekeningen zijn twee numerieke modellen gebruikt, het model PHAROS dat rekent in het frequentiedomein en het model TRISULA dat rekent in het tijdsdomein. De PHAROS berekeningen zijn deels uitgevoerd door RWS [1], en deels door WL, zoals gerapporteerd in dit rapport. De TRISULA berekeningen zijn uitgevoerd door WL en separaat gerapporteerd [2]. Aangezien hierin dus slechts een deel van de uitgevoerde berekeningen wordt behandeld, beperkt dit rapport zich tot de kwantitatieve resultaten, zonder dat een afweging tussen de verschillende varianten wordt gegeven.

1.3 Aanpak

In deze studie is voortgebouwd op de aanpak in de studie uit 1987/88 naar het effect van een stormvloedkering op de seiches-gevoeligheid in het Europoortgebied en de Nieuwe Waterweg [3, 4].

Met het mathematisch model PHAROS (Program for computation of HARbour Oscillations) zijn resonantiefrequenties en amplificatiefactoren bepaald. Het merendeel van de berekeningen is bij een waterstand NAP +5,0 m uitgevoerd. De dempende werking van onderlopende haventerreinen is in PHAROS gesimuleerd door middel van dissipatie c.q. partiële reflectie van de betreffende randen.

2. Samenvatting

Ter ondersteuning van het onderzoek naar de ontwerp-randvoorwaarden voor de Europoortkering zijn 14 seiches berekeningen uitgevoerd met het mathematische model PHAROS (Program for computation of HARbour OSillations). De respons van het Europoortgebied op lange golven is berekend voor de bestaande situatie waarin aangebracht de kering in de Nieuwe Waterweg en voor 5 situaties met open Hartelkanaal. In de situatie met open Hartelkanaal zijn 3 lokaties van de Hartelkeringen onderzocht waarbij er steeds een of twee open verbindingen zijn tussen het Europoortgebied en het Hartelkanaal (zie ook de Figuren 3.1 t/m 3.6).

De resultaten van de berekeningen zijn in drie vormen gepresenteerd:

- Oscillatievormen bij resonantiefrequenties (Figuur 5.1a t/m n). Deze oscillatievormen geven een totaalbeeld van de waterspiegelvariaties en het gebied als lange golven bij een bepaalde frequentie opslingeren;
- Frequentie/amplificatie (of snelheids)-grafieken (Figuren 5.2 t/m 5.9). Deze figuren geven per positie voor de gehele frequentieband een overzicht van amplificatiefactoren of stroomsnelheden en geven daarmee een compleet beeld van de respons van het gebied op lange golven;
- Tabellen 5.1 en 5.2 met gewogen amplificatiefactoren. Deze naar energie-inhoud gewogen amplificatiefactoren geven slechts een beperkt beeld van de seichesgevoeligheid. Opgemerkt wordt dat in de gewogen amplificatiefactor informatie met betrekking tot de hoogte en vorm van de afzonderlijke resonantiepieken ontbreekt.

Berekeningen bij NAP +4,5 of 5,0 m

Tien berekeningen zijn uitgevoerd bij de waterstand NAP +4,5 of 5,0 m. Bij deze waterstand zijn diverse overstroomde haventerreinen gesimuleerd (zie de Figuren 3.7 t/m 3.9). Deze ondergelopen haventerreinen hebben een dempend effect op de hoogte van de seiches. In de berekeningen is dit geschematiseerd als dissipatie (of partiële reflectie) ter plaatse van de desbetreffende oever (zie de Figuren 4.1 t/m 4.9 en 4.11). Doel van deze berekeningen is een kwalitatieve bijdrage te leveren voor het bepalen van de bijdrage van seiches in de randvoorwaarden voor de Europoortkering.

In navolging van eerdere berekeningen [4] is de partiële reflectie van de diverse doorlatende of overstroomde oevers geschat voor loodrecht invallende golven. In een quasi-stationaire benadering van de inkomende lange golf is met behulp van overlaat formules en afvoer-relaties (zie ook Appendix A) voor elke fasehoek van de inkomende golf de verhouding tussen de hoogte van de inkomende en de gereflecteerde golf bepaald. In PHAROS is de reflectie-coëfficiënt nu zo gekozen dat de verdeling van de energie van de inkomende golf over de gereflecteerde golf en de dissipatie overeenkomen. Het blijkt dat de aldus bepaalde reflectie-coëfficiënten sterk afhankelijk kunnen zijn van de hoogte van de inkomende golf, de waterstand t.o.v. de kade en de berging op de kade (afhankelijk van golfperiode en overstroomd oppervlak).

Naast de gevolgen van een (quasi-stationaire) aanpak wordt een nauwkeuriger bepaling van de reflectie-coëfficiënten ook beperkt door het ontbreken van gedetailleerde gegevens met betrekking tot de geometrie van de overstroomde oevers en haventerreinen. Opgemerkt wordt dat een nauwkeurige bepaling van de reflectie-coëfficiënten met name van belang is bij zeer hoge reflecties, zeg orde 99%. Bij lagere reflectie-coëfficiënten wordt het relatief belang voor een nauwkeurige bepaling van de amplificatie-factoren steeds geringer, aangezien variaties van de reflectie-coëfficiënt een steeds geringer effect op de totaal gedissipeerde energie heeft.

Berekeningen bij NAP +2,5 m

Vier berekeningen zijn uitgevoerd bij de waterstand NAP +2,5 m.

Bij deze waterstand zijn er geen kaden overstroomd en zijn de oevers volledig reflecterend (zie de Figuren 4.10 en 4.12 t/m 4.14). Deze berekeningen zijn meer gericht op het signaleren van mogelijke nautische problemen ten gevolge van seiches bij een open Hartelkanaal.

3. Schematisatie

3.1 Situaties en rekengebieden

Er zijn zes situaties onderzocht, een zonder verbinding naar het Hartelkanaal, en vijf met een of twee verbindingen met het Hartelkanaal, waarbij tevens de lokatie van de Hartelkering varieert (zie ook Fig. 3.1 t/m 3.6):

	grid	SVK-NW	Beerdam	Rozenburgse sluis	Hartelkering	Fig.
1	A	-/D	D	D	-	3.1
2	B/E	D	O	D	D (bij Geervliet)	3.2
3	C	D	O	O	D (bij Geervliet)	3.3
4	D	D	O	D	D (bij Harmsenbrug)	3.4
5	F	O/D	O	D	O/D (bij Hartelbrug)	3.5
6	G	O/D	O	O	O/D (bij Hartelbrug)	3.6

n.b. O = open kering of verbinding naar Hartelkanaal
D = dichte kering of verbinding naar Hartelkanaal

3.2 Rekengebieden, bodemligging en bodemruwheid

De schematisaties zoals gebruikt in [1] zijn aangepast en uitgebreid met de Amazonehaven en het betreffende deel van het Hartelkanaal. Het eindige elementen-rooster van de kleinste schematisatie (grid A) omvat ca. 2250 knooppunten, terwijl de grootste met het complete Hartelkanaal (Grid G) ongeveer 3400 knooppunten omvat.

De bodemligging is gebaseerd op lodingen uit 1987/1988, zoals die zijn verstrekt door Rijkswaterstaat en Gemeentewerken Rotterdam (zie ook [1]).

In de berekeningen waarin het effect van bodemwrijving is meegenomen, is de equivalente Nikuradse bodemruwheid gesteld op $kN = 0,01$ m bij een inkomende golfhoogte $H = 0,30$ m.

3.3 Waterstanden en kadehoogten

De meeste berekeningen (acht) zijn uitgevoerd bij een waterstand van NAP +5,0 m. Twee series zijn uitgevoerd bij NAP +4,5 m en vier series bij NAP +2.5.

De hoogte van de kaden en de voor windopzet gecorrigeerde hoogtes zijn weer-
gegeven in de Figuren 3.7, 3.8 en 3.9.

De kadehoogte en de oppervlakte van het gebied dat bij hoge waterstanden over-
stroomd zijn belangrijke invoer parameters voor het bepalen van de dissipatie
c.q. partiële reflectie ter plaatse van de oever (zie Hoofdstuk 4).

4. Partiële reflectie en/of transmissie van lange golven

4.1 Inleiding partiële reflectie

De respons van een haven op lange golven (c.q. seiches) wordt, behalve door de geometrie van de haven, voornamelijk bepaald door de reflectie en transmissie ter plaatse van de oevers.

Door dichte, niet overstroomde oevers, worden lange golven volledig gereflecteerd. Een doorlatende of overstroomde constructie zal een deel van de lange golf partieel reflecteren en een deel doorlaten of transmitteren.

In het Europoortgebied kunnen een aantal soorten oevers worden onderscheiden waartegen de lange golf partieel reflecteert:

- overstroomde constructies zoals de Splitsingsdam met de kruin onder de waterspiegel;
- constructies met lekopening onder de waterspiegel, zoals de kering in de Nieuwe Waterweg;
- overstortende constructies of oevers, zoals de Hartelkering met de bovenkant op- of onder de waterspiegel;
- overstroomde oevers, zoals delen van haventerreinen die bij hoge waterstanden onderlopen.

In Appendix A zijn voor deze partieel reflecterende oevers afleidingen gegeven waarmee reflectie en transmissie-coëfficiënten kunnen worden geschat voor een lineair golfmodel, zoals PHAROS. In navolging van eerdere berekeningen [4] is in deze afleidingen uitgegaan van:

- een loodrecht invallende golf;
- quasi-stationaire benadering met hydrostatistische drukverdeling.

Met behulp van overlaatformules en afvoerrelaties kan voor elke willekeurige oppervlakte-uitwijking ten opzichte van de gemiddelde waterstand en dus voor elke fasehoek van de inkomende golf de reflectie en/of de transmissie bepaald worden. Ten opzichte van de in Appendix A van [4] gepresenteerde afleidingen is de afleiding voor overstroomde oevers en kaden vernieuwd. In de nieuwe afleiding wordt ook de invloed van berging (afhankelijk van golfperiode en overstroomd oppervlak) en de ruwheid van het overstroomde gebied meegenomen.

In het algemeen is de verhouding tussen de golfhoogte van de reflecterende en de inkomende golf afhankelijk van de fasehoek (golfvervorming). De reflectiecoëfficiënt in PHAROS wordt nu zo gekozen dat de verdeling van de energie van de inkomende golf over de gereflecteerde golf (en/of getransmitteerde golf) en de dissipatie overeenkomt.

Met behulp van de in Appendix A afgeleide relaties is voor de diverse doorlatende of overstroomde (oever) constructies in het Europoortgebied de reflectie (en transmissie) geschat. Hiertoe is voor een aantal fasestappen van de inkomende golf (18 stappen van 20^0) de verhouding tussen de hoogte van de inkomende en de gereflecteerde (en getransmitteerde) golf berekend. De gevoeligheid van de berekende reflectie (en transmissie) coëfficiënten is onderzocht voor:

- variatie in hoogte van de inkomende golf, en bij overstroomde oevers en haventerreinen, ook voor:
 - variatie in waterstand t.o.v. kadehoogte;
 - variatie in golfperiode;
 - variatie in overstroombd oppervlak gemeten vanuit de oever;
 - variatie in ruwheid van het overstroomde gebied.

4.2 Splitsingsdam

De Splitsingsdam met kruin op- of onder de waterspiegel wordt beschouwd als een symmetrische overlaatconstructie. De aan de hand van Appendix A berekende reflectie en transmissie is gegeven in Tabel 4.1.a en b.

De reflectie en transmissie blijken sterk afhankelijk te zijn van de hoogte van de inkomende golf.

4.3 Kering Nieuwe Waterweg

In de kering in de Nieuwe Waterweg is een lekopening aangenomen met een oppervlak van 100 m^2 (afvoercoëfficiënt $\mu = 0,87$). Voor de berekening van de reflectie is aangenomen dat deze opening gelijkmatig verdeeld is over de breedte van de kering ($B = 427,25 \text{ m}$).

De aan de hand van Appendix A berekende reflectie-coëfficiënten zijn nauwelijks afhankelijk van de hoogte van de inkomende golf, zie Tabel 4.2a t/m c.

Het door de lekopening in de kering stromende debiet bedraagt ca. 700 m³/s bij NAP +5,00 m en ca. 400 m³/s bij NAP +2,5 m. Het effect van de hierdoor optredende gemiddelde stroomsnelheden (ca. 0,1 m/s in de Nieuwe Waterweg) is in de PHAROS berekeningen niet in rekening gebracht.

4.4 Hartelkering

Wanneer de bovenkant van de Hartelkering zich op of onder de waterspiegel bevindt wordt deze beschouwd als een overstortende rand. De aan de hand van Appendix A berekende reflectie-coëfficiënten zijn gegeven in Tabel 4.3a t/m d.

Alleen wanneer de bovenkant van de kering zich ongeveer op de waterspiegel bevindt blijkt de reflectie afhankelijk van de hoogte van de inkomende golf (Tabel 4.3a). In de berekeningen waarin de bovenkant van de kering op ca. 2,5 m onder de waterspiegel ligt is de reflectie nagenoeg onafhankelijk van de golfhoogte (Tabel 4.3b t/m d).

Het over de kering stortende debiet bedraagt 4 tot 9 m³/s. Het effect van de hierdoor in het Hartelkanaal optredende gemiddelde stroomsnelheden (0,5 tot 1,0 m/s) is in de PHAROS berekeningen niet in rekening gebracht.

4.5 Overstroomde oevers

Bij de waterstand NAP +5,00 m overstromen in het Europoortgebied en langs het Hartelkanaal verschillende oevers en haventerreinen. Voor de schatting van de reflectie zijn 10 oeversecties te onderscheiden. Voor elke sectie geldt dat het niveau van de kade en/of de waterdiepte voor de kade verschillen. Daarnaast is voor sommige secties de reflectie berekend bij meer dan één waterstand.

Voor alle secties is uitgegaan van de volgende randvoorwaarden (zie ook Tabel 4.4 t/m 4.13):

Inkomende golf:

- amplitude $\eta_I = 0,15$ m (= inkomende golf in PHAROS)
- periode $T = 1200$ sec (= 20 min., het midden van het frequentie gebied)

Overstroomd terrein:

- lengte uit de oever $L = 1000 \text{ m}$ (een waarde voor het gehele gebied)
- ruwheid $k_N = 0,001 \text{ m}$ (\approx glad beton/asfalt)

Naast dit standaardgeval is voor elke constructie de gevoeligheid van de reflectie-coëfficiënt berekend voor de volgende variaties: waterstand, golfamplitude en periode en lengte en ruwheid van het overstroomde gebied.

Bij een waterstand van NAP + 5,00 m is het kade-niveau rond de Maasvlakte, Beneluxhaven en Hartelhaven/Dintelhaven/Hartelkanaal gelijk aan de waterspiegel. De reflectie-coëfficiënt is daardoor zeer gevoelig voor een kleine variatie van de waterstand. Verder varieert de reflectie sterk met een variatie van de golfhoogte, terwijl een andere golfperiode of- lengte en de ruwheid van het overstroomde gebied nauwelijks effect hebben op de reflectie-coëfficiënt (Tabel 4.4, 4.5 en 4.9).

Het terrein tussen de Zevende Petroleumhaven en Kuwaitsteiger ligt bij de waterstand NAP +5,00 m, 0,25 m beneden de waterspiegel. De reflectie-coëfficiënt is nu minder gevoelig voor een kleine variatie van waterstand en golfhoogte en is nu afhankelijker van de variatie van de golfperiode en- lengte en de ruwheid van de overstroomde kade (Tabel 4.6a en 4.10).

De terreinen rond de Brittanniëhaven en de Seinehaven liggen bij de waterstand NAP +5,00 m, 1,00 m beneden de waterspiegel. De reflectie varieert zeer sterk met de golfperiode en de lengte van de overstroomde kade. Variaties van waterstand, golfamplitude en ruwheid van de kade zijn minder belangrijk voor de reflectie-coëfficiënt (Tabel 4.7a en 4.12a). Dit geldt evenzo voor de verlaagde zuidoever van de Mississippihaven (zie Tabel 4.13).

Een overzicht van de in PHAROS toegepaste reflectie-coëfficiënten is gegeven in onderstaande Tabel:

Kadeniveau t.o.v. NAP [m]	Reflectie-coëfficiënt bij waterdiepte voor de kade		
	≈ 25 m	≈ 15 m	≈ 10 m
+ 0,25	99%		
0,00	95%	93%*)	90%
- 0,25	85%		80%
- 0,50		80%*)	75%*)
- 1,00	80%	80%	75%

*) ook als achter de kade het haven terrein 0,50 m lager ligt (o.a. Brittannië en Seinehaven)

4.6 Samenvatting partiële reflectie/transmissie van lange golven

Uit de berekeningen voor de verschillende soorten oevers (zie hoofdstukken 4.2 t/m 4.5 en de tabellen 4.1 t/m 4.13) blijkt dat de voor de Splitsingsdam berekende reflectie- en transmissie-coëfficiënten sterk afhankelijk zijn van de hoogte van de inkomende golf (hoofdstuk 4.2). Voor de kering in de Nieuwe Waterweg (onderwater opening) en de Hartelkering (overstortende rand) geldt dit niet of in mindere mate. Bij overstroomde haventerreinen geldt dat de berekende reflectie-coëfficiënt vooral afhankelijk is van de waterstand en de golfhoogte in het geval dat de waterstand ongeveer op het kadeniveau ligt. Een deel van de kaden ligt op 0,5 à 1,0 m onder de waterspiegel, zie figuur 3.7 t/m 3.9. Onder deze omstandigheden zijn vooral de golfperiode en de uitgestrektheid van het overstroomde gebied van belang in verband met het beperkte bergend vermogen op de kade. Een overzicht van de in de afzonderlijke PHAROS-berekeningen toegepaste reflectie- en/of transmissie-coëfficiënten is gegeven in de Figuren 4.1 t/m 4.12.

Bij deze reflectie- (en/of transmissie-) coëfficiënten moet worden bedacht dat het om afschattingen gaat. Aandachtspunten hierbij zijn de effecten van de toegepaste vereenvoudigingen. Hierbij moet met name gedacht worden aan het effect van niet loodrechte golfval, de toegepaste quasi-stationaire benadering van de inkomende golf (met name bij overstroomde oevers en haventerreinen) en de vervorming van de gereflecteerde golf. Met betrekking tot de geometrie van de overstroomde oevers en haventerreinen (met name hoogteligging en overstroomd oppervlak), wordt opgemerkt dat gedetailleerde informatie hieromtrent ontbreekt. Wel dient hierbij te worden bedacht dat voor het

nauwkeurig berekenen van de hoogte van amplificatiepieken de nauwkeurigheid van de energiedissipatie ($D = 1 - (R/100)^2$) van belang is. Dit betekent dat, een nauwkeurige bepaling van de reflectie-coëfficiënt met name van belang is bij zeer hoge reflectie. Dit blijkt ook uit de Figuren 15 t/m 23 in [4], die laten zien dat het verschil in amplificatie veel groter is tussen $R = 100\%$ en 90% bij de kering, dan tussen $R = 90\%$ en 70% .

Voor het vergroten van de nauwkeurigheid van de reflectie-coëfficiënt in toekomstige seichesberekeningen zijn twee dingen noodzakelijk: het nauwkeurig bekend zijn van de geometrie van de overstroomde oevers en haventerreinen en het toepassen van meer geavanceerde technieken bij het bepalen van de reflectie. Hierbij wordt gedacht aan een tijdsdomein model op basis van een randelementen methode, eventueel in combinatie met experimenteel onderzoek.

5. Resultaten van de berekeningen

5.1 Algemeen

De bodemschematisatie en de hoogteligging van omliggende kaden en haventerreinen zijn weergegeven in Figuur 3.1 t/m 3.9. De dempende werking van onderlopende haventerreinen is in rekening gebracht door middel van partiële reflectie van de betreffende randen, zie Figuur 4.1 t/m 4.12.

Overzicht van de veertien berekeningen met bijbehorende figuurnummers van de frequentie-amplificatie grafieken:

Berekening no.	Waterstand (NAP + m)	SVK NW O/D	Beer-dam O/D	Rozenb. sluis O/D	Hartel-kering O/D (locatie)	Bijzonderheden	Grid run	Figuur no.
1	5,0	-	D	D	-		A-1	5.2
2	5,0	D	O	D	D(Geervliet)		B-1	5.3
3	5,0	D	O	O	D(Geervliet)		C-1	5.3
4	5,0	D	O	D	D(Harmsenbrug)		D-1	5.4
5	5,0	D	D	D	-		A-2	5.2
6	4,5	D	O	D	D(Geervliet)	kaden Hartelkanaal verhoogd idem met bodemwrijving	E-1	5.5
7	5,0	D	O	D	D(Geervliet)	kaden Hartelkanaal NAP +5 m	E-1W E-2	5.5 5.5
8	5,0	D	O	D	D(Hartelbrug)		F-1	5.6
9	5,0	D	O	O	D(Hartelbrug)		G-1	5.6
10	2,5	D	O	D	D(Hartelbrug)	met bodemwrijving	F-2W	5.7
11	2,5	D	O	O	D(Hartelbrug)	met bodemwrijving	G-2W	5.7
12	4,5	D	O	D	D(Geervliet)	zuidkade Mississippihaven verlaagd; met bodemwrijving	E-3W	5.5
13	2,5	O	O	D	O(Hartelbrug)	met bodemwrijving	F-3W	5.8
14	2,5	O	O	O	O(Hartelbrug)	met bodemwrijving	G-3W	5.8

n.b. O = open kering of verbinding naar Hartelkanaal
 D = dichte kering of verbinding naar Hartelkanaal

Amplificatie-factoren zijn berekend voor het frequentiegebied van 0,00001 tot 0,00170 Hz (≈ 10 min) bij een stapgrootte van 0,00001 Hz. In de berekeningen met bodemwrijving bedraagt de stapgrootte 0,00002 Hz.

De resultaten van de berekeningen zijn in drie vormen gepresenteerd; n.l. als:
 - Oscillatievormen bij resonantiefrequenties (Hoofdstuk 5.2). De Figuren 5.1a t/m n tonen welke waterstandsvariaties er in het gebied op kunnen treden wanneer lange golven in resonantie komen.

- Frequentie/amplificatie- (of snelheids) grafieken (Hoofdstuk 5.3 t/m 5.7). De Figuren 5.2 t/m 5.9 geven voor 9 tot 16 posities (zie Figuur 5.0) per positie voor het hele frequentiegebied een overzicht van de amplificatie-factoren of snelheden. Op deze wijze wordt een compleet beeld verkregen van de respons van het gebied op lange golven;
- Gewogen amplificatie-factoren geven een beperkt beeld van de respons van het gebied, daar elke informatie over hoogte en vorm van de afzonderlijke resonantiepieken ontbreekt. De over het frequentiegebied 0,00001 - 0,00170 Hz (> 10 min) gewogen amplificatie-factoren (gewogen naar energie) zijn weer-gegeven in Tabel 5.1 en de over het frequentiegebied 0,00001 - 0,00043 Hz (> 40 min) gewogen amplificatie-factoren in Tabel 5.2.

5.2 Oscillatievormen

Bij 14 resonantiefrequenties is de oscillatievorm bepaald. Het vrije wateroppervlak is berekend voor het moment waarop de waterspiegeluitwijking maximaal is. Voor de volgende resonantiefrequenties zijn de oscillatievormen gepresenteerd:

$f = 0,00012$ Hz (≈ 139 min)	Grid E - Run 1	figuur 5.1a
$f = 0,00015$ Hz (≈ 111 min)	Grid D - Run 1	figuur 5.1b
$f = 0,00018$ Hz (≈ 93 min)	Grid C - Run 1	figuur 5.1c
$f = 0,00021$ Hz (≈ 79 min)	Grid F - Run 1	figuur 5.1d
$f = 0,00022$ Hz (≈ 76 min)	Grid F - Run 2	figuur 5.1e
$f = 0,00024$ Hz (≈ 69 min)	Grid B - Run 1	figuur 5.1f
$f = 0,00024$ Hz (≈ 69 min)	Grid G - Run 1	figuur 5.1g
$f = 0,00039$ Hz (≈ 43 min)	Grid E - Run 1	figuur 5.1h
$f = 0,00040$ Hz (≈ 42 min)	Grid G - Run 2	figuur 5.1i
$f = 0,00054$ Hz (≈ 31 min)	Grid E - Run 1	figuur 5.1j
$f = 0,00063$ Hz (≈ 26 min)	Grid C - Run 1	figuur 5.1k
$f = 0,00084$ Hz (≈ 20 min)	Grid E - Run 1	figuur 5.1l
$f = 0,00124$ Hz (≈ 13 min)	Grid F - Run 2	figuur 5.1m
$f = 0,00165$ Hz (≈ 10 min)	Grid A - Run 2	figuur 5.1n

Enkele oscillatievormen treden op bij verschillende configuraties, in het algemeen met verschillende amplificaties.

5.3 Golfhoogte-amplificaties in de bestaande situatie

5.3.1 Bestaande situatie zonder kering (-DD- = Grid A - Run 1)

De rand ter plaatse van de kering in de Nieuwe Waterweg (inclusief de landhoofden) is volledig absorberend (zie Figuur 4.1). De dempende werking van de onderlopende haventerreinen is in rekening gebracht via partiële reflectie van de betreffende randen (Figuur 4.1). In deze schematisatie is het Hartelkanaal niet en de Amazone haven wèl opgenomen. De resultaten van deze berekening zijn in de vorm van frequentie/amplificatie-grafieken gegeven in de Figuren 5.2a t/m i.

5.3.2 Bestaande situatie met gesloten kering in Nieuwe Waterweg

(DDD- = Grid A - Run 2)

De landhoofden ter plaatse van de kering in de Nieuwe Waterweg zijn volledig reflecterend. De segmentdeuren (met 100 m² lekopening) zijn partieel reflecterend (R = 97%). Een overzicht van de partieel reflecterende randen is gegeven in Figuur 4.2. De resultaten van deze berekening zijn in de vorm van frequentie/amplificatie-grafieken gegeven in de Figuren 5.2a t/m i. De oscillatievorm bij $f = 0,00165$ Hz (≈ 10 min) is gegeven in Figuur 5.1n.

5.4 Golfhoogte-amplificaties met Hartelkering bij Harmsenbrug

5.4.1 Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam

(DODD-Harmsenbrug = Grid D - Run 1)

In deze schematisatie is het Hartelkanaal opgenomen tot aan de Hartelkering bij Harmsenbrug. De segmentdeuren van de kering in de Nieuwe Waterweg zijn partieel reflecterend (R = 97%), evenals de Hartelkering (bovenrand op waterspiegel R = 93%), zie Figuur 4.5. De resultaten van de berekening zijn weergegeven in de Figuren 5.4a t/m n. De oscillatievorm bij resonantiefrequentie $f = 0,00015$ Hz (≈ 111 min) is gegeven in Figuur 5.1b.

5.5 Golfhoogte-amplificaties met Hartelkering bij Geervliet

5.5.1 Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam

(DODD-Geervliet = Grid B - Run 1)

De schematisatie omvat het Hartelkanaal tot Geervliet alsmede één verbinding naar het Hartelkanaal. De kering in de Nieuwe Waterweg is partieel reflecterend ($R = 97\%$). De Hartelkering is in deze berekening volledig reflecterend, zie Figuur 4.3. De resultaten van de berekening zijn weergegeven in de Figuren 5.3a t/m o. De oscillatievorm bij frequentie $f = 0,00024$ Hz (≈ 69 min) is weergegeven in Figuur 5.1f.

5.5.2 Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam en Rozenburgsesluis

(DOOD-Geervliet = Grid C - Run 1)

De schematisatie omvat het Hartelkanaal tot Geervliet en de beide verbindingen naar het Hartelkanaal. De kering in de Nieuwe Waterweg in deze berekening is partieel reflecterend ($R = 97\%$). De Hartelkering is volledig reflecterend (zie Figuur 4.4). De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in de Figuren 5.3a t/m o. De oscillatievormen bij de resonantiefrequenties $f = 0,00024$ en $0,00063$ Hz (≈ 69 en 26 min) zijn weergegeven in de Figuren 5.1c en k.

5.5.3 Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam, waterstand = NAP +4,5 m

(DODD-Geervliet = Grid E - Run 1)

De kering in de Nieuwe Waterweg is in deze berekening partieel reflecterend ($R = 97\%$). De Hartelkering (bovenkant $2,1$ m beneden de waterspiegel) is partieel reflecterend ($R = 45\%$). Alle kaden langs Hartelkanaal, Dintelhaven en Seinehaven zijn volledig reflecterend. Bij deze waterstand zijn van de overige kaden alleen de zuidoever van het Calandkanaal (kade op NAP $+4,75$ m, $R = 99\%$) en de kaden van Brittanniëhaven (noordrand op NAP $+4,0$ m, $R = 80\%$ en zuidrand op NAP $+4,5$ m, $R = 93\%$) partieel reflecterend. De reflectie/transmissie van de Splitsingsdam (kruin op NAP $+3,5$ m) is gesteld op $R = 40\%$, $T = 60\%$. Een overzicht van de partieel reflecterende randen is gegeven in Figuur 4.6.

Voor de resonantiepiek bij $f = 0,00084$ Hz (≈ 20 min) is het effect van bodemwrijving ($kN = 0,01$ m) op de amplificatie bepaald. De resultaten van deze bere-

kening zijn gegeven in de Figuren 5.5a t/m o. Let op de schaal van de verticale as!

Voor de resonantiefrequenties $f = 0,00012, 0,00039, 0,00054$ en $0,00084$ Hz ($\approx 139, \approx 43, \approx 31$ en ≈ 20 min) zijn de oscillatievormen weergegeven in de Figuren 5.1a, 5.1h, 5.1j en 5.1l.

5.5.4 Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam, aangepaste kadehoogten rond Hartelkanaal (DODD-Geervliet - Grid E - Run 2)

De kering in de Nieuwe Waterweg is partieel reflecterend ($R = 97\%$). De Hartelkering (bovenkant 2.75 m beneden de waterspiegel) is partieel reflecterend ($R = 40\%$). Alle kaden langs het Hartelkanaal en de Seinehaven zijn in de berekening verhoogd tot NAP 5,0 m ($R = 90\%$) (zie ook Figuren 3.8 en 4.7). De resultaten zijn gegeven in de Figuren 5.5a t/m o.

5.5.5 Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam, waterstand = NAP +4,5 m aangepaste kadehoogten bij Mississippihaven (DODD - Grid E - Run 3)

Deze berekening betreft een kleine variatie op de in par. 5.5.3 beschreven berekening waarin de zuidoever van de Mississippihaven is verlaagd (zie Figuur 3.9). De dempende werking van de onderlopende haventerreinen is in rekening gebracht via partiële reflectie van de betreffende randen, zie Figuur 4.8. De zuidoever van de Mississippihaven is partieel reflecterend ($R = 80\%$).

In deze berekeningen is het effect van bodemwrijving ($kN = 0,01$ m) meegenomen. Amplificatie-factoren zijn berekend voor het frequentiegebied van 0,00002 tot 0,00170 Hz (≈ 10 min) bij een stapgrootte van 0,00002 Hz, dit in afwijking van de voorgaande berekeningen.

5.6 Golfhoogte-amplificaties met Hartelkering bij Hartelbrug

Van de vier berekeningen zijn de eerste en tweede uitgevoerd bij de waterstand NAP +5,0 m en de derde en vierde bij de waterstand NAP +2,5 m.

5.6.1 Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam

(DODD-Hartelbrug = Grid F - Run 1)

De segmentdeuren van de kering in de Nieuwe Waterweg (lek 100 m^2) zijn in deze twee berekeningen partieel reflecterend ($R = 97\%$). De Hartelkering (bovenkant 2,5 m beneden de waterspiegel) is partieel reflecterend ($R = 45\%$). De dempende werking van de onderlopende haventerreinen is in rekening gebracht via partiële reflectie van de betreffende randen (zie Figuur 4.9 en 4.10). De resultaten zijn gegeven in de Figuren 5.6a t/m p.

De oscillatievorm bij resonantiefrequentie $f = 0,00021 \text{ Hz}$ ($\approx 79 \text{ min}$) is weergegeven in Figuur 5.1d.

5.6.2 Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam en Rozenburgsesluis

(DOOD-Hartelbrug = Grid G - Run 1)

De oscillatievorm bij resonantiefrequentie $f = 0,00024 \text{ Hz}$ ($\approx 69 \text{ min}$) is weergegeven in Figuur 5.1g.

5.6.3 Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam, waterstand = NAP +2,5 m

(DODD-Hartelbrug = Grid F - Run 2)

De segmentdeuren van de kering in de Nieuwe Waterweg (lek 100 m^2) zijn in deze twee berekeningen partieel reflecterend ($R = 95\%$). De Hartelkering en de kaden zijn in deze berekening volledig reflecterend (zie Figuren 4.11 en 4.12). In deze berekeningen is het effect van bodemwrijving ($k_N = 0,01 \text{ m}$) meegenomen. De resultaten van deze twee berekeningen zijn gegeven in de Figuren 5.7a t/m p.

De oscillatievormen bij resonantiefrequenties $f = 0,00022$ en $0,00124 \text{ Hz}$ ($\approx 76 \text{ min}$ en $\approx 13 \text{ min}$) zijn weergegeven in de Figuren 5.1e en 5.1m.

5.6.4 Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam en Rozenburgsesluis, waterstand

= NAP +2,5 m (DOOD-Hartelbrug = Grid G - Run 2)

De oscillatievorm bij resonantiefrequentie $f = 0,00040 \text{ Hz}$ ($\approx 42 \text{ min}$) is weergegeven in Figuur 5.1i.

5.7 Golfhoogte-amplificaties en snelheden bij open keringen

5.7.1 Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam, waterstand = NAP +2,5 m (DODD-Hartelbrug = Grid F - Run 3)

De schematisatie voor deze berekening omvat het Hartelkanaal tot de Hartelbrug. De segmentdeuren van de kering in de Nieuwe Waterweg en de Hartelkering ter plaatse van de Hartelbrug zijn in deze twee berekeningen volledig absorberend ($R = 0\%$). De kaden zijn in deze berekening volledig reflecterend (zie Figuren 4.13 en 4.14). In deze berekeningen is het effect van bodemwrijving ($k_N = 0,01$ m) meegenomen.

Amplificatie-factoren- en snelheden zijn berekend voor het frequentiegebied van 0,00002 tot 0,00170 Hz (≈ 10 min) bij een stapgrootte van 0,00002 Hz. De inkomende golfhoogte bedraagt $H = 0,30$ m.

Per situatie zijn voor 16 posities de frequentie/amplificatie grafieken gegeven in de Figuren 5.8a t/m p en voor 13 posities de snelheden in de Figuren 5.9a t/m m.

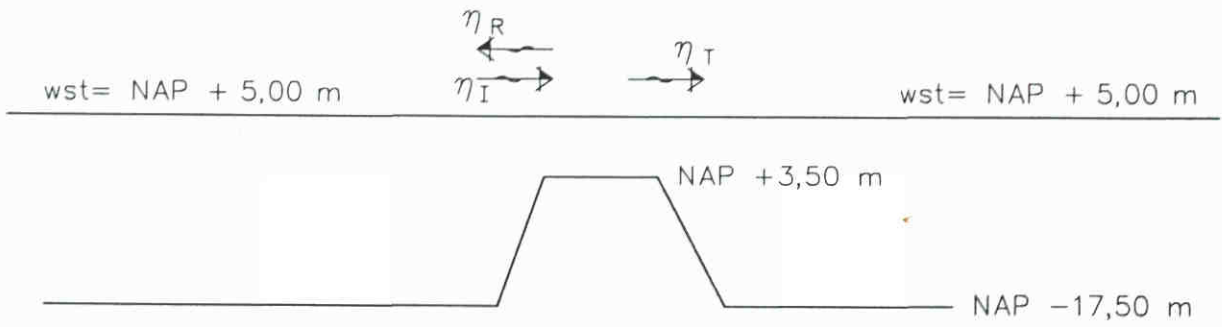
5.7.2 Verbinding met Hartelkanaal bij Beerdam en Rozenburgsesluis, waterstand = NAP +2,5 m (DOOD-Hartelbrug = Grid G - Run 3)

De schematisatie voor deze berekening omvat het Hartelkanaal tot de Hartelbrug en de opening bij Rozenburgsesluis.

REFERENTIES

- [1] "Pharos-berekeningen ten behoeve van SEICHES-ONDERZOEK EUROPOORT";
Hoekema, J. en De Lange, P.;
Rijkswaterstaat - Dienst Getijdewateren, notitie GWAO-91.10084; augustus
1991
- [2] "Trisula berekeningen seiches Europoort"
Kernkamp, H.,
Waterloopkundig Laboratorium, rapport Z434-70, oktober 1991
- [3] Stormvloedkering Nieuwe Waterweg; seichesberekeningen,
eerste fase: het effect van een kering op lange golven in het Rijnmondgebied
Veldman, J.J., WL (Waterloopkundig Laboratorium), rapport H688 deel 1,
augustus 1988
- [4] Stormvloedkering Nieuwe Waterweg; seichesberekeningen,
tweede fase: maatregelen ter reductie van seiches in het Rijnmondgebied
Veldman, J.J., WL (Waterloopkundig Laboratorium), rapport H688 deel 2, maart
1991

Splitsingsdam (wst 1,5 m boven kruin)

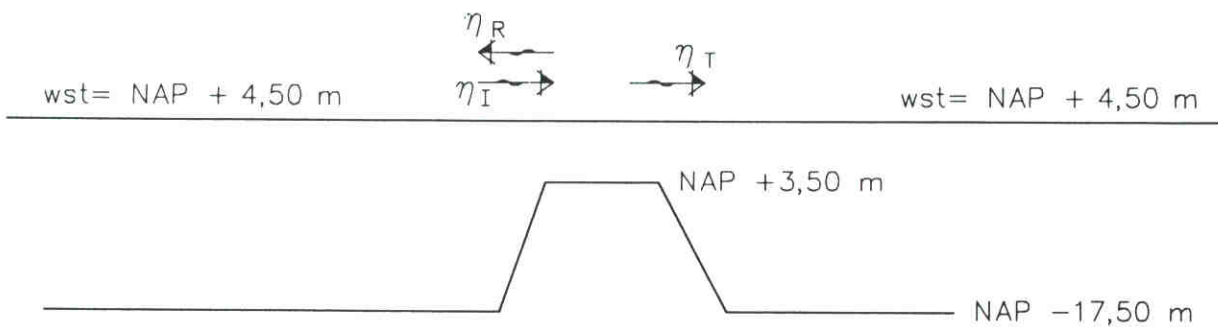


Golfamplitude η_I [m]	0,075	0,15	0,3	0,6
Reflectie η_R/η_I	0,125	0,211	0,341	0,526
Transmissie η_T/η_I	0,878	0,794	0,675	0,528

In de PHAROS-berekeningen (grid-run) A1, A2, B1, C1, D1, E2, F1, G1 bedraagt de reflectie: R = 30% en de transmissie T = 70%.

Tabel 4.1a Reflectie/Transmissie Splitsingsdam, wst 1,5 m boven kruin

Splitsingsdam (wst 1,0 m boven kruin)

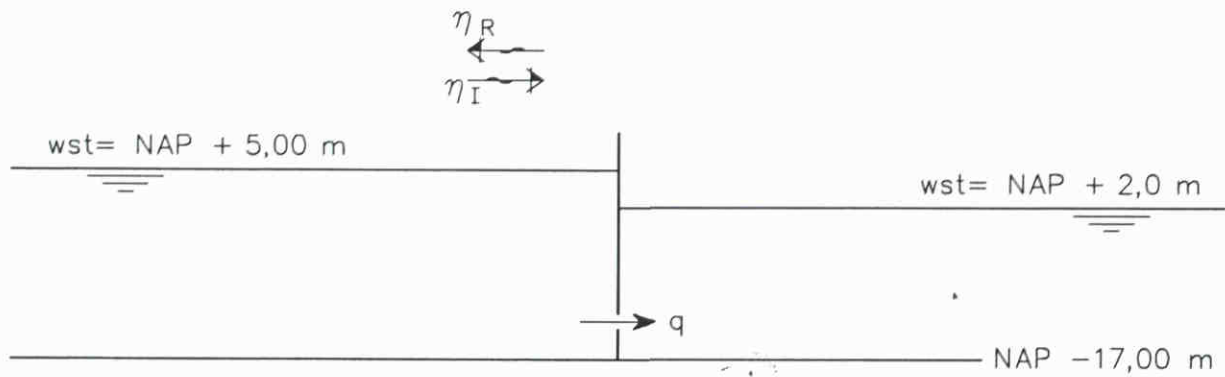


Golfamplitude η_I [m]	0,075	0,15	0,3	0,6
Reflectie η_R/η_I	0,222	0,344	0,512	0,659
Transmissie η_T/η_I	0,783	0,666	0,521	0,404

In de PHAROS-berekeningen (grid-run) E1, E3W bedraagt de reflectie: $R = 40\%$ en de transmissie $T = 60\%$.

Tabel 4.1b Reflectie/Transmissie Splitsingdam, wst 1,0 m boven kruin

Kering Nieuwe Waterweg ($A = 100 \text{ m}^2$, $\mu = 0,87$, breedte = 427,25 m)

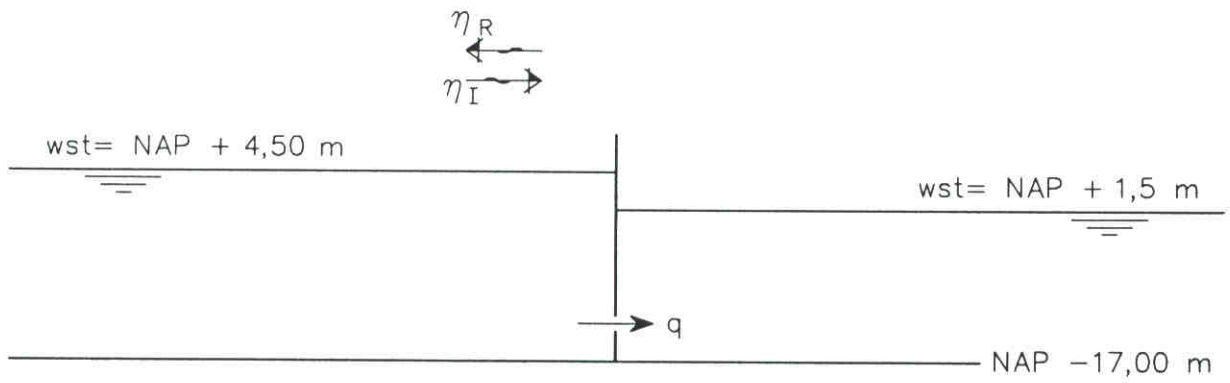


Golfamplitude η_I [m]	0,075	0,15	0,3	0,6
Reflectie η_R/η_I	0,966	0,967	0,967	0,969

In de PHAROS-berekeningen (grid-run) A2, B1, C1, D1, E2, F1, G1 bedraagt de reflectie coëfficiënt: $R = 97\%$.

Tabel 4.2a Reflectie Kering Nieuwe Waterweg bij wst - NAP +5,00 m

Kering Nieuwe Waterweg ($A = 100 \text{ m}^2$, $\mu = 0,87$, breedte = 427,25 m)

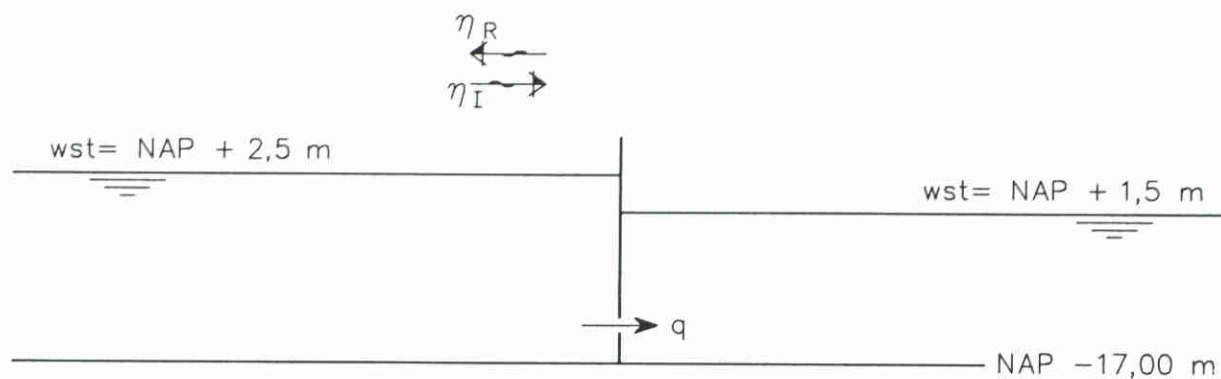


Golfamplitude η_I [m]	0,075	0,15	0,3	0,6
Reflectie η_R/η_I	0,966	0,966	0,967	0,968

In de PHAROS-berekeningen (grid-run) E1, E3W bedraagt de reflectie-coëfficiënt:
 $R = 97\%$.

Tabel 4.2b Reflectie Kering Nieuwe Waterweg bij wst = NAP +4,50 m

Kering Nieuwe Waterweg ($A = 100 \text{ m}^2$, $\mu = 0,87$, breedte = 427,25 m)

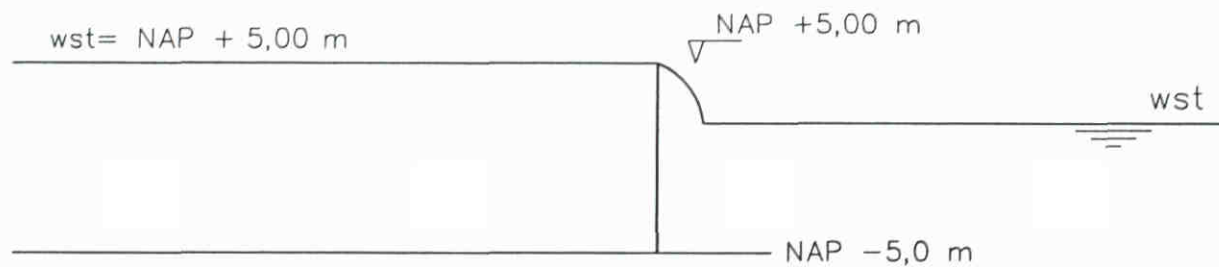


Golfamplitude η_I [m]	0,075	0,15	0,3	0,6
Reflectie η_R/η_I	0,941	0,942	0,945	0,950

In de PHAROS-berekeningen (grid-run) F2W,G2W bedraagt de reflectie-coëfficiënt:
 $R = 95\%$.

Tabel 4.2c Reflectie Kering Nieuwe Waterweg bij wst = NAP +2,5 m

Hartelkering bij Harmsenbrug (wst 0,0 m boven de kering)

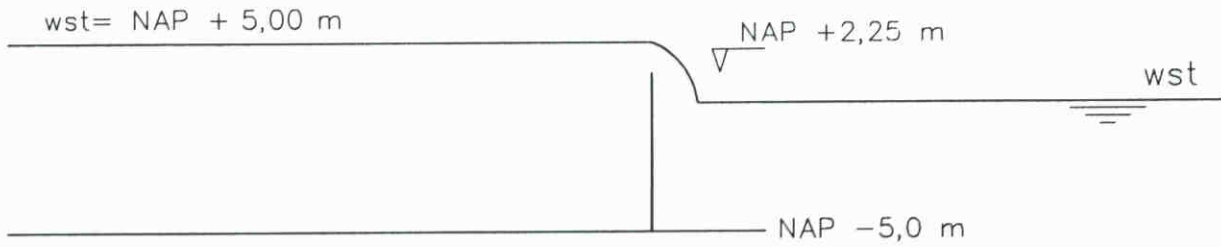


Golfamplitude η_I [m]	0,075	0,15	0,3	0,6
Reflectie η_R/η_I	0,946	0,928	0,906	0,883

In de PHAROS-berekeningen (grid-run) D1 bedraagt de reflectie-coëfficiënt:
 $R = 93\%$.

Tabel 4.3a Reflectie Hartelkering bij Harmsenbrug, wst 0,0 m boven bovenkant kering

Hartelkering bij Geervliet (wst 2,75 m boven de kering)

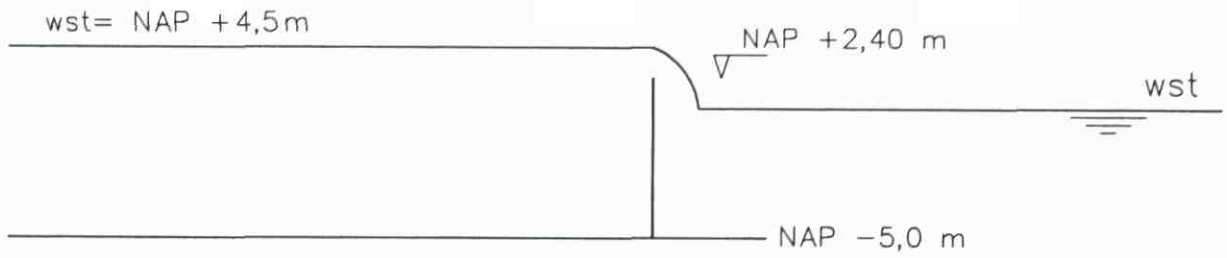


Golfamplitude η_I [m]	0,075	0,15	0,3	0,6
Reflectie η_R/η_I	0,386	0,386	0,387	0,391

In de PHAROS-berekeningen (grid-run) E2 bedraagt de reflectie-coëfficiënt:
 $R = 40\%$.

Tabel 4.3b Reflectie Hartelkering bij Geervliet, wst 2,75 m boven bovenkant kering

Hartelkering bij Geervliet (wst 2,10 m boven de kering)

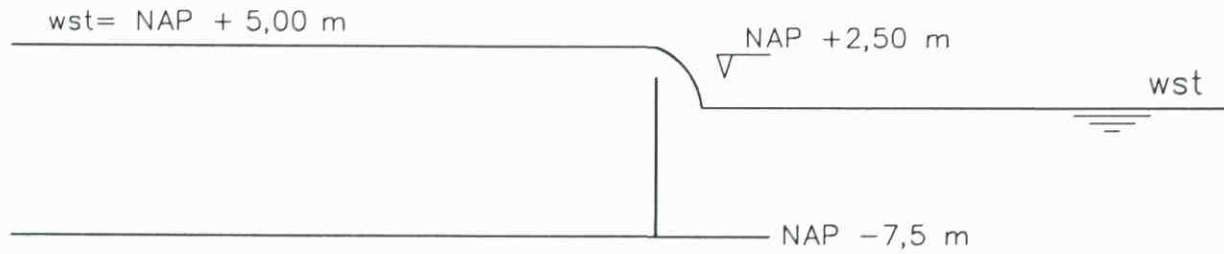


Golfamplitude η_I [m]	0,075	0,15	0,3	0,6
Reflectie η_R/η_I	0,436	0,437	0,438	0,444

In de PHAROS-berekeningen (grid-run) E1, E3W bedraagt de reflectie-coëfficiënt:
 $R = 45\%$.

Tabel 4.3c Reflectie Hartelkering bij Geervliet, wst 2,10 m boven bovenkant kering

Hartelkering bij Hartelbrug (wst 2,50 m boven de kering)

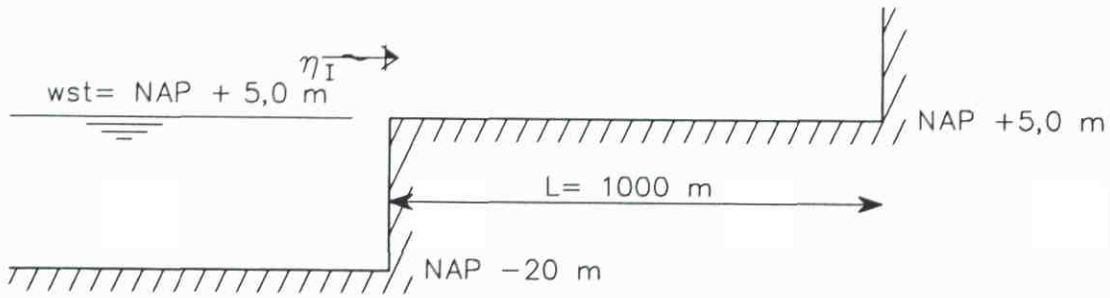


Golfamplitude η_I [m]	0,075	0,15	0,3	0,6
Reflectie η_R/η_I	0,436	0,437	0,438	0,444

In de PHAROS-berekeningen (grid-run) Fl, Gl bedraagt de reflectie-coëfficiënt:
 $R = 45\%$.

Tabel 4.3d Reflectie Hartelkering bij Hartelbrug, wst 2,50 m boven bovenkant kering

Maasvlakte



- Golf: - amplitude $\eta_I = 0,15$ m
 - periode $T = 20 * 60$ sec
 Kade: - lengte $L = 1000$ m
 - ruwheid $k_N = 0,001$ m

Effect op reflectie:

Waterstand:	NAP + [m]	4,85	5,00	5,15
	η_R/η_I	0,992	0,959	0,907

Amplitude:	η_I [m]	0,075	0,15	0,30
	η_R/η_I	0,978	0,959	0,933

Periode:	T [s]	10*60	20*60	60*60
	η_R/η_I	0,958	0,959	0,966

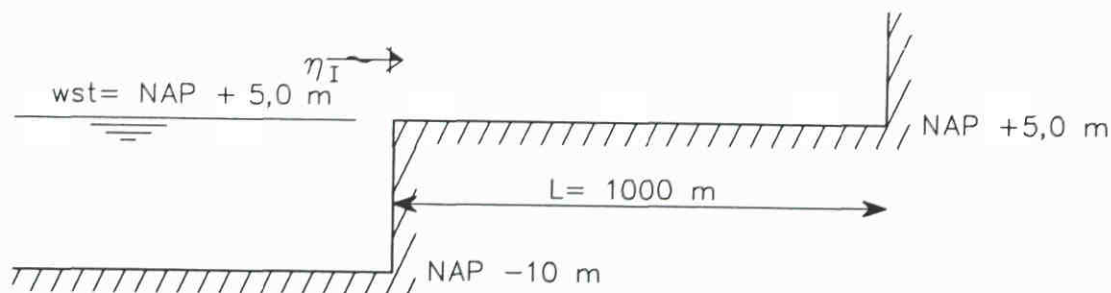
Lengte:	L [m]	500	1000	2000
	η_R/η_I	0,956	0,959	0,967

Ruwheid:	k_N [m]	0,01	0,001	0,0001
	η_R/η_I	0,967	0,959	0,953

In de PHAROS-berekeningen (grid-run) A1, A2, B1, C1, D1, E2, F1, G1 bedraagt de reflectie-coëfficiënt: $R = 95\%$.

Tabel 4.4 Reflectie Maasvlakte

Beneluxhaven



- Golf: - amplitude $\eta_I = 0,15$ m
 - periode $T = 20 * 60$ sec
- Kade: - lengte $L = 1000$ m
 - ruwheid $k_N = 0,001$ m

Effect op reflectie:

Waterstand:	NAP + [m]	4,85	5,00	5,15
	η_R/η_I	0,989	0,948	0,882

Amplitude:	η_I [m]	0,075	0,15	0,30
	η_R/η_I	0,972	0,948	0,917

Periode:	T [s]	10*60	20x60	60*60
	η_R/η_I	0,947	0,948	0,956

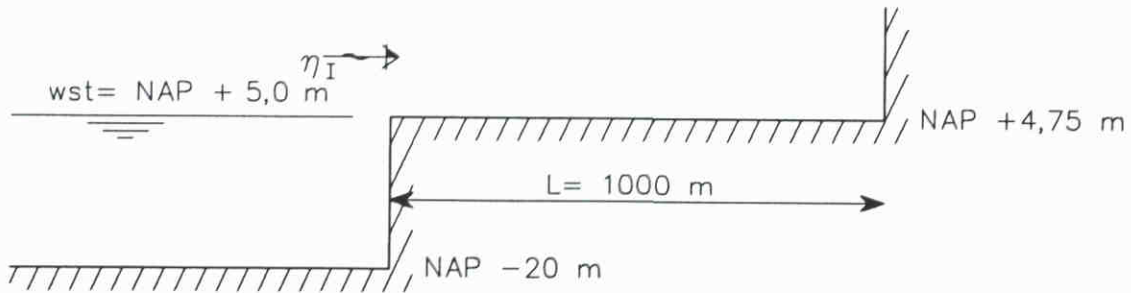
Lengte:	L [m]	500	1000	2000
	η_R/η_I	0,944	0,948	0,958

Ruwheid:	k_N [m]	0,01	0,001	0,0001
	η_R/η_I	0,958	0,948	0,941

In de PHAROS-berekeningen (grid-run) A1, A2, B1, C1, D1, E2, F1, G1 bedraagt de reflectie-coëfficiënt: $R = 93\%$.

Tabel 4.5 Reflectie Beneluxhaven

7° Petroleumhaven



- Golf: - amplitude $\eta_I = 0,15$ m
 - periode $T = 20 * 60$ sec
 Kade: - lengte $L = 1000$ m
 - ruwheid $k_N = 0,001$ m

Effect op reflectie:

Waterstand:	NAP + [m]	4,85	5,00	5,15
	η_R/η_I	0,925	0,865	0,804

Amplitude:	η_I [m]	0,075	0,15	0,30
	η_R/η_I	0,829	0,865	0,875

Periode:	T [s]	10*60	20x60	60*60
	η_R/η_I	0,851	0,865	0,929

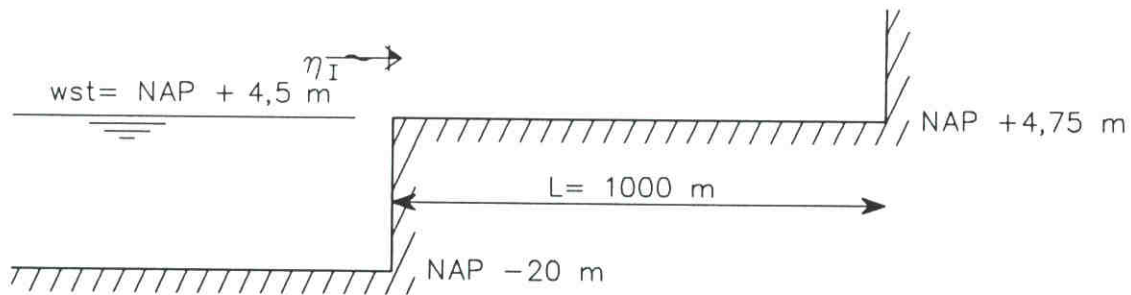
Lengte:	L [m]	500	1000	2000
	η_R/η_I	0,897	0,865	0,875

Ruwheid:	k_N [m]	0,01	0,001	0,0001
	η_R/η_I	0,881	0,865	0,854

In de PHAROS-berekeningen (grid-run) A1, A2, B1, C1, D1, E2, F1, G1 bedraagt de reflectie-coëfficiënt: $R = 85\%$.

Tabel 4.6a Reflectie 7° Petroleumhaven

7° Petroleumhaven



- Golf: - amplitude $\eta_I = 0,15$ m
 - periode $T = 20 * 60$ sec
 Kade: - lengte $L = 1000$ m
 - ruwheid $k_N = 0,001$ m

Effect op reflectie:

Waterstand:	NAP + [m]	4,85	5,00	5,15
	η_R/η_I	1,000	0,999	0,983

Amplitude:	η_I [m]	0,075	0,15	0,30
	η_R/η_I	1,000	0,999	0,978

Periode:	T [s]	10*60	20*60	60*60
	η_R/η_I	0,999	0,999	0,999

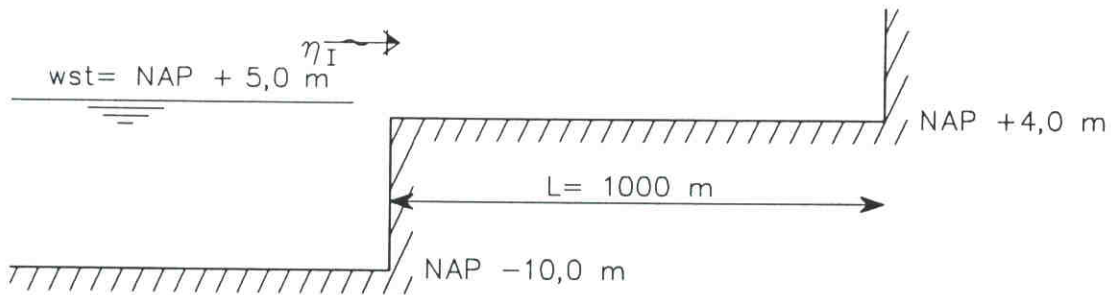
Lengte:	L [m]	500	1000	2000
	η_R/η_I	0,999	0,999	1,000

Ruwheid:	k_N [m]	0,01	0,001	0,0001
	η_R/η_I	1,000	0,999	0,999

In de PHAROS-berekeningen (grid-run) E1, E3W bedraagt de reflectie-coëfficiënt:
 $R = 99\%$.

Tabel 4.6b Reflectie 7° Petroleumhaven bij wst = NAP +4,50 m

Brittanniëhaven (noordoever)



- Golf: - amplitude $\eta_I = 0,15$ m
 - periode $T = 20 * 60$ sec
 Kade: - lengte $L = 1000$ m
 - ruwheid $k_N = 0,001$ m

Effect op reflectie:

Waterstand:	NAP + [m]	4,85	5,00	5,15
	η_R/η_I	0,728	0,781	0,828

Amplitude:	η_I [m]	0,075	0,15	0,30
	η_R/η_I	0,864	0,781	0,727

Periode:	T [s]	10*60	20x60	60*60
	η_R/η_I	0,502	0,781	0,983

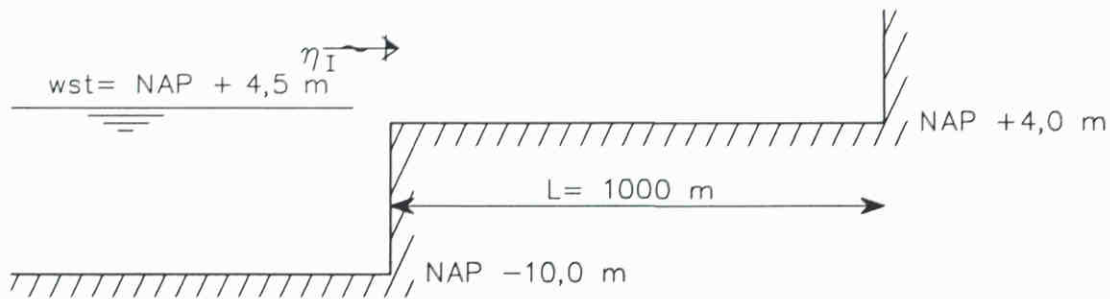
Lengte:	L [m]	500	1000	2000
	η_R/η_I	0,965	0,781	0,467

Ruwheid:	k_N [m]	0,01	0,001	0,0001
	η_R/η_I	0,812	0,781	0,736

In de PHAROS-berekeningen (grid-run) A1, A2, B1, C1, D1, E2, F1, G1 bedraagt de reflectie-coëfficiënt: $R = 80\%$.

Tabel 4.7a Reflectie Brittanniëhaven noordoever

Brittanniëhaven (noordoever)



- Golf: - amplitude $\eta_I = 0,15 \text{ m}$
 - periode $T = 20 * 60 \text{ sec}$
 Kade: - lengte $L = 1000 \text{ m}$
 - ruwheid $k_N = 0,001 \text{ m}$

Effect op reflectie:

Waterstand:	NAP + [m]	4,35	4,50	4,65
	η_R/η_I	0,772	0,711	0,689

Amplitude:	η_I [m]	0,075	0,15	0,30
	η_R/η_I	0,667	0,711	0,772

Periode:	T [s]	10*60	20x60	60*60
	η_R/η_I	0,634	0,711	0,920

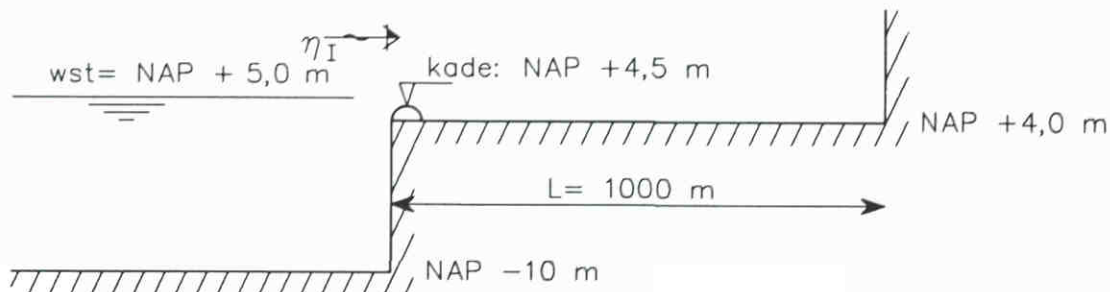
Lengte:	L [m]	500	1000	2000
	η_R/η_I	0,865	0,711	0,675

Ruwheid:	k_N [m]	0,01	0,001	0,0001
	η_R/η_I	0,707	0,711	0,724

In de PHAROS-berekeningen (grid-run) E1, E3W bedraagt de reflectie-coëfficiënt:
 $R = 80\%$.

Tabel 4.7b Reflectie Brittanniëhaven noordoever, bij wst = NAP +4,5 m

Brittanniëhaven (zuidoever)



- Golf: - amplitude $\eta_I = 0,15$ m
 - periode $T = 20 * 60$ sec
 Kade: - lengte $L = 1000$ m
 - ruwheid $k_N = 0,001$ m

Effect op reflectie:

Waterstand:	NAP + [m]	4,85	5,00	5,15
	η_R/η_I	0,749	0,717	0,730

Amplitude:	η_I [m]	0,075	0,15	0,30
	η_R/η_I	0,763	0,717	0,764

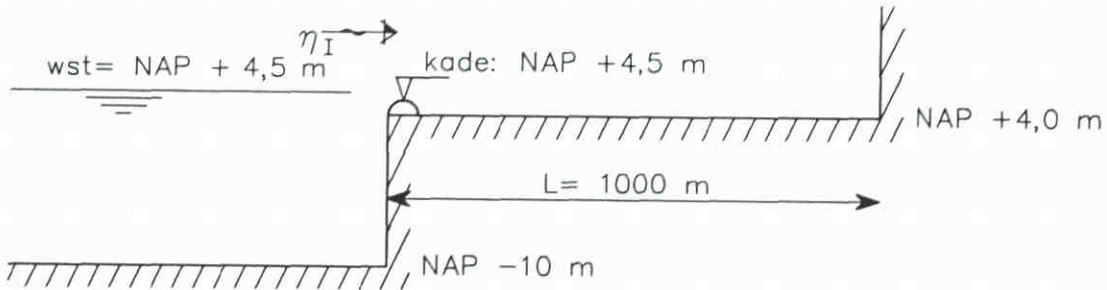
Periode:	T [s]	10*60	20*60	60*60
	η_R/η_I	0,591	0,717	0,956

Lengte:	L [m]	500	1000	2000
	η_R/η_I	0,900	0,717	0,597

In de PHAROS-berekeningen (grid-run) A1, A2, B1, C1, D1, E2, F1, G1 bedraagt de reflectie-coëfficiënt: $R = 80\%$.

Tabel 4.8a Reflectie Brittanniëhaven zuidoever

Brittanniëhaven (zuidoever)



- Golf: - amplitude $\eta_I = 0,15$ m
 - periode $T = 20 * 60$ sec
 Kade: - lengte $L = 1000$ m
 - ruwheid $k_N = 0,001$ m

Effect op reflectie:

Waterstand:	NAP + [m]	4,85	5,00	5,15
	η_R/η_I	0,978	0,922	0,849

Amplitude:	η_I [m]	0,075	0,15	0,30
	η_R/η_I	0,946	0,922	0,896

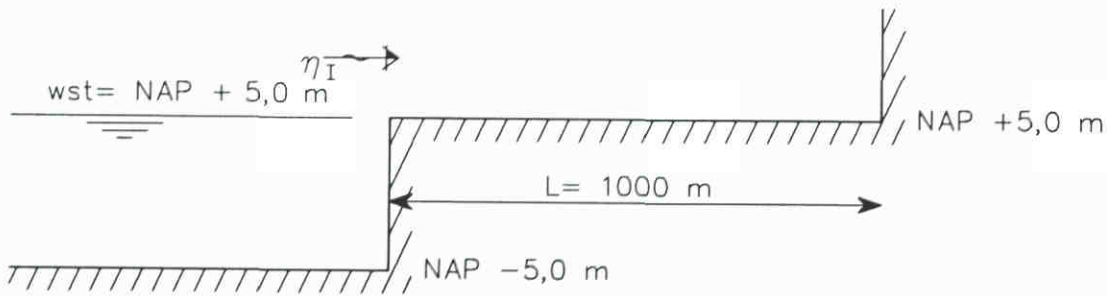
Periode:	T [s]	10*60	20x60	60*60
	η_R/η_I	0,920	0,922	0,946

Lengte:	L [m]	500	1000	2000
	η_R/η_I	0,929	0,922	0,925

In de PHAROS-berekeningen (grid-run) E1, E3W bedraagt de reflectie-coëfficiënt:
 $R = 93\%$.

Tabel 4.8b Reflectie Brittanniëhaven zuidoever, bij wst = NAP 4,5 m

Hartelhaven/Dintelhaven/Hartelkanaal



- Golf: - amplitude $\eta_I = 0,15$ m
 - periode $T = 20 * 60$ sec
 Kade: - lengte $L = 1000$ m
 - ruwheid $k_N = 0,001$ m

Effect op reflectie:

Waterstand:	NAP + [m]	4,85	5,00	5,15
	η_R/η_I	0,987	0,938	0,860

Amplitude:	η_I [m]	0,075	0,15	0,30
	η_R/η_I	0,966	0,938	0,901

Periode:	T [s]	10*60	20*60	60*60
	η_R/η_I	0,937	0,938	0,947

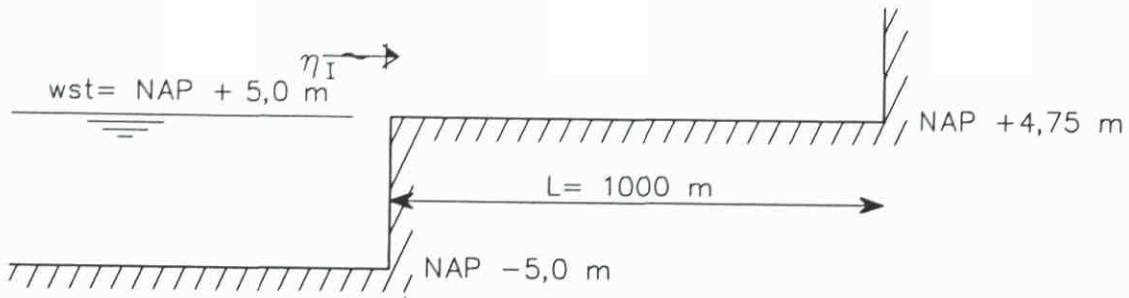
Lengte:	L [m]	500	1000	2000
	η_R/η_I	0,933	0,938	0,950

Ruwheid:	k_N [m]	0,01	0,001	0,0001
	η_R/η_I	0,950	0,938	0,929

In de PHAROS-berekeningen (grid-run) B1, C1, D1, E2, F1, G1 bedraagt de reflectie-coëfficiënt: $R = 90\%$.

Tabel 4.9 Reflectie Hartelhaven/Dintelhaven/Hartelkanaal

Kuwaitsteiger



- Golf: - amplitude $\eta_I = 0,15 \text{ m}$
 - periode $T = 20 * 60 \text{ sec}$
 Kade: - lengte $L = 1000 \text{ m}$
 - ruwheid $k_N = 0,001 \text{ m}$

Effect op reflectie:

Waterstand:	NAP + [m]	4,85	5,00	5,15
	η_R/η_I	0,887	0,796	0,708

Amplitude:	η_I [m]	0,075	0,15	0,30
	η_R/η_I	0,740	0,796	0,816

Periode:	T [s]	10*60	20*60	60*60
	η_R/η_I	0,777	0,796	0,891

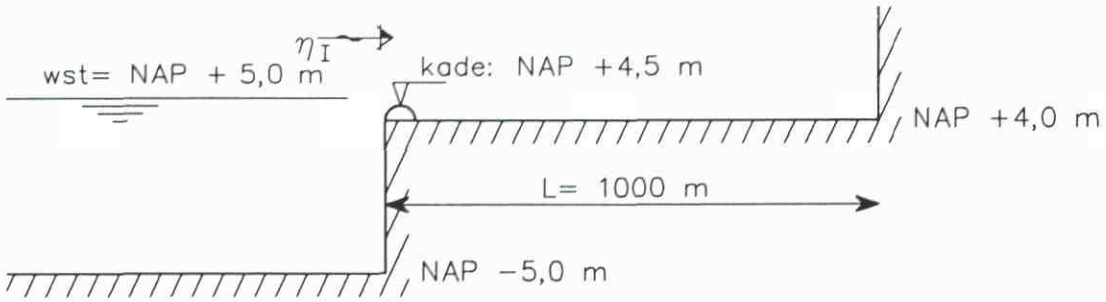
Lengte:	L [m]	500	1000	2000
	η_R/η_I	0,843	0,796	0,811

Ruwheid:	k_N [m]	0,01	0,001	0,0001
	η_R/η_I	0,819	0,796	0,782

In de PHAROS-berekeningen (grid-run) B1, C1, D1, F1, G1 bedraagt de reflectie-coëfficiënt: $R = 80\%$.

Tabel 4.10 Reflectie bij Kuwaitsteiger

Seinehaven (noordoever)



- Golf: - amplitude $\eta_I = 0,15$ m
 - periode $T = 20 * 60$ sec
 Kade: - lengte $L = 1000$ m
 - ruwheid $k_N = 0,001$ m

Effect op reflectie:

Waterstand:	NAP + [m]	4,85	5,00	5,15
	η_R/η_I	0,702	0,672	0,696

Amplitude:	η_I [m]	0,075	0,15	0,30
	η_R/η_I	0,741	0,672	0,722

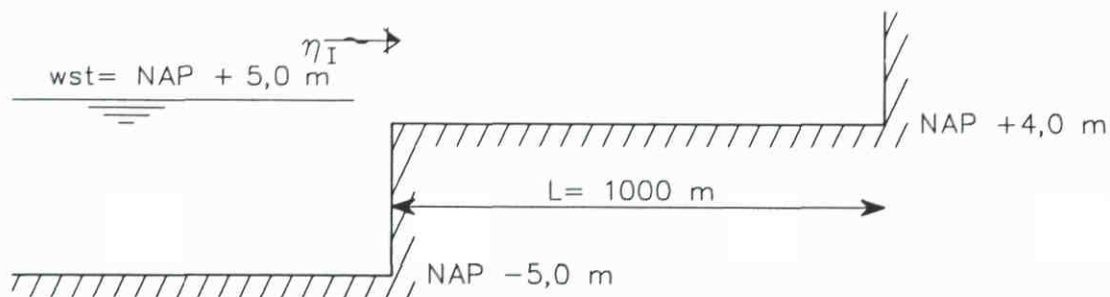
Periode:	T [s]	10*60	20x60	60*60
	η_R/η_I	0,521	0,672	0,947

Lengte:	L [m]	500	1000	2000
	η_R/η_I	0,882	0,672	0,528

In de PHAROS-berekeningen (grid-run) B1, C1, F1, G1 bedraagt de reflectie-coëfficiënt: $R = 75\%$.

Tabel 4.11 Reflectie Seinehaven noordoever

Seinehaven (zuidoever)



- Golf: - amplitude $\eta_I = 0,15$ m
 - periode $T = 20 * 60$ sec
 Kade: - lengte $L = 1000$ m
 - ruwheid $k_N = 0,001$ m

Effect op reflectie:

Waterstand:	NAP + [m]	4,85	5,00	5,15
	η_R/η_I	0,696	0,759	0,812

Amplitude:	η_I [m]	0,075	0,15	0,30
	η_R/η_I	0,850	0,759	0,696

Periode:	T [s]	10*60	20*60	60*60
	η_R/η_I	0,481	0,759	0,980

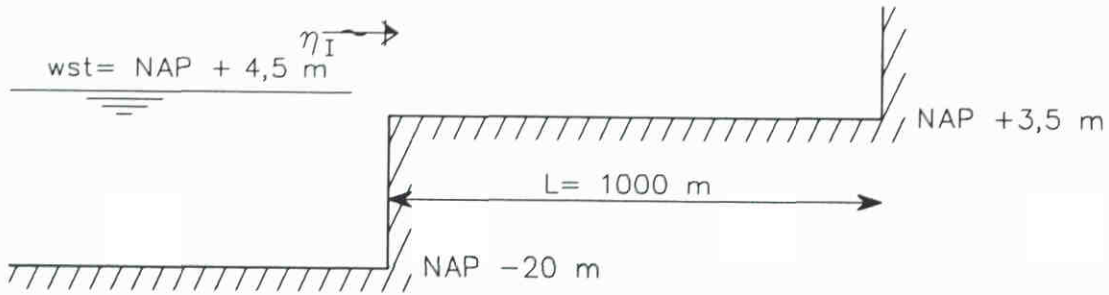
Lengte:	L [m]	500	1000	2000
	η_R/η_I	0,958	0,759	0,421

Ruwheid:	k_N [m]	0,01	0,001	0,0001
	η_R/η_I	0,706	0,759	0,794

In de PHAROS-berekeningen (grid-run) B1, C1, F1, G1 bedraagt de reflectie-coëfficiënt: $R = 75\%$.

Tabel 4.12 Reflectie Seinehaven zuidoever

Mississippihaven (zuidoever)



- Golf: - amplitude $\eta_I = 0,15$ m
 - periode $T = 20 * 60$ sec
 Kade: - lengte $L = 1000$ m
 - ruwheid $k_N = 0,001$ m

Effect op reflectie:

Waterstand:	NAP + [m]	4,35	4,50	4,65
	η_R/η_I	0,769	0,813	0,851

Amplitude:	η_I [m]	0,075	0,15	0,30
	η_R/η_I	0,882	0,813	0,773

Periode:	T [s]	10*60	20x60	60*60
	η_R/η_I	0,556	0,813	0,987

Lengte:	L [m]	500	1000	2000
	η_R/η_I	0,971	0,813	0,540

Ruwheid:	k_N [m]	0,01	0,001	0,0001
	η_R/η_I	0,776	0,813	0,837

In de PHAROS-berekeningen (grid-run) E3W bedraagt de reflectie-coëfficiënt:
 $R = 80\%$.

Tabel 4.13 Reflectie Mississippihaven, verlaagde zuidoever

SEICHES - EUROPOORTKERING		Grid-run	A-1	A-2	B-1	E-1	E-2	E-3W	C-1	D-1	F-1	F-2W	G-1	G-2W	F-3W	G-3W
gewogen amplificatie:		Kering-NW O/D	-	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
		Beerdam O/D	D	D	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
		Rozb.sl. O/D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
		Hartelk. O/D	-	-	D(Geer)	D(Geer)	D(Geer)	D(Geer)	D(Geer)	D(Harm)	D(Hart)	D(Hart)	D(Hart)	D(Hart)	O(Hart)	O(Hart)
$A_{wg} = \sqrt{(\sum_{i=1}^n A_i^2)/n}$			5.0	5.0	5.0	4.5	5.0	4.5	5.0	5.0	5.0	2.5	5.0	2.5	2.5	2.5
$f \leq 0,00170 \text{ Hz } (T > 10 \text{ min})$		wst (NAP+ m) bodembrijving (k_N in m)				0,01		0,01						0,01	0,01	0,01
Positie Locatie			A_{wg}	A_{wg}	A_{wg}	A_{wg}	A_{wg}	A_{wg}	A_{wg}	A_{wg}	A_{wg}	A_{wg}	A_{wg}	A_{wg}	A_{wg}	A_{wg}
1.	Europahaven		.926	.929	.927	1.452	.930	1.254	.894	.927	.931	1.659	.890	1.530	1.338	1.085
3.	Mississippihaven (oost)		.731	.770	.720	1.016	.722	.928	.694	.729	.724	1.262	.688	1.224	1.062	.917
4.	Mississippihaven (west)		1.080	1.063	.853	1.478	.853	1.173	.816	.855	.855	1.578	.813	1.454	1.393	1.062
7.	Beneluxhaven		.893	1.008	.863	1.132	.863	1.105	.846	.859	.863	1.535	.847	1.468	1.184	1.091
11.	Rozenburgsluis (noord)		1.067	1.212	1.134	1.778	1.133	1.668	.729	1.133	1.133	2.237	.665	1.613	1.991	1.111
12.	Brittannihaven		1.140	1.281	1.196	1.877	1.196	1.761	.773	1.196	1.195	2.413	.720	1.803	2.143	1.235
13.	Maasmond		.917	.926	.923	.936	.923	.934	.922	.923	.923	.952	.922	.953	.935	.931
18.	SVK Nieuwe Waterweg (km 1026,5)		.552	1.108	1.112	1.369	1.112	1.296	1.155	1.116	1.113	1.665	1.131	1.604	.910	.859
19.	Amazonehaven		.730	.754	.704	.977	.705	.905	.675	.703	.706	1.151	.670	1.100	.965	.805
21.	Hartelhaven		-	-	1.083	2.073	1.088	1.589	1.050	1.100	1.090	2.510	1.045	2.367	2.113	1.727
25.	Dintelhaven		-	-	.546	1.077	.573	.982	.974	.805	.555	1.774	.941	2.302	.932	2.009
27.	Kuwaitsteiger		-	-	.449	.896	.491	.823	.794	.752	.451	1.194	.747	1.746	.643	1.325
29.	(Hartelkering -) Harmsenbrug		-	-	.463	1.013	.549	.946	.873	.903	.418	1.211	.796	1.917	.617	1.330
31.	Seinehaven		-	-	.522	1.148	.583	1.075	.860	-	.379	1.701	.659	1.973	.714	1.233
32.	(Hartelkering -) Geervliet		-	-	.647	1.194	.585	1.112	.993	-	.405	2.218	.671	2.589	.660	1.141
33.	Hartelkering - Hartelbrug		-	-	-	-	-	-	-	-	.377	2.197	.765	3.471	.616	1.142

Tabel 5.1 Gewogen amplificatie-factor ($T > 10 \text{ min}$)

SEICHES - EUROPOORTKERING		Grid-run	A-1	A-2	B-1	E-1	E-2	E-3W	C-1	D-1	F-1	F-2W	G-1	G-2W	F-3W	G-3W
gewogen amplificatie:		Kering-NW O/D	-	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	O	O
		Beerdam O/D	D	D	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
		Rozb.sl. O/D	D	D	D	D	D	D	D	-	D	D	O	O	D	O
		Hartelk. O/D	-	-	D(Geer)	D(Geer)	D(Geer)	D(Geer)	D(Geer)	D(Harm)	D(Hart)	D(Hart)	D(Hart)	D(Hart)	O(Hart)	O(Hart)
$A_{wg} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n A_i^2 \right) / n}$			5.0	5.0	5.0	4.5	5.0	4.5	5.0	5.0	5.0	2.5	5.0	2.5	2.5	2.5
$f \leq 0,00043 \text{ Hz (T > 40 min)}$		wst (NAP+ m) bodemwrijving (k _N in m)						0,01				0,01		0,01	0,01	0,01
Positie Locatie			A _{wg}	A _{wg}	A _{wg}	A _{wg}	A _{wg}	A _{wg}	A _{wg}	A _{wg}	A _{wg}	A _{wg}	A _{wg}	A _{wg}	A _{wg}	A _{wg}
1.	Europahaven		1.194	1.316	1.207	1.712	1.207	1.571	1.183	1.141	1.209	2.015	1.157	1.910	1.782	1.370
3.	Mississippihaven (oost)		1.150	1.271	1.168	1.654	1.167	1.518	1.139	1.202	1.170	1.969	1.111	1.873	1.729	1.334
4.	Mississippihaven (west)		1.195	1.317	1.288	1.882	1.287	1.708	1.247	1.161	1.291	2.240	1.214	2.121	1.991	1.496
7.	Beneluxhaven		.967	1.152	1.087	1.449	1.086	1.410	1.039	.969	1.085	1.670	1.051	1.565	1.382	1.147
11.	Rozenburgsluis (noord)		1.824	2.206	2.051	3.232	2.050	3.080	1.334	1.418	2.048	3.905	1.166	2.770	3.306	1.995
12.	Brittanniëhaven		1.852	2.240	2.081	3.288	2.081	3.131	1.345	2.047	2.079	3.978	1.180	2.802	3.368	2.023
13.	Maasmond		.820	.825	.820	.837	.820	.834	.815	1.432	.820	.859	.816	.857	.836	.817
18.	SVK Nieuwe Waterweg (km 1026,5)		.824	1.141	1.062	1.370	1.061	1.312	1.078	.982	1.061	1.579	1.068	1.528	1.183	1.026
19.	Amazonehaven		1.125	1.244	1.148	1.606	1.147	1.480	1.125	.819	1.150	1.890	1.102	1.796	1.661	1.292
21.	Hartelhaven		-	-	1.352	2.006	1.351	1.812	1.303	1.346	1.354	2.410	1.266	2.279	2.155	1.599
25.	Dintelhaven		-	-	.977	1.633	1.017	1.534	1.905	1.565	1.022	3.242	1.837	4.309	1.646	3.814
27.	Kuwaitsteiger		-	-	.747	1.240	.801	1.193	1.458	1.348	.749	2.039	1.351	3.264	1.053	2.553
29.	(Hartelkering -) Harmsenbrug		-	-	.775	1.614	.880	1.545	1.370	1.055	.609	1.952	1.199	2.905	1.034	2.000
31.	Seinehaven		-	-	.871	1.907	.993	1.825	1.620	-	.625	2.668	1.200	3.362	1.135	2.271
32.	(Hartelkering -) Geervliet		-	-	.887	1.939	1.006	1.855	1.723	-	.648	3.112	1.272	5.024	1.115	2.095
33.	Hartelkering - Hartelbrug		-	-	-	-	-	-	-	-	.676	3.439	1.447	6.657	1.137	2.182

Tabel 5.2 Gewogen amplificatie-factor (T > 40 min)

APPENDIX A

Reflectie en transmissie van lange golven

REFLECTIE EN TRANSMISSIE VAN LANGE GOLVEN

1. Inleiding

De respons van een haven op lange golven (c.q. seiches), wordt behalve door de geometrie van de haven, voornamelijk bepaald door de reflectie en transmissie ter plaatse van de randen van het basin.

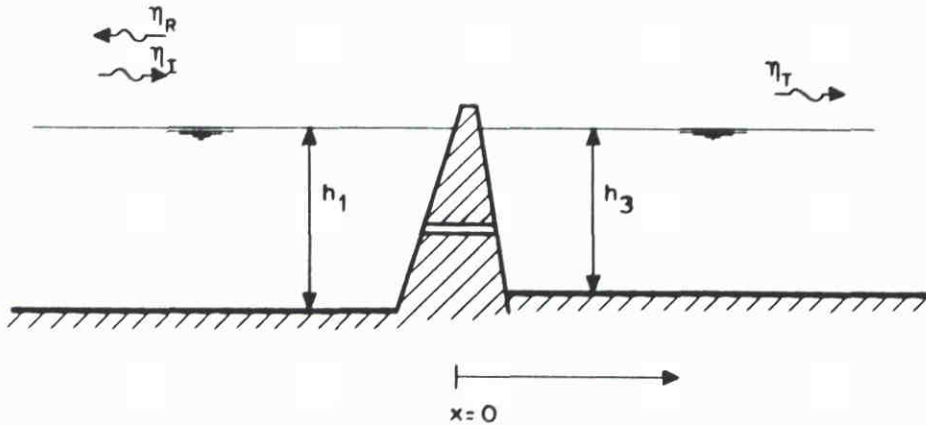
Voor de berekening van de havenrespons op seiches is de bepaling van de juiste reflectie- en transmissie-coëfficiënten dan ook essentieel. Wanneer we denken aan kadeconstructies rond havens kunnen we onderscheid maken tussen dichte en doorlatende (of overstroomde) constructies.

2. Dichte constructies

Voor dichte, niet overstroomde constructies geldt in het geval van lange golven vrijwel altijd dat de steilheid van de golf ordes kleiner is dan de helling van het talud ter plaatse van de oeverconstructie. ($H/\lambda \ll \tan\theta$). Ter plaatse van de oeverconstructie vindt dan geen energiedissipatie plaats, en de invallende golf zal volledig ($R = 1$) gereflecteerd worden.

3. Doorlatende of overstroomde constructies

Een doorlatende of overstroomde constructie zal de inkomende golf altijd partieel reflecteren ($1 > R > 0$) en partieel doorlaten of transmitteren ($0 < T < 1$), afhankelijk van de geometrie van de constructie. Hieronder zal voor een aantal mogelijke constructievormen een afleiding gegeven worden waarmee reflectie- en transmissie-coëfficiënten voor een lineair golfmodel kunnen worden geschat. In deze afleiding wordt uitgegaan van een loodrecht op de constructie invallende golf. Deze golf wordt door de constructie deels gereflecteerd, en deels getransmitteerd. De oppervlakte-uitwijkingen van de inkomende, de gereflecteerde en de getransmitteerde lange golf veroorzaken een periodiek wisselend verval over de constructie. Afhankelijk van de geometrie van de constructie en het verval stroomt er een zeker debiet over (of door) de constructie. Hieronder zal voor een aantal mogelijke constructievormen de relatie worden afgeleid tussen de oppervlakte-uitwijking van de inkomende (η_I), van de gereflecteerde (η_R) van de getransmitteerde (η_T) golf en het debiet q over of door de constructie.



Overgang naar quasi-stationaire benadering

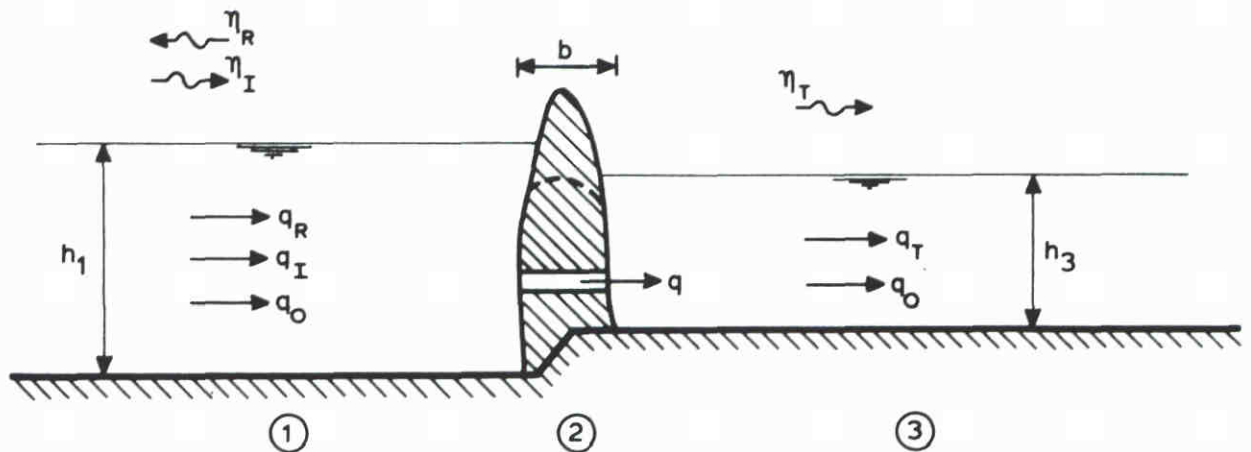
In deze afleiding wordt voor de lange golf ter plaatse van de constructie een quasi-stationaire benadering met hydrostatische drukverdeling toegepast.

Voorwaarden voor deze benadering zijn:

- de invallende golf is lang-periodiek en de oppervlakte-uitwijkingen zijn klein zodat de veranderingen in de tijd klein zijn ($d\eta/dt \approx 0$),
- de waterdiepte is klein ten opzichte van de golflengte ($h/\eta \ll 1$),
- de constructiebreedte is klein ten opzichte van de golflengte ($b/\eta \ll 1$).

Onder deze voorwaarde kan voor elke willekeurige oppervlakte-uitwijking (η_I) van de inkomende golf, de reflectie en de transmissie bepaald worden voor diverse constructievormen.

Er wordt nu eerst een aantal relaties tussen het debiet (q) ter plaatse van de constructies en de oppervlakte-uitwijkingen η_I , η_R en η_t afgeleid die algemeen gelden. Verderop worden relaties voor specifieke constructies afgeleid.



Uit oogpunt van continuïteit ter plaatse van de constructie kan gesteld worden dat het debiet door, of over de constructie gelijk is aan:

$$q = q_O + q_I + q_R = q_O + q_T \quad (\text{A.1})$$

waarin:

q = debiet door de constructie

q_O = het (gegeven) debiet door de constructie zonder oppervlakteverstoringsen

q_I = het (gegeven) debiet bij inkomende verstoring

q_R = debiet bij gereflecteerde verstoring

q_T = debiet bij getransmitteerde verstoring

Als translatiegolf benaderd bedragen de debieten q_R en q_T :

$$q_R = -\eta_R \cdot \sqrt{g(h_1 + \eta_I)} \quad (\text{A.2})$$

$$q_T = \eta_T \cdot \sqrt{gh_3} \quad (\text{A.3})$$

waarin:

η_I = de (gegeven) oppervlakte-uitwijking van de inkomende golf

η_R = oppervlakte-uitwijking van de gereflecteerde golf

η_T = oppervlakte-uitwijking van de getransmitteerde golf

h_1 = waterdiepte ter plaatse van (1)

h_3 = waterdiepte ter plaatse van (3)

Substitutie van B.2 en B.3 in B.1 levert de volgende relatie op tussen q_I , η_R en η_T :

$$q_I - \eta_R \sqrt{g(h_1 + \eta_I)} = \eta_T \cdot \sqrt{gh_3} \quad (\text{A.4})$$

In de Bijlagen 1 t/m 3 worden voor een aantal constructievormen nog twee vergelijkingen afgeleid, zodat uit bovenstaande vergelijkingen en de vergelijkingen uit een van de bijlagen η_R , η_T en q bepaald kunnen worden als functie van het debiet q_0 , de inkomende golfhoogte η_I en het bij deze inkomende golf behorende debiet q_I voor elke fase hoek van de inkomende golf.

Energiehuishouding lang-periodieke golf

Wanneer de inkomende golfhoogte (η_I) en het bijbehorende debiet (q_I), en dus ook η_R , q_R , η_T , q_T variëren in de tijd, dan blijft de bovenstaande beschouwing voor het stationaire geval geldig, indien de veranderingen in de tijd zeer klein zijn ($d\eta/dt \approx 0$ en $dq/dt \approx 0$)

Er volgt dan dat η_I , q_I , η_R , q_R , η_T en q_T tijdsafhankelijk zijn:

$$\eta_I = \eta_I(t) \quad (\text{A.5})$$

$$q_I = q_I(t) \quad (\text{A.6})$$

$$\eta_R = \eta_R(t) \quad (\text{A.7})$$

$$q_R = q_R(t) \quad (\text{A.8})$$

$$\eta_T = \eta_T(t) \quad (\text{A.9})$$

$$q_T = q_T(t) \quad (\text{A.10})$$

De energiehuishouding rond de constructie wordt voor een periodieke lange golf beschreven door de energietransporten van de inkomende, de gereflecteerde en de getransmitteerde golf. De energietransporten worden bepaald door de energie-inhoud van de golf en de fasesnelheid. De totale energie in een golf wordt verondersteld gelijk te zijn aan tweemaal zijn

potentiële energie, hetgeen in een lineaire benadering het geval is. Het totale energietransport in een golfperiode (T) bedraagt dan:

$$E_{\text{tot}} = 2 E_{\text{pot}} = 2 \cdot \rho \cdot g \int_0^T \frac{1}{2} \cdot (\eta - \bar{\eta})^2 dt \cdot \sqrt{gh} \quad (\text{A.11})$$

waarin: $\bar{\eta}$ = de gemiddelde waterspiegel uitwijking volgens:

$$\bar{\eta} = \frac{1}{T} \int_0^T \eta \cdot dt \quad (\text{A.12})$$

Met (A.11) en (A.12) kunnen voor de inkomende, de gereflecteerde en de getransmitteerde golf het energietransport per periode worden bepaald.

In een lineair golfmodel (zoals PHAROS) wordt uitgegaan van een sinusvormige inkomende lange golf met een oppervlakte-uitwijking volgens:

$$\eta_I = \hat{\eta}_I \cos(\omega t) \quad (\text{A.13})$$

waarin:

$\hat{\eta}_I$ = amplitude van de oppervlakte-uitwijking van de inkomende golf

ω = hoeksnelheid van de golf

t = tijd

en een bijbehorend inkomend debiet volgens:

$$q_I = \sqrt{gh_1} \cdot \hat{\eta}_I \cdot \cos(\omega t) \quad (\text{A.14})$$

De door de inkomende golf getransporteerde energie bedraagt dan per golfperiode (A.11) en (A.12):

$$E_I = \rho \cdot g \cdot \sqrt{gh_1} \int_0^T (\eta_I - \bar{\eta}_I)^2 dt \quad (\text{A.15})$$

met:

$$\bar{\eta}_I = 0$$

Na uitwerking voor een sinusvormige periodieke golf:

$$E_I = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot \sqrt{gh_1} \cdot \hat{\eta}_I^2 \cdot T \quad (\text{A.16})$$

Evenzo bedraagt de door de gereflecteerde en eventueel vervormde golf getransporteerde energie per golfperiode:

$$E_R = \rho \cdot g \cdot \sqrt{gh_1} \int_0^T (\eta_R - \bar{\eta}_R)^2 dt \quad (\text{A.17})$$

met

$$\bar{\eta}_R = \text{volgens (A.12)}.$$

De door de getransmitteerde en eventueel vervormde golf getransporteerde energie per golfperiode:

$$E_T = \rho \cdot g \cdot \sqrt{gh_3} \int_0^T (\bar{\eta}_T - \eta_T) dt \quad (\text{A.18})$$

met:

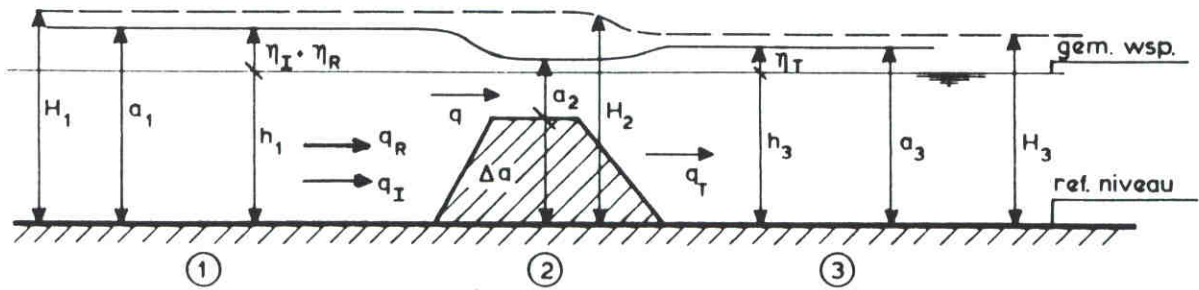
$$\bar{\eta}_T = \text{volgens (A.12)}.$$

Uit deze energietransporten volgt de verdeling van de inkomende golfenergie over de gereflecteerde en de getransmitteerde golf. In een lineair golfmodel (zoals PHAROS) wordt eenzelfde verdeling verkregen wanneer de reflectie- en transmissie coëfficiënten bepaald worden door middel van deze energie transporten:

$$\text{Reflectie: } \frac{\hat{\eta}_R}{\hat{\eta}_I} = \sqrt{\frac{E_R}{E_I}} \quad \text{Transmissie: } \frac{\hat{\eta}_T}{\hat{\eta}_I} = \sqrt{\frac{E_T}{E_I}} \cdot \sqrt{\frac{h_1}{h_3}}$$

3.1 Overlaat constructies

Dit betreft constructies waarbij de kruin op of onder de waterspiegel ligt. In deze beschouwing wordt uitgegaan van een symmetrische constructie ($h_1 = h_3$, $q = q_T$).



Voor het algemene geval wordt de stroming over de overlaat beschreven door de volgende vergelijkingen:

De energiehogte ter plaatse van de drie doorsneden (1) (2) en (3):

$$H_1 = a_1 + \frac{q^2}{2 \cdot g \cdot a_1^2} \quad (\text{A.1.1})$$

waarin:

$$a_1 = h_1 + \eta_I + \eta_R$$

$$H_2 = \Delta a + a_2 + \frac{q^2}{2 \cdot g \cdot a_2^2} \quad (\text{A.1.2})$$

$$H_3 = a_3 + \frac{q^2}{2 \cdot g \cdot a_3^2} \quad (\text{A.1.3})$$

waarin:

$$a_3 = h_3 + \eta_T$$

Er wordt verondersteld dat er geen energieverlies plaatsvindt in het versnellingsgebied tussen doorsnede (1) en (2):

$$H_1 = H_2 \quad \text{voor } \eta_I + \eta_R - \eta_T > 0 \quad (\text{A.1.4a})$$

of tussen (3) en (2):

$$H_3 = H_2 \quad \text{voor } \eta_I + \eta_R - \eta_T < 0 \quad (\text{A.1.4b})$$

We onderscheiden nu twee gevallen, de volkomen overlaat en de onvolkomen overlaat:

Volkomen overlaat

De volkomen overlaat treedt op als het waterpeil benedenstrooms lager is dan het waterpeil dat hoort bij de grensdiepte op de kruin:

$$a_3 < \frac{2}{3} \cdot (H_2 - \Delta a) + \Delta a \quad \text{voor } \eta_I + \eta_R - \eta_T > 0 \quad (\text{A.1.5a})$$

$$a_1 < \frac{2}{3} \cdot (H_2 - \Delta a) + \Delta a \quad \text{voor } \eta_I + \eta_R - \eta_T < 0 \quad (\text{A.1.5b})$$

De waterdiepte op de overlaat is dan gelijk aan de grensdiepte:

$$a_2 = \frac{2}{3} \cdot (H_2 - \Delta a) \quad (\text{A.1.6})$$

Eliminatie van H_1 , H_2 , a_1 en a_2 uit de vergelijkingen (A.1.1) t/m (A.1.3), (A.1.4a) en (A.1.6) levert de formule op voor de volkomen overlaat:

$$q = q_T = m \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3} \cdot g \cdot H^3} \quad \text{voor } \eta_I + \eta_R - \eta_t > 0 \quad (\text{A.1.7a})$$

waarin:

q = debiet over de overlaat

$m \approx 1$ = afvoercoëfficiënt, afhankelijk van de vorm van de overlaat

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$ (versnelling van de zwaartekracht)

H = energiehogte bovenstrooms t.o.v. de kruin van de overlaat

$$H = h_1 + \eta_I + \eta_R + \frac{q^2}{2 \cdot g \cdot (h_1 + \eta_I + \eta_R)^2} - \Delta a$$

en eliminatie van H_2 , H_3 , a_2 , a_3 uit (A.1.1) t/m (A.1.3), (A.1.4b) en (A.1.6):

$$q = q_T = - m \cdot \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} \cdot g \cdot H^3} \quad \text{voor } \eta_I + \eta_R - \eta_t < 0 \quad (\text{A.1.7b})$$

waarin:

$$H = h_3 + \eta_T + \frac{q^2}{2 \cdot g \cdot (h_3 + \eta_I)^2} - \Delta a$$

Samen met (A.3) en (A.4) leveren de vergelijkingen (A.1.7) de relatie tussen η_I , η_R , η_T en q voor een constructie waarbij de volkomen overlaat optreedt.

Onvolkomen overlaat

De onvolkomen overlaat treedt op als de waterspiegel benedenstrooms hoger is dan de grensdiepte op de kruin:

$$a_3 > \frac{2}{3} \cdot (H_2 - \Delta a) + \Delta a \quad \text{voor } \eta_I + \eta_R - \eta_T > 0 \quad (\text{A.1.8a})$$

$$a_1 > \frac{2}{3} \cdot (H_2 - \Delta a) + \Delta a \quad \text{voor } \eta_I + \eta_R - \eta_T < 0 \quad (\text{A.1.8b})$$

De waterspiegel op de overlaat wordt nu gelijk verondersteld aan de waterspiegel benedenstrooms:

$$h_2 = h_3 \quad \text{voor } \eta_I + \eta_R - \eta_T > 0 \quad (\text{A.1.9a})$$

$$h_2 = h_1 \quad \text{voor } \eta_I + \eta_R - \eta_T < 0 \quad (\text{A.1.9b})$$

Eliminatie van H_1 , H_2 , H_3 , a_1 , a_2 en a_3 uit de vergelijkingen (A.1.1), (A.1.2), (A.1.4) en (A.1.9) levert de formule op voor de onvolkomen overlaat:

$$q = q_T = m \cdot a \cdot \sqrt{2 \cdot g(H - a)} \quad \text{voor } \eta_I + \eta_R - \eta_t > 0 \quad (\text{A.1.10a})$$

waarin:

q = debiet over de overlaat

$m \approx 1,0$ = afvoercoëfficiënt, afhankelijk van de vorm van de overlaat

a = waterspiegel benedenstrooms t.o.v. de kruin van de overlaat

$$= h_3 + \eta_T - \Delta a$$

H = energiehoogte bovenstrooms t.o.v. de kruin van de overlaat

$$= h_1 + \eta_I + \eta_R + \frac{q^2}{2 \cdot g(h_3 + \eta_I + \eta_R)^2} - \Delta a$$

en:

$$q = q_T = -m \cdot a \cdot \sqrt{2 \cdot g(H - a)} \quad \text{voor } \eta_I + \eta_R - \eta_t > 0 \quad (\text{A.1.10b})$$

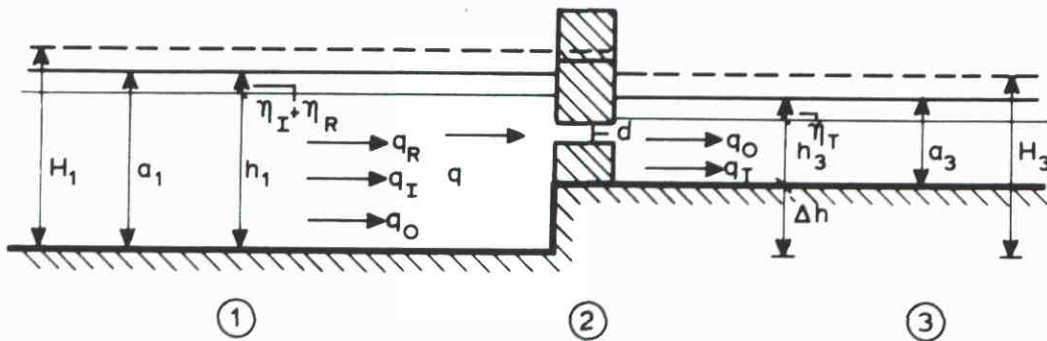
waarin:

$$a = h_1 + \eta_I + \eta_R - \Delta a$$

Samen met (A.3) en (A.4) leveren de vergelijkingen (A.1.10) de relaties op tussen η_I , η_R , η_T en q voor een constructie waarbij de onvolkomen overlaat optreedt.

3.2 Constructie met opening onder water

Dit betreft constructies waarbij er onder de waterspiegel een opening is geconstrueerd. Zowel de waterspiegel als de waterdiepte verschillen aan weerszijden van de constructie.



De energiehogte ter plaatse van de doorsneden (1) en (3):

$$H_1 = a_1 + \frac{q^2}{2 \cdot g \cdot a_1^2} \quad (\text{A.2.1})$$

waarin:

$$a_1 = h_1 + \eta_I + \eta_R$$

$$q = q_0 + q_I + q_R$$

$$H_3 = \Delta h + a_3 + \frac{q^2}{2 \cdot g \cdot a_3^2} \quad (\text{A.2.2})$$

waarin:

$$a_3 = h_3 + \eta_T$$

$$q = q_0 + q_T$$

Ter plaatse van doorsnede (2) is de snelheidshogte bij benadering gelijk aan het energiehogteverval tussen (1) en (3):

$$H_1 - H_3 = \frac{q^2}{2 \cdot g \cdot (m \cdot d)^2} \quad (\text{A.2.3})$$

waarin:

m = afvoercoëfficiënt. Afhankelijk van de contractie en de ruwheid in de opening bedraagt deze 0.5 à 1.0.

d = hoogte van de opening.

Eliminatie van H_1 , H_3 , a_1 en a_3 uit (A.2.1) t/m (A.2.3) levert:

$$q = m \cdot d \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H} \quad (\text{A.2.4})$$

waarin:

q = debiet door de opening

g = 9.81 m/s²

$$\Delta H = h_1 + \eta_I + \eta_R + \frac{q^2}{2 \cdot g \cdot (h_1 + \eta_I + \eta_R)^2} - \Delta h - h_3 - \eta_T - \frac{q^2}{2 \cdot g \cdot (h_3 + \eta_T)^2}$$

Uit continuïteit van (2) naar (3) volgt:

$$q = q_0 + q_T \quad (\text{A.2.5})$$

waarin:

$$q_0 = m \cdot d \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H_0}$$

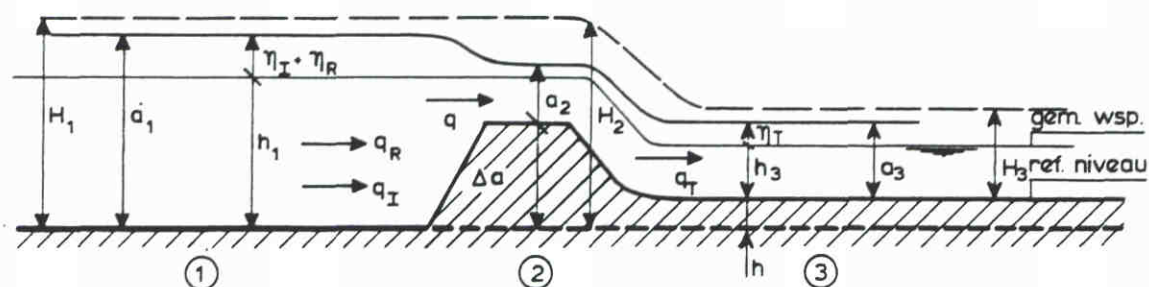
en:

$$\Delta H_0 = h_1 + \frac{q_0^2}{2 \cdot g \cdot h_1^2} - h_3 - \frac{q_0^2}{2 \cdot g \cdot h_3^2}$$

Samen met (A.3) en (A.4) leveren de vergelijkingen (A.2.4) en (A.2.5) de relatie op tussen η_I , η_R , η_T en q voor een constructie met een opening onder water.

3.3 Overstortende oevers

Dit betreft oevers waarbij de kruin van de dam (of smalle kade) onder de waterspiegel ligt. Het over de kruin stortende of stromende water stroomt naar het achtergelegen gebied waar de waterspiegel lager is dan de kruin.



Voor het algemene geval wordt de stroming over de kruin beschreven door de volgende vergelijkingen:

De energiehogte ter plaatse van de drie doorsneden (1) (2) en (3):

$$H_1 = a_1 + \frac{q^2}{2 \cdot g \cdot a_1^2} \quad (\text{A.3.1})$$

waarin:

$$a_1 = h_1 + \eta_I + \eta_R$$

$$H_2 = \Delta a + a_2 + \frac{q^2}{2 \cdot g \cdot a_2^2} \quad (\text{A.3.2})$$

$$H_3 = \Delta a + a_3 + \frac{q^2}{2 \cdot g \cdot a_3^2} \quad (\text{A.3.3})$$

waarin:

$$a_3 = h_3 + \eta_T$$

Er wordt verondersteld dat er geen energieverlies plaatsvindt in het versnellingsgebied tussen doorsnede (1) en (2):

$$H_1 = H_2 \quad (\text{A.3.4})$$

Volkomen overlaat

De volkomen overlaat treedt op als het waterpeil benedenstrooms lager is dan het waterpeil dat hoort bij de grensdiepte op de kruin:

$$a_3 < \frac{2}{3} \cdot (H_2 - \Delta a) + \Delta a - \Delta h \quad (\text{A.3.5})$$

De waterdiepte op de overlaat is dan gelijk aan de grensdiepte:

$$a_2 = \frac{2}{3} \cdot (H_2 - \Delta a) \quad (\text{A.3.6})$$

Eliminatie van H_1 , H_2 , a_1 en a_2 uit de vergelijkingen (A.3.1) t/m (A.3.4) en (A.3.6) levert de formule op voor de volkomen overlaat:

$$q = q_T = m \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2}{3} \cdot g \cdot H^3} \quad \text{voor } \eta_I + \eta_R + h_1 - \Delta a > 0 \quad (\text{A.3.7a})$$

waarin:

q = debiet over de overlaat

$m \approx 1$ = afvoercoëfficiënt, afhankelijk van de vorm van de overlaat

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$ (versnelling van de zwaartekracht)

H = energiehogte bovenstrooms t.o.v. de kruin van de overlaat

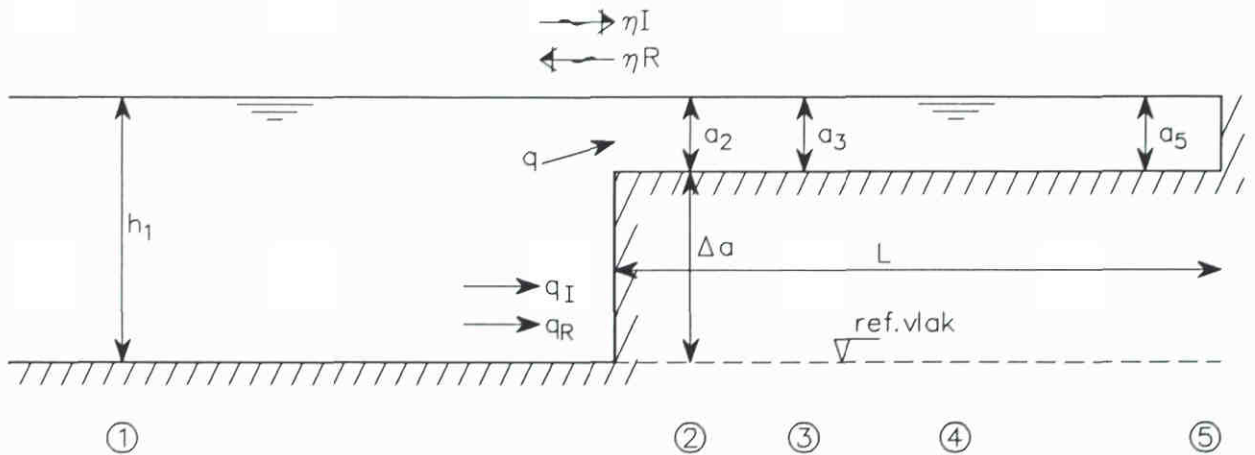
$$H = h_1 + \eta_I + \eta_R + \frac{q^2}{2 \cdot g \cdot (h_1 + \eta_I + \eta_R)^2} - \Delta a$$

$$\text{en: } q = q_T = 0 \quad \text{voor } \eta_I + \eta_R + h_1 - \Delta a < 0 \quad (\text{A.3.7b})$$

Samen met (A.3) en (A.4) leveren de vergelijkingen (A.3.7) de relatie op tussen η_I , η_R , η_T en q .

3.4 Overstroomde kaden en haventerreinen

Deze afleiding geeft door middel van een eenvoudige benadering een indruk van de reflectie van overstroomde kaden. Dit betreft oevers en kaden met een kruinlijn die ongeveer op of iets onder de waterspiegel ligt. Het overstroomde deel van de kade strekt zich uit over een afstand L vanaf de oever.



Het debiet (= q) dat de kade op en af stroomt wordt als functie van de fase van de inkomende golf (η_I) bepaald, rekening houdend met de volgende processen:

- Op en afstromen tussen (1) en (2) (Bernoulli),
- Verhanglijn ten gevolge van bodemwrijving op de kade tussen (3) en (5) (Nikuradse bodemruwheid),
- De verandering van de gemiddelde waterstand op de kade (4) als gevolg van het debiet q (berging op de kade).

Hieronder zullen achtereenvolgens de berging, de verhanglijn op de kade en het op- en afstromen nader worden uitgewerkt.

3.4.1 Berging op de kade

Het de kade op- en afstromende debiet q verandert het totale volume water op de kade, en daarmee de gemiddelde waterstand. De stijging (of daling) wordt beschreven door de relatie:

$$\frac{da_4}{dt} = q(t)/L \quad (\text{A.4.1})$$

waarin

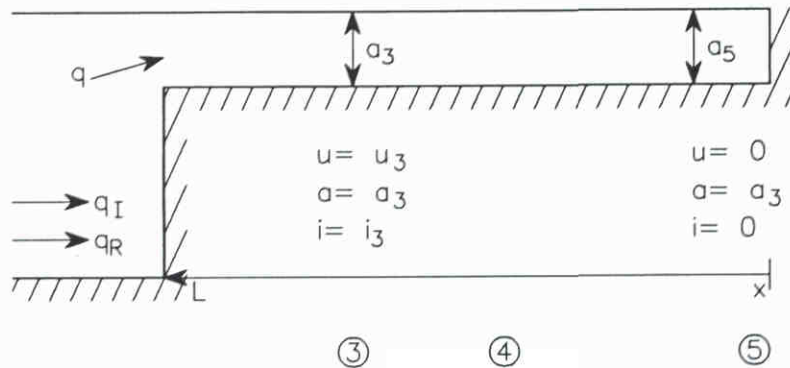
$q(t)$ = debiet als functie van de tijd

L = lengte van de kade

3.4.2 Verhanglijn op de overstroomde kade

De kade strekt zich vanaf de oever uit over een lengte L. Wanneer de verhangen op de kade klein verondersteld worden ($a_3/a_5 \approx 1$), neemt de stroomsnelheid op de kade lineair af:

$$u = u_3 \cdot \frac{x}{L} \quad (\text{A.4.2})$$



Het verhang op de kade wordt beschreven door:

$$i = \frac{da}{dx} = \frac{|u| \cdot u}{C^2 \cdot R} \quad (\text{A.4.3})$$

Substitutie van (A.4.2) in (A.4.3) levert het verhang op over de kade

$$i = \frac{da}{dx} i_3 \cdot \frac{x^2}{L^2} \quad (\text{A.4.4})$$

en het verhang in doorsnede (3):

$$i_3 = \frac{|u_3| \cdot u_3}{C^2 \cdot R} \quad (\text{A.4.5})$$

Uit integratie van (A.4.3) volgt met $a = a_5$ op $x = 0$ het verloop van de waterspiegel:

$$a = \int i \cdot dx + \text{Const} = a_5 + \frac{i_3}{3} \cdot \frac{x^3}{L^2} \quad (\text{A.4.6})$$

en de waterspiegel in doorsnede (3):

$$a_3 = a_5 + \frac{i_3}{3} \cdot L \quad (\text{A.4.7})$$

Het op de kade aanwezige volume wordt bepaald door integratie van de waterspiegel (A.4.6):

$$V = \int_0^L a \, dx = a_5 \cdot L + \frac{i_3}{12} \cdot L^2 \quad (\text{A.4.8})$$

De gemiddelde waterspiegel op de kade bedraagt dan:

$$a_4 = V/L = a_5 + \frac{i_3}{12} \cdot L \quad (\text{A.4.9})$$

Samen met (A.4.7) volgt uit (A.4.9) een relatie tussen het verhang in doorsnede (3), het op de kade aanwezige volume en de waterstand in doorsnede (3):

$$i_3 = (a_3 - a_4) \cdot \frac{4}{L} = (a_3 \cdot L - V) \times \frac{4}{L^2} \quad (\text{A.4.10})$$

Samen met (A.4.5) volgt uit (A.4.10) een relatie tussen het debiet q , de gemiddelde waterstand op de kade (a_4) en de waterstand (a_3) in doorsnede (3).

$$q = a_3 \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot i_3} = a_3 \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot (a_3 - a_4) \cdot \frac{4}{L}} \quad \text{voor } a_3 > a_4 \quad (\text{A.4.11a})$$

$$q = -a_4 \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot -i_3} = -a_4 \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot (a_4 - a_3) \cdot \frac{4}{L}} \quad \text{voor } a_3 < a_4 \quad (\text{A.4.11b})$$

met:

$$C = 18 \log (12 \cdot R/k_N)$$

k_N = Nikuradse ruwheid op de kade

R = hydraulische straal: $R = \max (a_3, a_4)$

3.4.3 Op- en afstromen tussen (1) en (2)

Voor het algemene geval wordt de stroming beschreven door de volgende vergelijkingen:

De energiehogte ter plaatse van de doorsnede (1) en (2):

$$H_1 = a_1 + \frac{q^2}{2 \cdot g \cdot a_1^2} \quad (\text{A.4.12})$$

waarin:

$$a_1 = h_1 + \eta_I + \eta_R \quad (\text{A.4.13})$$

en:

$$H_2 = \Delta a + a_2 + \frac{q^2}{2 \cdot g \cdot a_2^2} \quad (\text{A.4.14})$$

Stroming naar rechts

Het debiet q stroomt naar rechts als de waterspiegel vóór de kade hoger is dan op de kade:

$$h_1 + \eta_I + \eta_R > a_2 + \Delta a \quad (\text{A.4.15})$$

Er wordt verondersteld dat geen energieverlies plaatsvindt in het versnellingsgebied tussen (1) en (2):

$$H_1 = H_2 \quad (\text{A.4.16})$$

en dat de waterspiegel tussen (2) en (3) horizontaal is:

$$a_2 = a_3 \quad (\text{A.4.17})$$

Eliminatie van H_1 , H_2 en a_2 uit de vergelijkingen (A.4.12) t/m (A.4.14) en (A.4.16) en (A.4.17) levert de vergelijking op voor de onvolkomen overlaat:

$$q = m \cdot a \sqrt{2 \cdot g \cdot (H-a)} \quad (\text{A.4.18})$$

waarin:

q = debiet over de kruin

$m \approx 1,0$ (afvoercoëfficiënt)

$a = a_3$ waterspiegel benedenstrooms t.o.v. de kruin

H = energiehoogte bovenstrooms t.o.v. de kruin

$$= h_1 + \eta_I + \eta_R + \frac{q^2}{2 \cdot g \cdot (h_1 + \eta_I + \eta_R)^2} - \Delta a$$

Samen met (A.1) en (A.2) levert de vergelijking (A.4.18) de relatie op tussen a_3 , η_I , η_R en q voor een situatie met een stroming naar rechts.

Stroming naar links

Het debiet q stroomt naar links als de waterspiegel voor de kade lager is dan op de kade:

$$h_1 + \eta_I + \eta_R < a_2 + \Delta a \quad (\text{A.4.19})$$

De energiehogte ter plaatse van doorsnede (2) wordt nu gelijk verondersteld aan de waterspiegel in doorsnede (3):

$$H_2 = a_3 + \Delta a \quad (\text{A.4.20})$$

We onderscheiden nu twee gevallen voor de stroming naar links, de subkritische en de kritische.

De subkritische stroming treedt op als het waterpeil benedenstrooms hoger is dan het waterpeil dat hoort bij de grensdiepte op de kruin:

$$a_1 - \Delta a > \frac{2}{3} (H_2 - \Delta a) \quad (\text{A.4.21})$$

met

$$a_1 = h_1 + \eta_I + \eta_R$$

De waterspiegel op de kruin wordt nu gelijk verondersteld aan de waterspiegel benedenstrooms:

$$a_2 = a_1 - \Delta a \quad (\text{A.4.22})$$

De kritische stroming treedt op als het waterpeil benedenstrooms lager is dan het waterpeil dat hoort bij de grensdiepte op de kruin:

$$a_1 - \Delta a < \frac{2}{3} (H_2 - \Delta a) \quad (\text{A.4.23})$$

waarin:

$$a_1 = h_1 + \eta_I + \eta_R$$

De waterdiepte op de kruin is dan gelijk aan de grensdiepte:

$$a_2 = \frac{2}{3} (H_2 - \Delta a) \quad (\text{A.4.24})$$

Eliminatie van H_2 en a_2 uit de vergelijkingen (A.4.14), (A.4.20) en (A.4.22) of (A.4.24) levert de vergelijking op voor de onvolkomen overlaat:

$$q = -m \cdot a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (H-a)} \quad (\text{A.4.25})$$

waarin:

q = debiet over de kruin

$m \approx 1,0$ (afvoercoëfficiënt)

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ (versnelling van de zwaartekracht)

a = waterspiegel benedenstrooms t.o.v. de kruin

$$= h_1 + \eta_I + \eta_R \quad (\text{voor } a_1 - \Delta a > \frac{2}{3} (H_2 - \Delta a))$$

$$= \frac{2}{3} \cdot H \quad (\text{voor } a_1 - \Delta a < \frac{2}{3} (H_2 - \Delta a))$$

H = energiehogte bovenstrooms t.o.v. de kruin

$$= a_3$$

Samen met (A.1) en (A.2) levert de vergelijking (A.4.25) de relatie op tussen a_3 , η_I , η_R en q voor een situatie met een stroming naar links.

3.4.4 Integratie van berging, verhang op kade en op- en afstromen in de tijd

De vergelijking (A.4.11), (A.4.18) en (A.4.25) leveren gezamenlijk voor elke fasehoek van een inkomende lange golf een relatie op tussen de hoogte van de inkomende- en de gereflecteerde golf en de bijbehorende debieten.

Vergelijking (A.4.1) beschrijft hierbij het verloop van de waterstand op de kade als functie van de tijd (fasehoek). De waterstand a_4 wordt tevens bepaald door de voorwaarde dat het netto debiet ter plaatse van de kade, geïntegreerd over een golfperiode T nul is:

$$\int_0^T q \cdot dt = 0 \quad (\text{A.4.26})$$



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

